

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04999

研究課題名（和文）心電図から疑わしい心疾患への絞り込みを可能にする自動識別システムの開発

研究課題名（英文）An system for detecting probable cardiac disease using ECG data

研究代表者

岡田 吉史（Okada, Yoshifumi）

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00443177

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、心電図データを用いて疑わしい心疾患の特定を可能にするシステムを開発することであった。本研究では、14種類の心疾患を「ビート（拍動）が観測される心疾患」と「ビートが不明瞭な心疾患」の2つのケースに分類し、それぞれのケースについて識別モデルを構築した。テスト用の心電図データを用いてモデルの性能を評価する実験を行った結果、すべての心疾患において既存研究を大きく上回る識別精度を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既存研究では、限定された心疾患の識別（例えば、心筋梗塞か否かの識別）に焦点が当てられていた。一方、本研究は多種類の心疾患を対象とした識別を可能にした点で既存研究と比較して優位性を有している。本研究で開発した技術は、医療現場のスタッフが心電図を用いて疑わしい心疾患を迅速に特定するための有効な支援ツールとなりえる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to develop a system that enabled the identification of suspicious cardiac diseases using ECG data. In this study, 14 different cardiac diseases were categorized into two cases, "cardiac diseases with observed beats" and "cardiac diseases with unclear beats," and for each case classification model was constructed. The experimental results to evaluate the model performances using test ECG data showed that the classification accuracies were much higher than that of existing studies for all cardiac diseases.

研究分野：データマイニング、機械学習

キーワード：心電図 心疾患 識別モデル 畳み込みオートエンコーダー 畳み込みニューラルネットワーク サポートベクトルマシン

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

心電図検査は、循環器科に限らず様々な医療現場で行われているが、心電図を利用する人間は必ずしも専門の医療従事者とは限らない。その場合、心電図を見て疑わしい心疾患を絞り込んでいくことは極めて困難であると考えられる。迅速な対処が必要とされる重大な心疾患を早急に見つけるためにも、疑わしき心疾患の絞り込みを自動化する技術の開発は、極めて重要な課題といえる。これに対して近年、心電図データに機械学習アルゴリズムを適用し、心疾患の自動識別を試みる研究が多数行われている。特に最近では、深層学習に基づく方法は、煩雑な特徴抽出処理の必要が無く、他の機械学習アルゴリズムと比較して高い識別精度を示すことから大きな注目を集めている。しかしながら、深層学習を含む機械学習アルゴリズムによる既存法は、限定された心疾患の識別（例えば、心筋梗塞か否かの識別）に焦点を当てており、多種類の心疾患を扱うものではなかった。

2. 研究の目的

このような背景のもと、本研究の目的は、疑わしき心疾患の絞り込みをサポートするため、多種類の心疾患を識別するための機械学習モデル（以下、識別モデル）を構築することであった。心疾患は、心電図においてビート（ピークが明確な1拍分の波形）が観察されるものと、そうでないものに大別できる。本研究では、これらの2つの場合に分けて識別モデルの構築を行い、それらの識別性能評価を試みた。

3. 研究の方法

識別モデル構築のための訓練/テスト用の心電図データは、PhysioBankなどの公共データベースから収集された。本研究では、1)ビート観察が可能な心疾患、および2)ビートが不明瞭な心疾患に分けて識別モデルの構築を行った。以下にそれぞれの方法について説明する。

1) ビート観察が可能な心疾患

ビート観察が可能な心疾患は、ビートそのものの「形状異常」を示す疾患と、ビート間の「間隔異常」を示す疾患に大別される。これらは学習すべき特徴が異なるため、以下のとおり、別々の機械学習アルゴリズムが採用された。

形状異常

ビートに形状異常が観察される心疾患として、心筋梗塞や心室内伝導障害が該当する。本研究では、公共データベースにおいて収録数が多い7種類の心疾患クラス、および健康クラスで構成される8クラスの識別を行うこととした。まず、ビート自動検出ツールを用いて、各心疾患および健康者の心電図データからビートを切り出した。各クラスのビートは訓練データとテストデータに分割された。次に、以前我々が開発した畳み込みオートエンコーダー(CAE)に基づく手法(文献1)を訓練データに適用し、8クラスを識別するためのモデルを構築した。最後に、正解率、適合率、再現率を用いて、各クラスのテストデータに対する識別精度を算出した。

文献1: K. Sugimoto, Y. Kon, S. Lee, and Y. Okada, "Detection and localization of myocardial infarction based on a convolutional autoencoder", Knowledge-based systems, Vol.178, 2019.

