

<研究課題> 人工知能を用いた、脊椎脊髄損傷患者の
MRI 画像生成モデルの開発

代表研究者 千葉大学大学院医学研究院 特任研究員 三浦 正敬
共同研究者 千葉大学大学院医学研究院 助教 牧 聡
千葉大学大学院医学研究院 講師 古矢 丈雄
松戸市立総合医療センター 脊椎脊髄センター 医長 弓手 惇史

【抄録】

本研究は、頸椎頸髄損傷患者の CT 画像から人工知能を用いて擬似 MRI 画像を生成し、その臨床的有用性を検証することを目的とした。MRI 撮像が困難な急性期の脊髄損傷患者に対して、CT 画像から生成した擬似 MRI が有用であるかを評価した。Stable Diffusion モデルを基に実際の頸椎 MRI 画像を学習させ、22 名の患者データを用いてモデルを作成した。別の 7 名の CT 画像から擬似 MRI (T2 強調画像) を生成し、整形外科専門医 2 名による読影テストを実施した。その結果、擬似 MRI は脊髄の走行や脊柱管狭窄の再現において一定の精度を示したが、軟部組織の描出には限界があった。臨床的には擬似 MRI は診断補助ツールとしての有用性が示唆されたが、完全な代替には至らないと考えられた。今後は脂肪抑制像などを用いたモデルの改良が求められる。

1. 研究の目的

1-1 背景

脊髄・脊髄損傷は、交通事故等の高エネルギー外傷に起因することが多い。また、呼吸・循環動態が不安定な場合もあり、全身 CT 検査による画像評価は可能でも、MRI 撮像は待機時間の長さやアクセスの悪さから急変リスクを助長する可能性がある。脊髄損傷患者の急性期治療において MRI 撮像は重要な検査ではあるが、時に撮像が困難な場合も少なくない。

1-2 目的

本研究の目的は、人工知能を用いて、頸椎頸髄損傷患者の CT 画像から擬似 MRI 画像を生成し、その臨床的有用性を検証することである。本研究により、急性期の脊椎脊髄損傷患者の擬似 MRI 画像が生成可能となれば、急性期手術治療までの MRI 検査時間の省略が可能となり、交通事故患者への救急医療の発展に大きく寄与することができる。

2. 研究方法と経過

2-1 人工知能に関して

Stable Diffusion はテキストや画像プロンプトから写真のようにリアルな独自の画像を生成する生成型人工知能 (生成系 AI) モデルである。2022 年にリリースされて以降、様々な

拡張機能が実装され、AI に同系統の画風を学習させ出力させる事も可能になった。今回、Stable Diffusion のモデルをベースに実際の脊椎脊髄損傷患者の頸椎 MRI 画像を学習させ、患者の CT 画像から擬似 MRI 画像の生成を試み、その有用性を検証した。

2-2 方法

Stable Diffusion を PC 環境に実装し、実際の頸椎頸髄損傷患者 22 名の頸椎 MRI (T2 強調画像) を合計 100 枚学習させ、擬似 MRI 生成モデルを作成した。この過程で、大学院生 2 名が以下のタスクを担当した：

1.丸山隼太郎 (大学院生)

データ収集と前処理

- ・CT および MRI 画像の収集
- ・画像データの前処理 (ノイズ除去、正規化など)

2.北川恭太 (大学院生)

AI モデルのトレーニングと評価

- ・Stable Diffusion モデルのトレーニングデータの準備
- ・トレーニング実行とモデルパラメータの最適化
- ・モデル評価と性能分析 (正確性、感度、特異度の計算など)

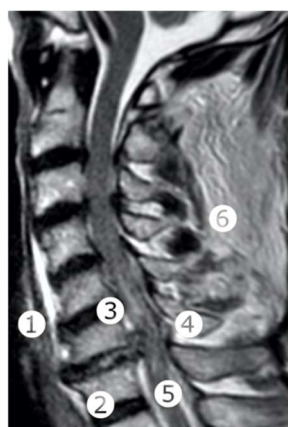
この生成モデルを用いて、学習には用いていない別の頸髄損傷患者 7 名の CT 画像から擬似

