

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K16104

研究課題名（和文）小児心臓検診用マルチモーダル人工知能(AI)モデルの開発研究

研究課題名（英文）Development Research of a Multimodal Artificial Intelligence Model for Pediatric Cardiac Screening

研究代表者

西森 誠 (Nishimori, Makoto)

神戸大学・医学研究科・助教

研究者番号：20871346

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、スクリーニング用の深層学習モデルとして異常検知モデルを構築した。モデルには変分オートエンコーダ（VAE）を用い、また12誘導心電図を入力できるように対応した。小児検診データを基に正常データのみを学習し、一次検診で異常とされた症例に対して異常検知モデルの性能を評価したところ、AUC-ROC 0.996であった。実際の小児心疾患患者（肥大型心筋症、QT延長症候群）に対しても検証を行い、肥大型心筋症ではAUC-ROC 0.980、QT延長症候群ではAUC-ROC 0.932となった。

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、深層学習を用いた異常検知モデルが小児心疾患の早期発見に有効であることを示した点にある。特に、稀な疾患である肥大型心筋症やQT延長症候群に対して高い検出性能を示したことは、今後の臨床応用の可能性を示している。また、社会的意義としては、学校検診での心疾患の早期発見・早期治療が可能となり、児童の健康管理の向上に寄与する点が挙げられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed an anomaly detection model as a deep learning model for screening purposes. The model employed a Variational Autoencoder (VAE) and was designed to accept 12-lead electrocardiograms. Based on pediatric screening data, the model was trained using only normal data, and its performance was evaluated on cases identified as anomalies in initial screenings, achieving an AUC-ROC of 0.996. The model was also validated on actual pediatric heart disease patients (hypertrophic cardiomyopathy and long QT syndrome), with AUC-ROC scores of 0.980 for hypertrophic cardiomyopathy and 0.932 for long QT syndrome.

研究分野：データサイエンス

キーワード：深層学習 学校心臓検診

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究の背景には、**小児心臓検診における地域格差の問題と、小児心臓疾患を診断する有用なツールの不足**がある。1995年から学校保健法施行規則により、小学生、中学生、高校生全員に心電図検査が義務づけられているが、小児循環器専門医の不足により、正確な診断が難しい状況が続いている。特に地方では専門医が少なく、不適切な診断が行われることがある。この地域格差を是正するため、全国で均一に高精度な診断が可能な手段が求められている。

さらに、現在の12誘導自動心電計機器の自動診断機能には、心電図所見がコード化されるだけで、具体的な疾患名の診断には至らないという問題がある。これにより、肺高血圧症や動脈管開存症などの**小児心臓疾患の診断が困難**であり、医師間の判断にもばらつきが生じている。

これらの問題を解決するために、本研究では**機械学習を用いた異常検知モデルの構築**を目指した。小児心臓検診データを用いて、小児循環器専門医と同程度の精度で希少疾患を含む心臓疾患を診断できるモデルの開発と、その社会実装を進めることが求められている。このようなモデルの構築と実用化により、小児心臓検診の地域格差を解消し、診断精度の向上を図ることが期待される。

2. 研究の目的

小児の心電図検診における**希少疾患の診断を行うAIモデル**を構築することを目的とする。また、その後にAIモデルを搭載したアプリケーションを開発し、現場での**社会実装実験を行うこと**を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では下記の方法で進めた。

小児の12誘導心電図から先天性心疾患を予測するAIモデルの開発と妥当性の検討

小児検診データおよび3次検診受診者の患者情報(年齢・性別・疾患名・心エコーデータ・胸部レントゲンデータなど)を学習用データ・検証用データに分割し、学習用データのみを用いてAIモデル(深層学習モデル)を構築した。そのうえで、検証用データを用いて作成したAIモデルの汎化性能の評価を行った。