間隔異常

ビート間の間隔異常が観察される心疾患として、上室性不整脈や心室性不整脈が挙げられる。本研究では、これら2種類の不整脈クラス、および健康クラスで構成される3クラスの識別を行うこととした。本研究では、ビートのピーク間隔にクラスを識別する特徴が存在すると仮定した。まず、各不整脈クラスおよび健康クラス的心電図データからビートのR波ピークを検出した。次に、各クラス的心電図データから、ピーク間隔の出現頻度分布に関する16種類の特徴量(最小値、最大値、範囲、算術平均、歪度、尖度など)を抽出し、それぞれ的心電図データを16次元の特徴ベクトルで表現した。各クラスの特徴ベクトルは訓練データとテストデータに分割された。続いて、サポートベクトルマシン(SVM)を訓練データに適用し、3クラスを識別するためのモデルを構築した。最後に、適合率、再現率、F値を用いて、各クラスのテストデータに対する識別精度を算出した。

2) ビートが不明瞭な心疾患

ビートが不明瞭な心疾患は、心室頻拍や心室粗動など致死性の高い不整脈が該当する。これらの心電図からは、そもそもビート抽出が不可能なため、前述の方法とは異なるアプローチが必要である。これらの不整脈はそれぞれ波形の形状に明確な特徴があることから、識別モデルとして、

画像の特徴抽出で成功を収めている畳み込みニューラルネットワーク (CNN) が採用された。本研究では、ビートが不明瞭な心疾患 5 クラスの識別を行うため、以下の手順で識別モデルの構築および評価を行った。まず、各クラスの心電図データからウィンドウ幅 1000ms、シフト幅 100ms として、心電図画像を切り出した。各クラスの心電図画像は訓練データとテストデータに分割された。続いて、CNN を訓練データに適用し、5 クラスを識別するためのモデルを構築した。最後に、感度、特異度、正解率を用いて、各クラスのテストデータに対する識別精度を算出した。

4. 研究成果

1) ビート観察が可能な心疾患の識別結果

形状異常

表 1 に、8 つのクラス全体の識別精度を示す。いずれの評価指標においても 90% 以上の精度を示していることがわかる。既存の研究では、1~3 種類程度のクラス識別に限定されていたが、8 クラスを対象とする本研究は、既存研究と同等またはそれ以上のスコアを達成した。これは CAE に基づく手法が複数の心疾患を識別する上で有効なアプローチであることを示している。

表 1: クラス全体の識別精度

正解率(Accuracy)	93.92%
適合率(Precision)	94.63%
再現率(Recall)	98.47%

表 2 は、クラス毎の正解率である。健康、不整脈、心室内伝導障害、心筋梗塞、WPW 症候群に関しては 90% 代の高いスコアを示していた。しかしながら、房室ブロック、心負荷・肥大、ST-T 上昇に関しては 80% 代と比較的低いスコアとなった。その理由としては、これらのクラスは他のクラスと比較して訓練データ数がかかなり少なかったことが挙げられる。これらのクラスの精度向上を実現するには、訓練データのさらなる増量が必要である。

表 2: 各クラスの識別精度

心疾患の種類	正解率
健康	99.86%
房室ブロック	88.24%
不整脈	94.88%
心負荷・肥大	85.28%
ST-T異常	89.50%
心室内伝導障害患	96.81%
心筋梗塞	99.94%
WPW症候群	98.61%

