

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18215

研究課題名（和文）尿路結石に対する治療方針決定支援法の開発

研究課題名（英文）Development of a Decision Support Method for the Treatment of Urolithiasis

研究代表者

藤田 大輔 (Fujita, Daisuke)

兵庫県立大学・工学研究科・助教

研究者番号：90907867

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000円

研究成果の概要（和文）：尿路結石に対して、術前に標準的に取得されるCT画像などの情報から、体外衝撃波破砕術(ESWL)の成否(アウトカム)を予測することで、治療方針決定を支援する手法の開発を目指した。アウトカムの予測精度とモデル解釈性の向上を両立させるために、深層学習による画像特徴量抽出法の提案、機械学習における特徴量選択を行った。結果として、特徴量数を7種に削減した予測モデルによってAUC 0.956が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的な意義として、従来なされていなかった結石画像に対する深層学習による特徴量抽出法の提案と評価、また機械学習アルゴリズムと特徴量選択により解釈性を保ちながら予測精度を向上する方法の提案により、ESWLアウトカム予測の質が向上したことがあげられる。社会的には、より臨床で使いやすい予測モデルが得られたため、二重治療による患者と臨床現場の負担軽減に貢献できる。今後前向きでの予測モデルの評価が必要であるが、治療方針決定支援による医療の質向上の足掛かりとなる結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：We aimed to provide clinical support by predicting the success (outcome) of extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL) for urolithiasis from patient information such as CT images obtained preoperatively. To achieve both high prediction accuracy and model interpretability, we proposed an effective image feature extraction method using deep learning and performed feature selection in machine learning. As a result, a prediction model with the number of features reduced to seven achieved an AUC of 0.956.

研究分野：機械学習

キーワード：人工知能 深層学習 機械学習 尿路結石 泌尿器疾患

1. 研究開始当初の背景

ESWL (Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy)は侵襲性の小さい尿路結石の破碎治療法であるが、3割程度の破碎失敗がある。適切な治療選択のために術前に症例の患者情報からその成否を予測する需要があった。本件課題の開始時には、単純な画像所見やいくつかの患者因子(特徴量)がESWLの成否(アウトカム)に関連することが統計的に示されていたものの、機械学習や深層学習といった最新の人工知能技術が十分に活用されていなかった。具体的には、ESWL症例では標準的に撮影されるCT(Computed Tomography)や腹部X線画像からの有効な情報の抽出、モデルアルゴリズムと使用する特徴量の選択、解釈性が高く臨床利用できる予測モデルの開発といった面での不足が見られた。

2. 研究の目的

解釈性が高く、高い精度でESWLの成否を予測可能な数理モデルの開発を目的とした。ESWLの成否予測は、臨床の現場で用いられることが目標となるため、解釈性が重要である。ここでいう解釈性とは、臨床の医師が、意思決定に際し予測モデルを利用する際に、その予測の根拠や理由が明確に理解できるということである。ESWLの予測には、人工知能による数理モデルを使用する場合、多数の因子や画像特徴量が予測モデルの中に表れるが、このままでは医師が容易に理解できない。そのため、予測精度を犠牲にすることなく、モデル中の因子や特徴量を選択し、解釈性を向上させることを試みる。また、予測精度の向上は、モデルの信頼性を高め、臨床での使用の妥当性、治療成績向上に資するため重要である。

3. 研究の方法

研究の目的を達成するために、2つのアプローチをとった。i)精度向上のための画像および人工知能の適用、ii)解釈性向上のためのモデルアルゴリズム・因子選択方法の検討、である。

i)精度向上のための画像および人工知能の適用

尿路結石の診断で標準的に撮影されるCT(Computed Tomography)画像から、画像に適した深層学習ネットワーク(Convolutional Neural Network)を用い、ESWLアウトカムに関連する特徴量の抽出を試みた。これは、従来Radiomics等以外の、有効な特徴量を抽出しうる方法である。