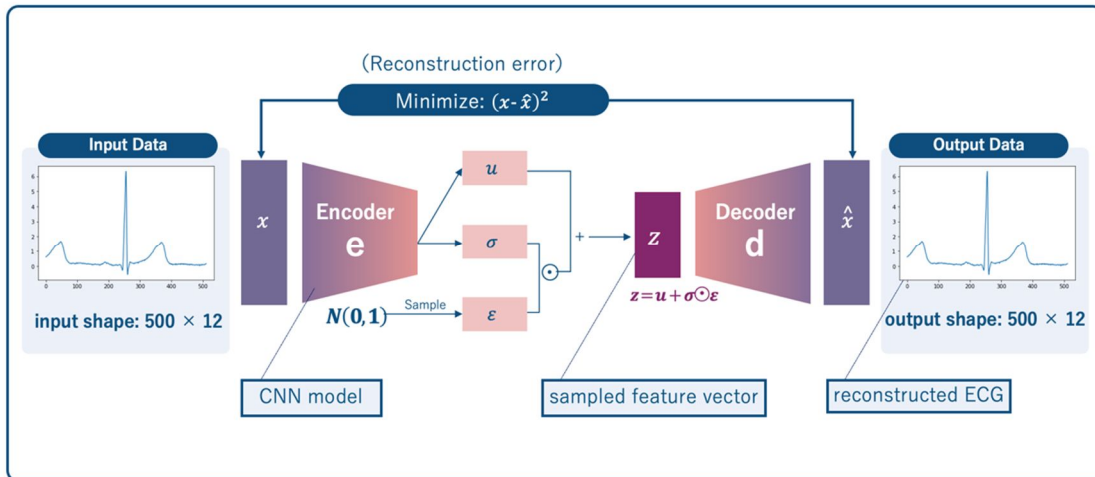
上記で構築したモデルを搭載したアプリケーションを開発し、前向きに新たなデータをバリデーションデータとして有用性を検証

本応募研究の初年度に構築する小児心電図診断AIモデルをもとに、アプリケーションの開発を行った。別集団での有用性の検討を行うため、実際の小児心疾患患者の心電図データを用いて前向きに検証を行った。

4 . 研究成果

小児の12誘導心電図から先天性心疾患を予測するAIモデルの開発と妥当性の検討

既報では 12 誘導心電図を入力とした深層学習モデルによる異常検知モデルがなかったため、変分オートエンコーダ (VAE) をベースにモデルを構築した (下図参照)。

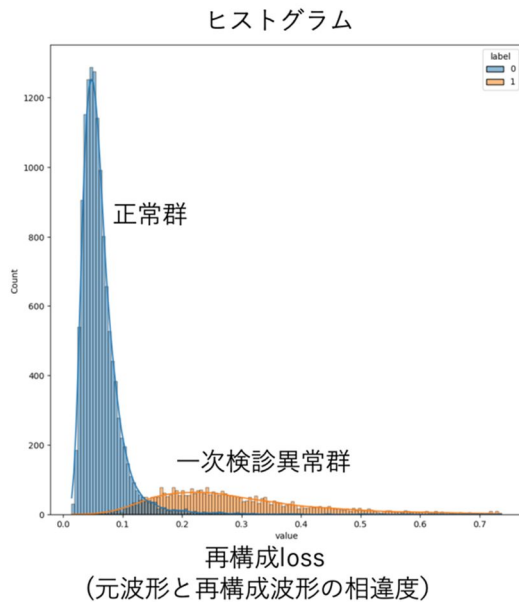


本モデルでは、従来の心臓検診などで用いられる心電図機器から MFER 形式でデータを取得し、12 誘導心電図を (500, 12) 次元の行列データに変換を行ったうえで深層学習モデルに入力を行った。その際に、約 10 秒間の心電図記録から心電図 1 心拍分を検出し 1 秒間 (サンプリングレート 500Hz) をトリミングした。

2012~2020 年で地域の小中学校で学校心臓検診を受診し、心電図スクリーニングを受けた 64,146 名の小児の心電図データのうち、1 次検診で正常と診断された 60054 例を用いて学習を行った。

検証の段階において、本モデルに入力された心電図は異常がなければそのままの心電図が再構成された形で出力され、入力との差分がほぼ 0 となる。一方、心電図波形に異常をもつデータが入力された場合、そのようなデータは学習データにはないため、入力心電図との差分が生じるためその部分が異常として検出される。

一次検診で異常を指摘された症例に対するモデルの性能は、AUC-ROC が 0.996、AUC-PRCurve が 0.980 と非常に高い水準であった。(下図参照)

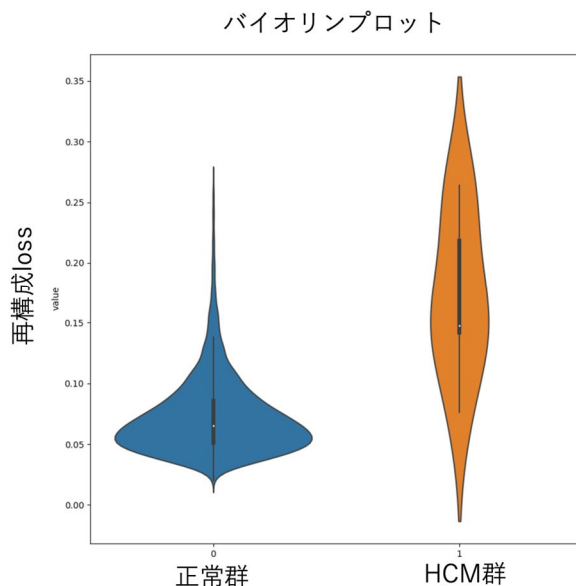


| | Normal | Abnormal |
|---|--------|----------|
| N | 60054 | 4092 |
| % | 93.6% | 6.4% |