間隔異常

図 1 は各クラスの識別精度を示している。この図では本研究と同じ 3 クラスを対象とした先行研究の結果も示されている。この結果から、いずれのクラス、いずれの評価指標においても、先行研究と比較して本研究の識別スコアが上回っていることがわかる。これは、先行研究は訓練データの特徴量としてピーク間隔の度数分布のみを用いていたのに対し、本研究ではピーク間隔の度数分布に関わる様々な統計量 (16 種類の特徴量) を採用したことによる効果と考えられる。3 クラス間で識別に寄与する特徴量を調べたところ、ピーク間隔の「最小値」、「最大値」、「中央値」、「第一四分位」、「第三四分位」に関してクラス間で統計的に有意な差が認められた。これらの特徴量は識別精度の向上に有効に働いたものと推察される。

2) ビートが不明瞭な心疾患の識別結果

表 3 に、各クラスの識別精度および他手法との比較をまとめる。表における Acc, Sen, Spec はそれぞれ正解率、感度、特異度を表している。表からわかるように、本手法は全てのクラスにおいて 99% 以上の識別精度を示している。また、他手法と比較しても、それらの精度を大きく上回っていることがわかる。本研究で構築したモデルの特徴は、訓練データとなる画像の切り出し幅 (ウィンドウ幅) を他手法と比較して小さくした点にある。これにより、より多くの訓練データを生成することができ、各クラスの波形特徴をうまく捉えることができるようになったと考えられる。

図 1：各クラスの識別精度

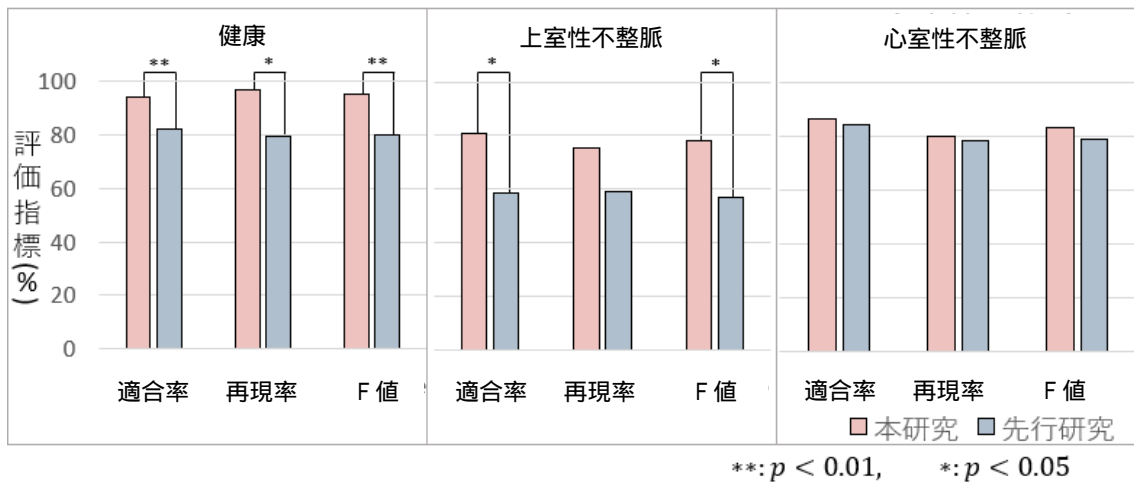


表 3：各クラスの識別精度および他手法との比較

Author(year)	ECG rhythms	Classifier/Segment	Performance
Wang et al., 2001	A_{fib}	Fuzzy Kohonen network • 1.2s ECG segment • 1.8s ECG segment • 2.4s ECG segment	Total :
	V_{fib}		$Acc = 98.13\%$
	VT		$Sen = 97.20\%$ $Spec = 98.63\%$
U.R. Acharya et al., 2017	A_{fib}	CNN • 2.0s ECG segment • 5.0s ECG segment	Total :
	A_{fl}		$Acc = 93.70\%$
	V_{fib}		$Sen = 98.61\%$ $Spec = 87.29\%$
本手法	A_{fib}	CNN • 1.0s ECG segment	Total :
	A_{fl}		$Acc = 99.89\%$
	V_{fib}		$Sen = 99.84\%$
	VT		$Spec = 99.89\%$