MRI 画像を生成した。疑似 MRI と実際の CT 画像を用いて読影テストを作成し、整形外科専門医 2 名により読影し臨床所見的有用性を評価した。1 ヶ月後に 2 回目の読影テストとして実際の MRI 画像と CT 画像を用いた読影テストを行い、2 回目のテストを正解として 1 回目のテストの正解率を算出した。また、頸髄損傷の CT、MRI 画像を用いた臨床所見のスコアリングである SLIC スコアを同様に 1 回目、2 回目のテストで読影し、一致率を調査した。

大学院生 2 名は、これらのプロセス全体を通じて重要な役割を果たし、データの品質管理から AI モデルの性能評価まで、研究の各段階で貢献した。

2-3 調査項目

・臨床所見



- ① 後咽頭腔血腫
- ② 椎間板損傷
- ③ 脊髄浮腫
- ④ 脊髄損傷高位
- ⑤ 脊柱管狭窄
- ⑥ 棘間靱帯損傷

・SLIC スコア

CT 所見 形態評価 (0-4 点)

- 0: 変化なし
- 1: 圧迫骨折
- 2: 破裂骨折
- 3: 横方向転位・回旋転位
- 4: 牽引・伸展損傷

MRI 所見 椎間板・靱帯損傷 (0-2 点)

- 0: 椎間板・靱帯損傷なし
- 1: 椎間板・靱帯損傷疑い
- 2: 椎間板・靱帯損傷あり

3. 研究の成果

3-1 疑似 MRI 生成

実際に本物の CT 画像から疑似 MRI を生成し作成したテストの例を下記に示す。

・読影テスト No1



実際の CT

疑似 MRI

・読影テスト No2



実際の CT

実際の MRI

実際の MRI と疑似 MRI を比較すると、脊髄の走行、脊柱管狭窄の有無はかなり正確に再現できていることがわかる。また、脊髄とは直接関係は無いが脳幹・小脳部分の再現性も比較的良好であった。しかし椎間板や棘間靱帯といった軟部組織は均一に描出されてしまい、臨床所見は再現できていない。

3-2 読影テスト結果：臨床所見

整形外科専門医 A

臨床所見	正解率 (感度)
① 後咽頭腔血腫 :	100% (7/7)
② 椎間板損傷 :	71.4% (5/7)
③ 脊髄浮腫 :	100% (7/7)
④ 脊髄損傷高位 :	57.1% (4/7)
⑤ 脊柱管狭窄 :	71.4% (5/7)
⑥ 棘間靱帯損傷 :	71.4% (5/7)

整形外科専門医 B

臨床所見	正解率 (感度)
① 後咽頭腔血腫 :	85.7% (6/7)

- ② 椎間板損傷： 42.8%(3/7)
- ③ 脊髄浮腫： 57.1%(4/7)
- ④ 脊髄損傷高位： 28.5%(2/7)
- ⑤ 脊柱管狭窄： 57.1%(4/7)
- ⑥ 棘間靱帯損傷： 57.1%(4/7)

3-3 読影テスト結果：SLIC スコア

読影テスト No1 と No2 の SLIC スコアの CT 所見点数・MRI 所見点数・合計点数のそれぞれで一致率を κ 係数を用いて計算した。

整形外科専門医 A

CT 所見： $\kappa = 0.74$ ($p=0.066$)
 MRI 所見： $\kappa = 0.79$ ($p=0.001$)
 合計点数： $\kappa = 0.66$ ($p<0.001$)

整形外科専門医 B

CT 所見： $\kappa = 0.73$ ($p=0.032$)
 MRI 所見： $\kappa = 0.41$ ($p=0.017$)
 合計点数： $\kappa = 0.38$ ($p=0.02$)

CT 所見はテストの期間を空けているものの同一画像を使用しているため高い一致率を示した。また、実質的に実際の MRI と擬似 MRI の比較となる MRI 所見は 1 名は高い一致率、もう 1 名は適度な一致率を示した。MRI は 3 段階評価でたまかな評価であるため偶然の一致の可能性を考慮する必要があるものの、ある程度の一致率を示したと考えられた。

