

令和 3 年 7 月 6 日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11532

研究課題名（和文）人工知能及び心臓シミュレーションを用いた心電図自動解析技術と臨床有用性の研究

研究課題名（英文）Study on ECG automatic analysis technology and its clinical usefulness based on artificial intelligence and cardiac simulation

研究代表者

朱 欣 (ZHU, XIN)

会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授

研究者番号：70448645

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）：本研究は、2つの方法でシミュレーション心電図を合成し、心電図の自動判読アルゴリズムを開発しました。まず、心臓モデルを構築し、シミュレーション心電図を合成した。次に、臨床心電図データベースを利用し、敵対的生成ネットワークで類似する合成心電図を生成した。そして、Physionetの公開データベースも加え、深層ニューラルネットワークの学習・テスト用のデータベースを構築した。深層学習を用い、心電図からノイズの識別アルゴリズム、心房細動心電図波形の検出アルゴリズム、QT間隔の自動計測アルゴリズム、閉塞性睡眠時無呼吸の自動検出アルゴリズムを開発し、いずれも従来方法より高い性能を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、心臓モデル、対抗ニューラルネットワークを用い、深層ニューラルネットワークの学習・テスト用の心電図を合成し、より少ないデータで心電図自動解析アルゴリズムを開発できた。開発した心電図からノイズの識別アルゴリズム、心房細動心電図波形の検出アルゴリズム、QT間隔の自動計測アルゴリズム、閉塞性睡眠時無呼吸の自動検出アルゴリズムはいずれも高い臨床価値があり、心疾患の早期診断・治療に役立て、国民の健康増進、医療費の低減に貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we propose two method to synthesize simulation ECG for the development of automatic ECG interpretation algorithms. At first, we constructed cardiac models to synthesize simulation ECG. Secondly, we used clinical ECG data to synthesize ECG using anniversary neural networks. Then, we added Physionet Open database to construct the database for the training and testing of deep neural networks. Based on deep learning, we proposed ECG noise recognition algorithm, atrial fibrillation detection algorithm, QT interval measurement algorithm, and obstructive sleep apnea detection algorithm. These algorithms demonstrate better performance compared with traditional methods.

研究分野：生体医工学

キーワード：心電図 深層学習 不整脈 心臓モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では、心疾患(高血圧性を除く)の総患者数は約172万9千人であり、その死亡数が年間約19万6千人に及んでいる。心疾患の予防には、予備群のリスクを層別化の上、一次予防の強化が必要であり、早期診断、加療を実施することで、心疾患罹患率、死亡率を減少させる可能性が高く、かつ医療費の削減も繋がる。心電図検査は心疾患のリスク評価に必要不可欠であるが、日内変動などによりイベント検知における長時間のモニタリングすることは、ホルター心電図やイベントレコーダーでも困難である。ウェアラブル装置では、連続長時間心電図の記録が出来、心臓突然死などの致死性不整脈を早期に予知できる可能性があり、心疾患の早期診断、予防、治療が期待される。しかし、以下の問題点を有する。

データ量が莫大となり、すべてのデータの専門医による判読は不可能である。

単一誘導のみであり、不整脈の検出には有用であるが、虚血性心疾患や特定の誘導のみに変化が出現する疾患(Brugada症候群、J波症候群等)の検出は困難である。

心疾患の早期検出、心臓性突然死の予測、ペースメーカー・植込み除細動器適応症の確認などの臨床有用性はまだ確認されていない。

計測環境が安定ではないため、ノイズ混入、電極脱落などが起こり得る。

以上の問題点を解決するため、深層学習を用いた人工知能技術による心電図自動解析システムは既に開発され、循環器専門医の解読精度を越えた(感度78.4%、陽性的中率80.0%)ことも報道されている。しかし、より高い解読精度を得るため、数十万から数百万以上の解読結果が得られている臨床心電図データが必要であると考えられる。日本における循環器専門医の状況から、そのような規模なデータを揃えることは至難であると思われる。

2. 研究の目的

心臓モデルを用い、ノイズ混入、電極脱落、不整脈、虚血性心疾患、伝導障害などに対する任意誘導のシミュレーション心電図を生成し、循環器専門医と共同で検討し、深層ニューラルネットワークに学習させる。

深層学習ニューラルネットワークを利用し、循環器専門医の判読精度と同等精度の自動解析プログラムを実現する。

臨床上の心疾患症例より、心疾患の早期検出、心臓性突然死の予測、ペースメーカー・植込み除細動器適応症の特定などの検証において、心電図自動解析機能を備えるウェアラブル装置の臨床有用性を確かめる。

