

## 心房中隔欠損大規模スクリーニング技術の開発 ～ AIによる心電図自動解析を用いて～

心房中隔欠損症 (ASD) は、全出生児の約 0.5% に合併する最も頻度の高い先天性心疾患である。多くは無症状で、雑音なども目立たないため、成人まで見落とされている症例が多い。ASD は、脳梗塞や心不全のリスクを上昇させるため、早期の診断・治療が重要になる。診断は、心エコーで左右の心房間の交通を確認することで行うが、心エコーは人的・時間的コストが高く、無症状患者全員には実施できない。現在は、健診等で指摘された心雑音や心電図異常、X線検査における心肥大などを根拠に絞り込む。しかし、これらは感度が低く、見落としが多い。そこで申請者は心電図に着目し ASD を高精度かつ大規模にスクリーニングできるシステムの開発をめざした。連合学習を用いて 12 誘導心電図を AI に学習させ、ASD の有無を判定させた。また、転移学習によりシャツ型心電計で用いる 3 誘導の心電図からも ASD を検出する AI を作成した。

後藤 信一

### 緒言

心房中隔欠損症 (ASD) は、左右の心房の間に交通がある状態であり、全出生児の約 0.5% に合併する最も頻度の高い先天性心疾患である。多くは無症状で、雑音なども目立たないため、成人まで見落とされている症例が多い。ASD は、脳梗塞や心不全のリスクを上昇させるため、見落とされた症例の多くは、これらの不可逆的な合併症発症後に診断される。症状出現後に ASD を閉鎖しても、後遺症や生命予後悪化は不可避である。早期の診断・治療が重要になる。診断は、心エコーで左右の心房間の交通を確認することで行うが、心エコーは人的・時間的コストが高く、無症状患者全員には実施できない。心エコー受診患者を絞る別の方法が必要である。現在は、健診等で指摘された心雑音や心電図異常、X線検査における心肥大などを根拠に絞り込む。しかし、これらは感度が低く、見落としが多い。そこで申請者は心電図に着目した。心電図であれば、非侵襲的かつ低コストなため、健診でも一般的である。さらに装着型デバイスなら患者が自宅で検査可能になる。ところが、現状心電図を熟練した医

師が読影しても、ASD の検出感度は 30% 程度と非常に低い。近年の研究で、心電図を用いた疾病の検出では、AI が人間以上の精度を出している。そこで、申請者は、AI を心電図に応用して ASD の自動検出システムを構築し、ASD を高精度かつ大規模にスクリーニングできるシステムを開発できれば、現在見落とされている症例をすくい上げ、将来の心疾患を減らせるのではないかと考え、本研究に着手した。

### 目的

心房中隔欠損症を大規模にスクリーニングするプラットフォームの創出

### 方法

ASD は出生時から存在しうるため、ASD 陽性の症例において、閉鎖治療を受けていなければ全心電図を、受けていれば閉鎖前の心電図を全て学習させた。ASD の陰性例には、同一施設から取られた ASD の診断を受けていない症例の心電図データを学習させた。年齢や性別などの偏りを特徴として学習することを防止するため、ASD 陰性例のデータには、陽性例の年齢・性別に合わせたデータセットを用意して学習に用

いた。AI の構造には畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を使用した。AI の性能は AUROC および感度・特異度で評価した。シャツ型心電計で用いるため、3 誘導のみを学習した AI についても学習・評価を実施した。

### 結 果

12 誘導心電図を学習した AI は AUC 0.85-0.90 と非常に高精度で ASD を検出できた。感度・特異度・陽性的中率はそれぞれ 79.1%, 88.7%, 13.6% であった。12 誘導のうち 3 誘導のみを学習させる検討では、aVR, aVL, V4 の 3 誘導を用いた場合に最大の AUROC を達成したが、肢誘導と胸部誘導を含む組み合わせであればどの組み合わせであっても 12 誘導と遜色ない AUC を達成することが判明した。シャツ型心電計に対応する誘導である、V5, aVF, III 誘導の組み合わせでは AUC 0.85 と変わらず高精度で ASD を検出できることが明らかになった。本成果は、2024 年度の AHA Scientific Session の演題として採択された。さらに、本研究アプローチを用いて心電図からがん治療関連心機能障害を予測する AI を作成し Nature Communication 誌に論文発表したほか、心電図 AI が単一の心拍に着目していることを明らかにし、

Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology 誌に発表した。

### 文 献

- 1) R Yagi, S Goto (co-first), Y Himeno, Y Katsumata, CA MacRae, RC Deo, Artificial Intelligence-Enabled Prediction of Chemotherapy-Induced Cardiotoxicity from Baseline Electrocardiograms. Nat Commun. 2024 Mar 21;15(1):2536. doi: 10.1038/s41467-024-45733-x. PMID: 38514629; PMCID: PMC10957877.
- 2) M Nakayama, R Yagi, Y Katsumata, M Oki, R Deo, C MacRae, S Goto (corresponding author). Convolutional Neural Network Models Leverage Morphological Rather than Temporal Features to Detect Myocardial Diseases from 12-lead Electrocardiograms. Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology. in press.

### 結 論

心電図を AI に学習させることで、高精度に ASD を早期検出できることが明らかになった。

SCALABLE DETECTION OF ATRIAL SEPTAL DEFECT.  
– APPLICATION OF AI TO ELECTROCARDIOGRAM–

Shinichi GOTO

Tokai University School of Medicine Department of Medicine

Atrial septal defect (ASD) is the most common congenital heart disease, affecting approximately 0.5% of all live births. Because many patients are asymptomatic and heart murmurs are often inconspicuous, a large number of cases remain undiagnosed until adulthood. ASD increases the risk of cerebral infarction and heart failure; therefore, early diagnosis and treatment are essential. Diagnosis is typically made by echocardiography to confirm interatrial shunting; however, echocardiography is costly in terms of time and personnel and cannot be performed in all asymptomatic individuals. Currently, screening is based on findings such as heart murmurs detected during health checkups, electrocardiographic abnormalities, or cardiomegaly on chest radiography. However, these methods have low sensitivity and frequently miss cases. To address this issue, we focused on electrocardiography and aimed to develop a system capable of high-accuracy, large-scale screening for ASD. Using federated learning, an artificial intelligence model was trained on 12-lead electrocardiograms to detect the presence of ASD. Furthermore, by applying transfer learning, we developed an AI model capable of detecting ASD using three-lead electrocardiograms obtained from a wearable shirt-type ECG device.