

研究紹介

人工知能と MRI Bone Like Image を用いた 腰椎分離症の新たな評価方法構築

前田 圭祐^{1)、2)}、山本 智章²⁾、大森 豪³⁾、望月 友晴¹⁾、
渋谷 幸喜²⁾、和田 直史⁴⁾、川島 寛之¹⁾

1) 新潟大学医歯学総合病院 整形外科、2) 新潟リハビリテーション病院

3) 新潟医療福祉大学 健康科学部健康スポーツ学科、4) 北海道科学大学 工学部情報工学科

はじめに

腰椎分離症は、発育期にスポーツ活動に関連して発生する腰椎関節突起間部の疲労骨折である。早期診断および適切な保存療法により骨癒合が期待できるが、偽関節化に至った場合、慢性腰痛や腰椎すべり症のリスクが増大することが知られている^{1)、2)}。したがって、可能な限り骨癒合を目指すことが重要である。本疾患の病期は、超初期、初期、進行期、終末期に分類され、保存療法による骨癒合率は病期に応じて異なる。超初期および初期では3か月間で90%以上、進行期では3～6か月間で約80%、終末期では0%と報告されている³⁾。

画像診断としては主にMRIとCTが用いられる。MRIは超初期からの早期診断が可能であり、分離部周囲の骨髄浮腫をSTIR像で高輝度変化として捉えることができる。また、骨髄浮腫の程度は発症時期や骨修復能を推測する手がかりとなる。一方、CTでは分離部の骨折線、骨硬化、骨リモデリング像の評価に基づき病期分類が可能である。これらの所見を基に、分離部の骨癒合が得られる可能性や骨癒合までに要する期間を推定し、治療方針を決定する。治療経過中は、通常2～3か月ごとにMRIを撮影し、高輝度変化が消失する、すなわち骨修復能が低下した時点でCTを用いた骨癒合判定(骨癒合または偽関節)を行うことが一般的である。

しかしながら、本疾患の診療にはいくつかの課題が存在する。その一つが放射線被ばくの問題である。治療期間が長期化することに伴い、CT撮影の回数が増加する傾向があり、好発年齢である10歳代前半の患者にとって望ましい状況とは言えない。また、治療期間の不明瞭さも課題の一つである。病期分類に基づく予後推定は可能であるものの、個人差が大

きく、予測より長期間の治療が必要となる症例も少なくない。このような状況は、学生生活という限られた時間の中で治療コンプライアンスの低下や治療からのドロップアウトを引き起こす要因となり得る。

これらの課題に対応するため、近年著しい進歩を遂げている画像技術および人工知能(artificial intelligence: AI)の応用が期待される。本研究では、これらの技術を用いて腰椎分離症の新たな評価方法を構築することを目的とする。

MRIによる骨形態評価と骨髄浮腫定量化

近年、MRIで骨形態を描出するBone like image (MRBI)が普及しつつある⁴⁾。CT類似の骨画像により、分離部の離開が明らかな場合には検出は容易である(図1)。初診時診断や経過中の治療効果の判定に有用と考えられるが、微小な骨折線の検出能や骨癒合評価に関しては、さらなる検討が必要である。CTの代用が可能となれば、放射線被ばくをなくすことができ、患者にとって利益は大きい。

分離部の骨髄浮腫はSTIRで高輝度変化として観察され、この高輝度変化の程度は骨修復能を反映している可能性がある。骨髄浮腫を定量化できれば予後予測の重要な指標となることが期待される。しかし、信号強度はMRI機種、撮影条件、撮影時期によって測定値が多様に変化し、これまでは適切なパラメーターと見なされていなかった。近年のMRI技術の進歩により、コントラスト比を用いた信号強度の定量化が可能となり、頸髄症の術後予後予測などへの臨床応用が報告されている。本疾患の予後予測においても有用である可能性が高い。