3. 研究の方法

心臓モデルを構築し、シミュレーション心電図を合成し、深層ニューラルネットワークの学習・テストに応用した。

臨床心電図データベースを利用し、敵対的生成ネットワークで類似する合成心電図を生成し、学習・テストデータベースを構築した。

畳み込み、リカレントニューラルネットワークを用いた心電図判読ニューラルネットワークを構築し、ノイズ検出、不整脈識別、QT間隔計測用のアルゴリズムを研究開発した。

時間周波数解析と畳み込みニューラルネットワークにより、睡眠時心電図から閉塞性睡眠時無呼吸検出用アルゴリズムを研究開発した。

4. 研究成果

深層学習を用いた心電図およびシミュレーション心電図からノイズの識別

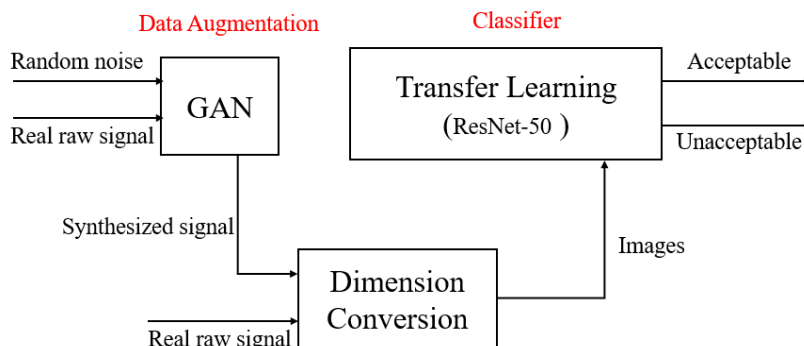


図1. 対抗ニューラルネットワークと畳み込みネットワークで構成したノイズを含む心電図合成とノイズ波形の検出。

図1のように、対抗ニューラルネットワークでノイズを含む心電図を合成できるアルゴリズムを構築し、移転学習を用い、ResNet50ネットワークのfinetuneを行い、ノイズを含む心電図波形を検出した。合成した心電図およびPhysionetのオープンデータベースの一部を学習し、ノイズ検出の特異度、感度、正確度は94.8%、96.3%、95.6%となり、従来方法より検出性能を大幅に改善した。

深層学習を用いた心房細動心電図波形の検出

表1. 心房細動心電図波形検出用の深層ニューラルネットワークの構造

Detector Structure	Layer			
	CNN	CNN	FC	FC
activation	relu	relu	relu	sigmoid
numFM	68	68	128	2
kemel	7	17		
pooling	1	1	1	1
stride	2	1	1	1
pad	0	1	0	0
dropout	1	0.8	0.8	1

心電図は心房細動検出に最も重要なツールです。本研究は表1のような畳み込みニューラルネットワークを構築し、心房細動心電図波形検出用アルゴリズムを開発した。Physionetの心房細動心電図データベースで学習、テストを行い、心電図波形検出の特異度、感度、正確度は98.5%、98.9%、98.6%となり、検出性能を大幅に改善した。

深層学習を用いた心電図およびシミュレーション心電図からQT間隔の計測

薬物と非薬物性QT延長症候群の診断における、心電図のQT間隔計測は不可欠です。本研究は、心臓モデルを用い、シミュレーション心電図を合成し、Physionetの心電図QTデータベースと一緒に、構築した深層ニューラルネットワーク(図2)を学習させ、テストしました。シミュレーション心電図とPhysionetの心電図QTデータベースのQT間隔の誤差とその標準偏差は 0.36 ± 0.74 と -1.05 ± 0.14 msとなり、大幅に改善できた。