また、従来ESWLのアウトカム予測において重視されていなかったCT画像の非結石領域に着目し、これによる予測精度への影響を調べた。

ii)解釈性向上

精度向上のため、予測モデル(予測式)の学習のために、機械学習や深層学習が用いられるが、それらによるモデルは多くのパラメータと特徴量を持つため、予測の根拠(解釈性)は低くなりがちである。この問題に対して、まずSHAP(SHapley Additive exPlanations)と呼ばれる、モデル学習アルゴリズムによらない計算法を利用し、アウトカム予測に対する各特徴量の重要性を計算した。また、予測精度を保ちつつ、できるだけモデルに含まれる特徴量を削減する特徴量選択のアプローチも実施した。

4. 研究成果

本件課題の遂行(2年間)により、6件の学会発表(うち2件の受賞)、2件の学会発表論文採録となり、研究目的に対し学術的な成果があったと結論する。以下、公表された成果ごとに説明する。

[1][5]SHAPにより、アウトカム予測に対する各特徴量の重要度を算出し、それに基づき予測モデルに使用する特徴量を削減し、解釈性と精度向上を試みた。結果として、32個の特徴量から7個を選択したモデルにより、accuracy 0.913、AUC 0.956が得られ、精度の向上が確認された。

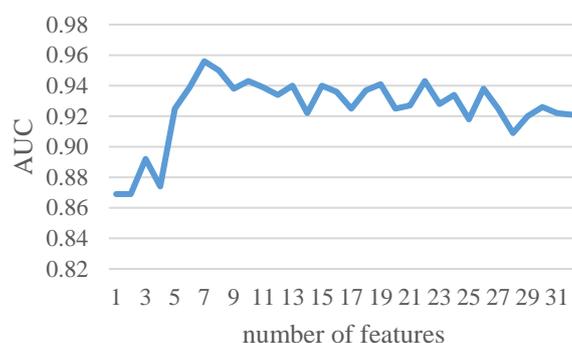


図1 [1]の特徴量選択による予測精度(AUC)の変化

[2][6]尿路結石の診療で一般的に得られる患者情報とCT画像のほかに、従来あまり使用されていなかった結石のX線画像から得られる特徴量のアウトカムへの予測能力を調べた。抽出する特徴量として、放射線医学領域で使用される radiomics を利用した。結果としてCT画像特徴量とX線画像特徴量を組み合わせた Logistic Regression によって AUC 0.890 が得られた。しかしX線画像特徴量単独での予測能は低く、適切な関心領域の設定という課題が残った。

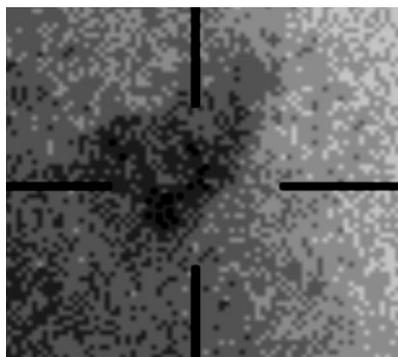


図2 [2]のX線画像における結石領域

[3]ESWLアウトカム予測において、従来単純な長径・体積や radiomics といった結石領域の特徴量が提案されていたが、設計不要のCNNによる特徴量抽出を試みた。3種類のCNNアーキテクチャを結石領域に適用、教師ラベルをアウトカムとして学習した結果、ResNet50によって accuracy で最大 0.684 が得られ、一定の予測能を持つ特徴量が抽出できた。

表1 [3]におけるアーキテクチャによる予測精度の比較

	CNN	VGG16	ResNet50
accuracy	0.632	0.684	0.684
precision	0.706	0.750	0.722
recall	0.857	0.857	0.929
f1score	0.774	0.800	0.812

[4]では、従来報告されていた BMI や SSD といった患者の体格因子が ESWL アウトカムに関連するということから、着想した。従来着目されていなかった CT 画像の非結石領域に CNN を適用し、その有効性を評価した。CNN の入力には、Axial 面の画像と 2.5 次元法を利用し、効率的な学習を目指した。結果として 2.5 次元法により AUC0.94 が得られ、また従来の結石特徴量との独立した予測能も確認されたため、非領域結石の一定のアウトカム予測性能が確認された。