| | |
|---------------------|--------------|
| Accuracy | 0.976 |
| AUC-ROC | 0.996 |
| cut off | 0.160 |
| F1-Score | 0.948 |
| AUC-PR curve | 0.980 |
| Precision | 0.916 |
| Recall | 0.981 |

上記で構築したモデルを搭載したアプリケーションを開発し、前向きに新たなデータをバリデーションデータとして有用性を検証

上記の小児学校検診のデータで学習を行った学習済みモデルを用いて、肥大型心筋症の症例 25 例の心電図データを用いて外部検証を行った。(下図参照)



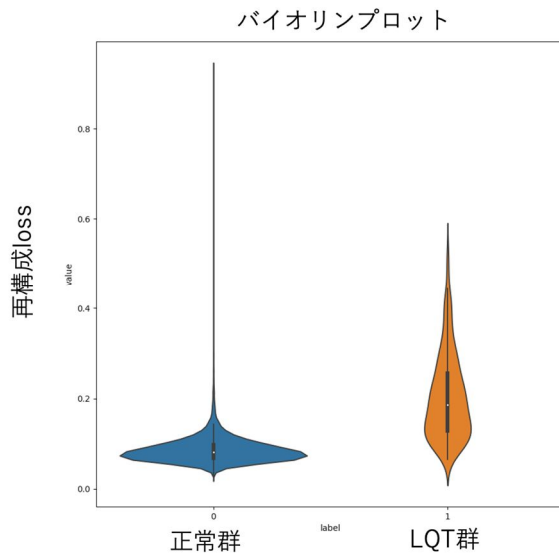
| | Normal | HCM |
|---|--------|--------|
| N | 60054 | 25 |
| % | 99.95% | 0.004% |

| | |
|---------------------|--------------|
| Accuracy | 0.953 |
| AUC-ROC | 0.980 |
| cut off | 0.137 |
| F1-Score | 0.069 |
| AUC-PR curve | 0.412 |
| Precision | 0.036 |
| Recall | 0.958 |

単純な分類モデルよりも高い性能

肥大型心筋症における外部検証の結果、AUC-ROC 0.98、AUC-PRC 0.412、Accuracy 0.953、Precision 0.036、Recall 0.958 と比較的高い評価値を示した。

また、同様に QT 延長症候群の症例 31 例の心電図データを用いて外部検証を行ったところ、AUC-ROC 0.932、AUC-PRC 0.455、Accuracy 0.870、Precision 0.190、Recall 0.846 と比較的高い性能を示した。(下図参照)



| | Normal | LQT |
|---|--------|-------|
| N | 60054 | 31 |
| % | 99.95% | 0.05% |

| | |
|---------------------|--------------|
| Accuracy | 0.870 |
| AUC-ROC | 0.932 |
| cut off | 0.111 |
| F1-Score | 0.309 |
| AUC-PR curve | 0.455 |
| Precision | 0.190 |
| Recall | 0.846 |

単純な分類モデルよりも高い性能

ただし、当初の計画では心エコーデータや胸部レントゲンデータを含むデータセットを使用する予定であったが、実際には小児検診でこれらの検査が実施されていないため、心電図のみを用いてモデルを構築した。しかし、実際の検診現場では心電図の情報のみで判断することが多いため、本研究で構築したモデルの現場での有用性は損なわれていないと考えている。

今後の研究では、さらに別のデータセットを取得できた場合には、心エコーデータや胸部レントゲンデータを用いたモデルの構築も視野に入れている。また、構築した深層学習モデルを用いて、別の集団での有用性を検証するとともに、実際の検診現場での活用を目指している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 西森誠 |
| 2. 発表標題 学校心電図検診のビッグデータに基づく深層学習による異常検知モデル |
| 3. 学会等名 第27回日本小児心電学会学術集会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 西森誠 |
| 2. 発表標題 AIを用いた心電図診断スクリーニングについて |
| 3. 学会等名 第59回日本小児循環器学会総会・学術集会（招待講演） |
| 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 |
|---------|---------|
|---------|---------|