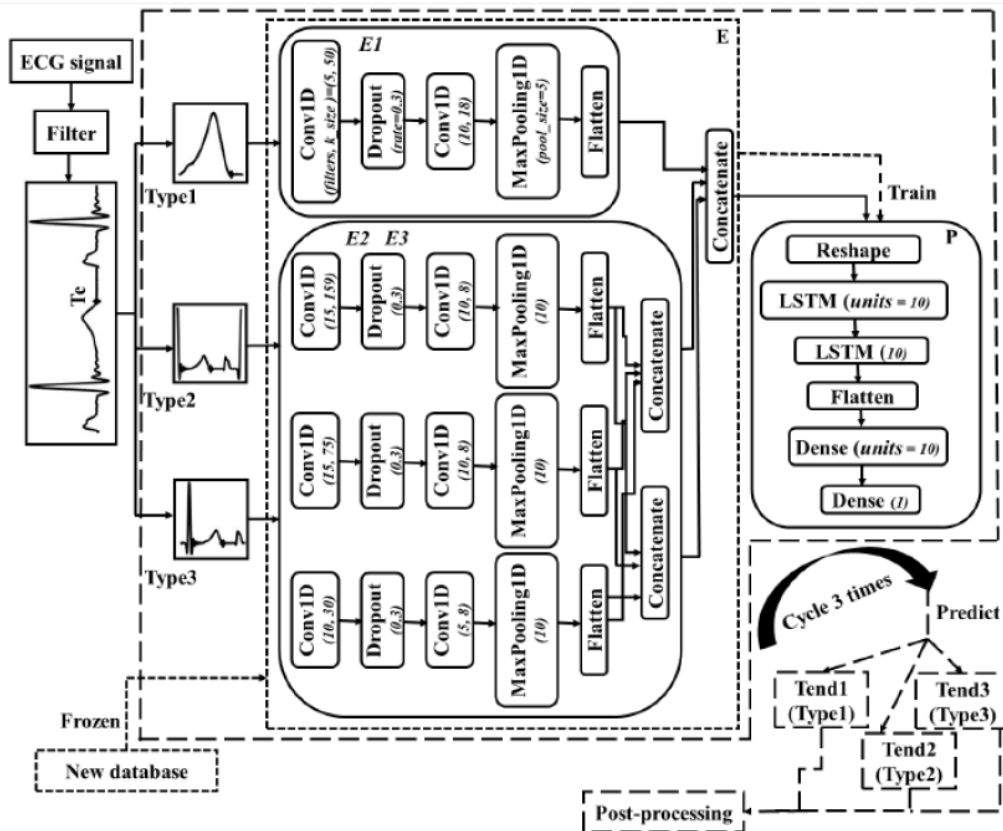


図2. T波終点検出深層ニューラルネットワークの構造

深層学習、時間周波数解析を用いた閉塞性睡眠時無呼吸の自動検出

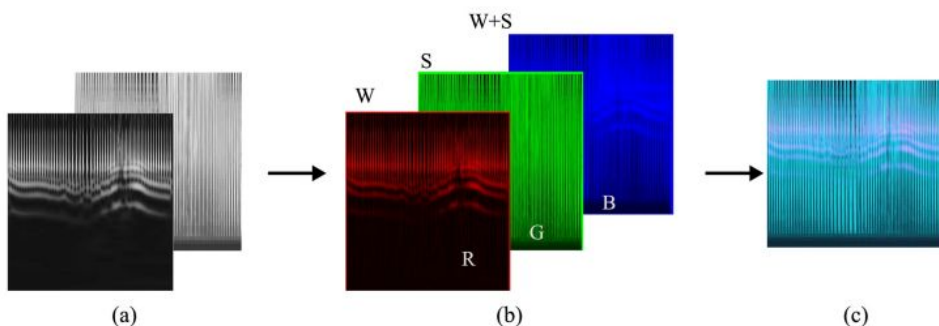


図3 (a)時間周波数解析SおよびWavelet変換W図,(b)RGB画像の構成,(c)構成したRGB画像

従来には、閉塞性睡眠時無呼吸の検出は睡眠ポリグラフ検査で行うことが必要である。日常生活において、心電図から閉塞性睡眠時無呼吸を検出する研究は多く行ったが、R波、基線動揺の検出などは必要で、解析は煩雑である。本研究は、図3のように心電図波形を時間周波数解析で二次元画像に変換し、図4に表示している深層ニューラルネットワークを用い、閉塞性睡眠時無呼吸の自動検出アルゴリズムを開発した。Physionetの無呼吸症候群心電図データベースで学習、テストを行い、無呼吸検出の特異度、感度、正確度は92.6%、92.3%、92.4%となり、検出性能を改善し、応用の可能性を示した。