総括として、臨床における ESWL アウトカム予測において、深層学習を利用した新たな特徴量の導入および特徴量選択によるモデル最適化による予測精度と解釈性の向上が達成できたため、研究の開始時に設定した目標が達成されたと結論する。

今後の展望として、本研究では後ろ向き研究で目的が達成されたが、開発された予測モデルの臨床での有効性を評価するために、今後前向きでの検証が必要となる。前向きでの検証では、無作為に抽出された症例に対し、提案された予測モデルを適用し、適用されていない症例群との治療成績の比較により有効性を評価する。

5. 主な発表論文等

査読付き国際会議論文

- [1] Soya Kobayashi, Daisuke FUJITA, Syoji Kobashi, Interpretability of ESWL Outcome Prediction Model and Feature Selection Using SHAP values, The 24th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2023), 2023年12月9日
- [2] Soya Kobayashi, Daisuke Fujita, Hironobu Shibutani, Shinsuke Gohara, Syoji Kobashi, Prediction of ESWL Outcome by Combining CT/X-Ray Images and Clinical Findings, 17th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2023), 2023年8月31日

その他国際会議発表

- [3] Daisuke Fujita, Shinsuke Gohara, Hironobu Shibutani, Syoji Kobashi, Evaluation Ureteral Stone Fragility using CNN, The 54th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS2022), 2022年10月14日

国内学会発表

- [4] 藤田 大輔, 小林 壯哉, 澁谷 浩伸, 郷原 真輔, 小橋 昌司, ESWL アウトカム予測における CT 画像の非石領域の有効性の評価, バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会, 2023 年 12 月 16 日
- [5] 小林 壯哉, 藤田 大輔, 澁谷 浩伸, 郷原 真輔, 小橋 昌司, SHAP 値を用いた ESWL アウトカム予測モデルの 解釈性向上と特徴量選択, 第 39 回ファジィシステムシンポジウム (FSS2023) 2023 年 9 月 5 日
- [6] 小林 壯哉, 藤田大輔, 澁谷浩伸, 郷原真輔, 小橋昌司, CT・X 線画像と臨床所見を組み合わせた ESWL アウトカム予測, 第 62 回日本生体医工学会大会, 2023 年 5 月 20 日

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Daisuke Fujita, Gohara Shinsuke, Hironobu Shibutani, Syoji Kobashi
2. 発表標題 Evaluation Ureteral Stone Fragility using CNN
3. 学会等名 The 54th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 壯哉, 藤田大輔, 澁谷浩伸, 郷原真輔, 小橋昌司
2. 発表標題 CT・X線画像と臨床所見を組み合わせたESWLアウトカム予測
3. 学会等名 第62回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Soya Kobayashi, Daisuke Fujita, Hironobu Shibutani, Shinsuke Gohara, Syoji Kobashi
2. 発表標題 Prediction of ESWL Outcome by Combining CT/X-Ray Images and Clinical Findings
3. 学会等名 17th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林 壯哉, 藤田 大輔, 澁谷 浩伸, 郷原 真輔, 小橋 昌司
2. 発表標題 SHAP値を用いたESWLアウトカム予測モデルの 解釈性向上と特徴量選択
3. 学会等名 第39回ファジィシステムシンポジウム(FSS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Soya Kobayashi, Daisuke FUJITA, Syoji Kobashi
2. 発表標題 Interpretability of ESWL Outcome Prediction Model and Feature Selection Using SHAP values
3. 学会等名 The 24th International Symposium on Advanced Intelligent Systems(ISIS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田 大輔, 小林 壯哉, 澁谷 浩伸, 郷原 真輔, 小橋 昌司
2. 発表標題 ESWLアウトカム予測におけるCT画像の非石領域の有効性の評価
3. 学会等名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会
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

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