AIによる予後予測

AIの進歩は目覚ましく、医療の様々な分野で応用されている。人の視覚を模したアルゴリズム

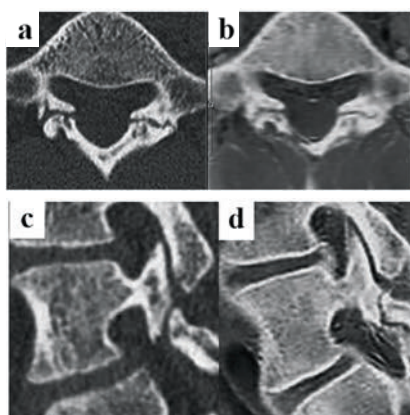


図1 CTとMRBI

- a) CT axial 像 b) MRBI axial 像
c) CT sagittal 像 d) MRBI sagittal 像

である畳み込みニューラルネットワークは、画像診断との親和性が高く整形外科領域においても画像診断システムの開発が進められている。さらに、画像やデータベースに登録された大量の臨床データを使用した機械学習（machine learning : ML）による予後予測も注目されている。

MLは大量の学習データの中からパターンを抽出し予測を行うAI技術の一種であり、複雑な非線形の関係や変数間の相互作用を検出する。そのため、従来の統計手法よりも優れている場合があるとされる。整形外科領域においても、頸椎後縦靱帯骨化症患者の手術成績を予測するMLモデルの有用性が報告されるなど、AI技術の応用範囲が拡大している⁵⁾。

今後の展望

本研究では、腰椎分離症患者の診断および治療において、MRIのみを用いて病期分類、予後推定、骨癒合判定が可能かを検証し、CTを使用しない治療プロトコルの構築を目指す。また、収集したデータを基にAIを活用した予後予測モデルを構築し、治療期間の見通しを明確化することで、患者個別に最適化された治療プロトコルの提供を目指す。

対象は、新潟リハビリテーション病院において治療を受ける腰椎分離症患者とし、機械学習の教師データとして十分と考えられる400例を予定している。

初診時にはMRI（STIR、MRBI）、およびCTを撮影し、その後1か月毎にMRIを撮影する。MRIで高輝度変化が消失した時点でCTを撮影する。MRBIによる骨形態評価、STIRによる骨髄浮腫の定量評価、CTによる骨癒合評価を実施する（図2）。

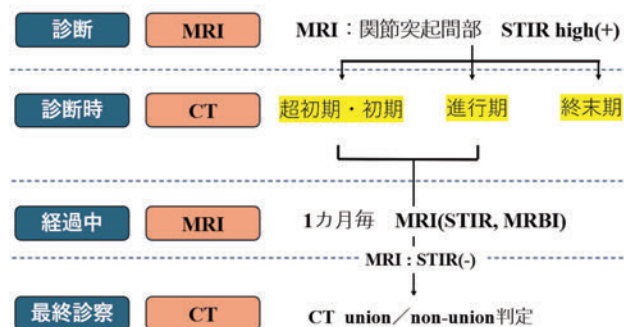


図2 フローチャート

MRBIとCTの一致率を計測し、CTを省略できる可能性を検証する。さらに、北海道科学大学情報工学科との共同研究により、上記のデータをAIに学習させ、予後予測のMLモデルを構築する。

謝辞

本研究に対しまして、令和6年度新潟県医師会学術研究助成金を賜りました。ここに厚く御礼を申し上げます。

文献

- 1) Aoki Y, Takahashi H, Nakajima A, et al : Prevalence of lumbar spondylolysis and spondylolisthesis in patients with degenerative spinal disease. Sci Rep 2020 ; 10 : 6739.
- 2) Brinjiki W, Diehn FE, Jarvik JG, et al : MRI Findings of Disc Degeneration are More Prevalent in Adults with Low Back Pain than in Asymptomatic Controls : A Systematic Review and Meta-Analysis. AJNR Am J Neuroradiol 2015 ; 36 : 2394-2399.
- 3) Sairyo K, Katoh S, Takata Y, et al : MRI signal changes of the pedicle as an indicator for early diagnosis of spondylolysis in children and adolescents : a clinical and biomechanical study. Spine (Phila Pa 1976) 2006 ; 31 : 206-211.
- 4) Johnson B, Hamza A, Molly D : Fast field echo resembling a CT using restricted echo-spacing (FRACTURE) : a novel MRI technique with superior bone contrast. Skeletal Radiol 2021 ; 50 : 1705-1713.
- 5) Maki S, Furuya T, Katsumi K, et al : Multimodal Deep Learning-based Radiomics Approach for Predicting Surgical Outcomes in Patients with Cervical Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament. Spine (Phila Pa 1976) 2024 ; 49 : 1561-1569.