3-3 結果の総評

CT 及び MRI の画像所見は手術の必要の有無、術式の決定に関わり非常に重要である。SLIC スコアは臨床現場で必ず用いられる重要なスコアであるが、今回作成したモデルにおいて実際の MRI と擬似 MRI、及び CT 画像との合計点数である程度の一致率を示し、臨床応用につながる有用性を示唆した。

各々の臨床所見に関しては、後咽頭腔血腫は CT でも軟部組織陰影の腫脹として認識しやすいため、CT から変換した擬似 MRI においても良好な描出が可能であった。しかし最も重要な脊髄損傷高位を同定するのは困難であった。これは脊髄損傷による脊髄浮腫と脊柱管狭窄はある程度再現できているものの、損傷高位を 1 椎間に絞ることが困難であったためと考えられた。実際の臨床において MRI 撮影が困難な場合、身体所見及び CT 所見にて手術の適応・術式を決定する事も少なくないが、擬似 MRI はあくまで CT 画像の一つの条件であり、

完全に MRI と同じ所見を得られるわけでは無いことを留意すべき必要がある。

4. 今後の課題

CT では所見が得られず、MRI でしか所見が得られないものは特に軟部組織損傷である。椎間板損傷や棘間靱帯損傷は特に MRI に優位性がある。今回は基本の MRI 撮影条件の T2 強調画像を学習に使用したが、本来椎間板損傷や棘間靱帯損傷などの軟部組織損傷の描出に優れているのは脂肪抑制法 (Short t inversion recovery : STIR) 像である。今回作成したモデルの他にも STIR 像を学習したモデルを作成し、実際の MRI 撮影のように擬似 MRI でも T2 強調条件や STIR 条件を作成すればより臨床的に有用な情報が得られる可能性がある。

また、Stable Diffusion という生成 AI は、主に言語や画像から「ノイズ」を抽出してそのノイズを元に新しい画像を生成する拡散モデルである。従って一度患者自身の画像である CT 画像 (raw data) を分解していることになり、新たに得られた画像がどこまで患者自身の情報を保持しているのか不明瞭であるという問題がある。各種パラメータや設定を調整することである程度情報の保持は可能なものの、完全な保持は困難であり、臨床応用を目指す上ではあくまでも診断補助的なツールであることを認識すべきである。

5. 研究成果の公表方法

研究成果を英語論文にまとめ、Journal of Neurotrauma, Spine 等の脊椎関連の英文雑誌に投稿予定である。

以

Development of MRI image generation model for spinal cord injury patients using artificial intelligence

Primary Researcher: Masataka Miura
(Staff, Chiba University · Department of Orthopedic Surgery)

) **Co-researchers:** Takeo Furuya
(Assoc. prof., Chiba University · Department of Orthopedic Surgery)
Satoshi Maki
(Staff, Chiba University · Department of Orthopedic Surgery)
Atsushi Yunde
(Staff, Matsudo City General Hoipital)

Purpose of the Study

The purpose of this study is to generate pseudo-MRI images from CT images of patients with cervical spinal cord injuries using artificial intelligence (AI) and to evaluate their clinical utility.

Research Methods

Stable Diffusion, a generative AI model released in 2022, creates realistic images from text and image prompts. This model was trained on T2-weighted MRI images of 22 actual patients with spinal injuries to construct a pseudo-MRI generation model. Pseudo-MRI images were generated from CT images of 7 additional cervical spinal cord injury patients not used in the training, and radiological reading tests were conducted by two orthopedic specialists. The tests compared readings using pseudo-MRI and actual CT images, and another test a month later using actual MRI and CT images.

Results

Pseudo-MRI images could relatively accurately reproduce the spinal cord course and the presence or absence of spinal canal stenosis but had limitations in depicting soft tissues such as intervertebral discs and ligaments. The reading test results showed that orthopedic surgeon A had high accuracy in diagnosing retropharyngeal hematoma and spinal cord edema but low accuracy in identifying the level of spinal cord injury. The results for orthopedic surgeon B were similar, with particular difficulty in evaluating soft tissue injuries.

Conclusion

Pseudo-MRI images generated from CT can accurately reproduce some findings of spinal cord injuries but are not a complete substitute and are more suitable as an auxiliary diagnostic tool. Future tasks include additional training on fat suppression images and improving the model.