A_{fib} ：心房細動, A_{fl} ：心房粗動, V_{fib} ：心室細動, V_{fl} ：心室粗動,
VT：心室頻拍, N_{sr} ：正常

3) 研究成果のまとめ

本研究では、「ビート観察が可能な心疾患」と「ビートが不明瞭な心疾患」に場合分けをし、多種類の心疾患を識別するためのモデルの構築を試みた。個々の識別モデルの性能評価の結果、他手法を上回る識別精度を達成することができた。

しかしながら、未だ達成できていない重要な課題が残されている。現時点では、ビートの有無を手で判断し、識別モデルへのデータ入力を行っている。すなわち、ビートの有無の判定から識別結果の出力までを全て自動で行うに至っていない。この課題を解決することは、実際の医療現場において早期に疑わしき心疾患を絞り込む上で非常に重要である。今後は、高性能なビートの有無判定手法を開発し、本研究で開発した識別モデルとの統合を行っていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tada Mayu, Suzuki Natsumi, Okada Yoshifumi	4. 巻 24
2. 論文標題 Missing Value Imputation Method for Multiclass Matrix Data Based on Closed Itemset	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 286 ~ 286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e24020286	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Uchiyama Ryunosuke, Okada Yoshifumi, Kakizaki Ryuya, Tomioka Sekito	4. 巻 9
2. 論文標題 End-to-End Convolutional Neural Network Model to Detect and Localize Myocardial Infarction Using 12-Lead ECG Images without Preprocessing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioengineering	6. 最初と最後の頁 430 ~ 430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/bioengineering9090430	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤澤胡桃, 内山竜之介, 岡田吉史
2. 発表標題 心電図におけるR波の出現間隔に基づく不整脈の識別
3. 学会等名 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井口遥, 内山竜之介, 岡田吉史
2. 発表標題 基本波形の視認が困難な心電図における心疾患の識別
3. 学会等名 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富岡碩人,内山竜之介,岡田吉史
2. 発表標題 心電図データにおける正常/異常な基本波形の検出に関する研究
3. 学会等名 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内山竜之介,富岡碩人,岡田吉史
2. 発表標題 Convolutional Autoencoderを用いた多種類の心疾患の識別
3. 学会等名 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富永健太,金憂大,岡田吉史
2. 発表標題 Convolutional Autoencoderを用いた心電図データからのビート抽出
3. 学会等名 日本感性工学会 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森塚舜太,金憂大,岡田吉史
2. 発表標題 心電図データからの頻出パターン抽出におけるパラメータ設定に関する研究
3. 学会等名 日本感性工学会 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石丸桃子, 山内雅賀, 岡田吉史
2. 発表標題 Convolutional Autoencoderを用いたうつ病の重症度識別
3. 学会等名 日本感性工学会 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石丸桃子, 山内雅賀, 岡田吉史
2. 発表標題 Convolutional Autoencoderに基づくうつ病の重症度識別
3. 学会等名 第16回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蠣崎 龍也, 内山 竜之介, 富岡 碩人, 石丸 桃子, 岡田 吉史
2. 発表標題 Convolutional Autoencoderを用いた心電図のビート画像による心筋梗塞の識別及び梗塞部位の特定
3. 学会等名 第18回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 富岡 碩人, 内山竜之介, 岡田 吉史
2. 発表標題 心電図データにおける正常/異常ビートの自動抽出
3. 学会等名 生命ソフトウェア・感性工房・而立の会 合同シンポジウム 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多田真悠, 岡田吉史
2. 発表標題 Climpute: 飽和集合を用いた多クラス行列データの欠損値補完
3. 学会等名 第24回日本感性工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石丸桃子, 堀口凌, 岡田吉史
2. 発表標題 音声を用いたうつ病識別のためのGraph Convolutional Neural Networkモデルの構築
3. 学会等名 第24回日本感性工学会大会
4. 発表年 2022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