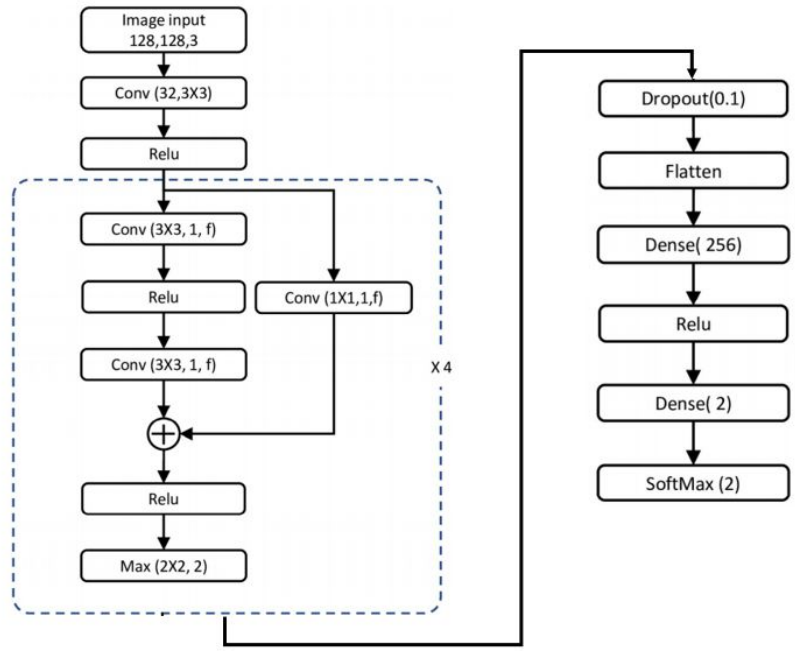


図 4 閉塞性睡眠時無呼吸の自動検出用畳み込みニューラルネットワーク

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Niroshana S. M. Isuru, Zhu Xin, Nakamura Keijiro, Chen Wenxi	4. 巻 16
2. 論文標題 A fused-image-based approach to detect obstructive sleep apnea using a single-lead ECG and a 2D convolutional neural network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e250618, e250618
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0250618	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 Hu Yaopeng, Li Qin, Kurahara Lin-Hai, Shioi Narumi, Hiraishi Keizo, Fujita Takayuki, Zhu Xin, Inoue Ryuji	4. 巻 10
2. 論文標題 An Arrhythmic Mutation E7K Facilitates TRPM4 Channel Activation via Enhanced PIP2 Interaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cells	6. 最初と最後の頁 983, 983
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/cells10050983	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 Motoki Sakai, Rei Sekine and Xin Zhu	4. 巻 5
2. 論文標題 Single-channel ECG suitable for ECG-derived respiration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomedical Physics & Engineering Express	6. 最初と最後の頁 1, 12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2057-1976/ab32bb	査読の有無 有
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 7件）

1. 発表者名 Yao Sun; Xin Zhu; Keijiro Nakamura
2. 発表標題 Effects of Myocardial Fat 's Thickness and Myocardial Impedance on Bipolar Radiofrequency Cathode Ablation
3. 学会等名 2020 IEEE REGION 10 CONFERENCE (TENCON) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xue Zhou; Xin Zhu; Keijiro Nakamura; Mahito Noro
2. 発表標題 Determination of T Wave End by Multi-input Deep Learning Model
3. 学会等名 2020 IEEE 5th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xin Zhu; Xue Zhou; Keiichiro Nakamura; Mahito Noro
2. 発表標題 ECG quality assessment based on convolutional neural network-long-short term memory and generative adversarial network
3. 学会等名 心電学関連研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朱欣
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークによる心電図雑音評価効果の改善
3. 学会等名 第39回日本ホルター・ノンイベシブ心電学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朱欣
2. 発表標題 Study on defibrillation of automatic external defibrillator using computer simulation
3. 学会等名 第34回心電情報処理ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunsuke Todani, Mao Takahashi, Mahito Noro
2. 発表標題 Relapse of stress-induced cardiomyopathy gradually decreased cardiac function (case report)
3. 学会等名 APSC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shunsuke Todani, Mao Takahashi, Mahito Noro
2. 発表標題 Difficulty in Differentiating Takotsubo syndrome from Multiple Vasospastic Angina (case report)
3. 学会等名 APSC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xue Zhou, Xin Zhu, Keiichiro Nakamura, and Mahito Noro
2. 発表標題 Atrial Fibrillation Detection Using Convolutional Neural Networks
3. 学会等名 The 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xue Zhou, Xin Zhu, Keiichiro Nakamura, and Mahito Noro
2. 発表標題 ECG Quality Assessment Using 1D-Convolutional Neural Network
3. 学会等名 The 14th IEEE International Conference on Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xue Zhou, Xin Zhu, Keiichiro Nakamura, and Mahito Noro
2. 発表標題 Premature Ventricular Contraction Detection from Ambulatory ECG Using Recurrent Neural Networks
3. 学会等名 40th IEEE EMBC annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xue Zhou, Xin Zhu, Keiichiro Nakamura, and Mahito Noro
2. 発表標題 Detect Atrial Fibrillation Using Deep Learning
3. 学会等名 the 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Computerized Electrocardiology
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xue Zhou, Xin Zhu, Keiichiro Nakamura, and Mahito Noro
2. 発表標題 Detect the Premature Ventricular Contraction Using Recurrent Neural Networks
3. 学会等名 the 45th Congress of the International Society of Electrocardiology (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

会津大学生体医用情報工学講座
http://bitlab.u-aizu.ac.jp/?page_id=8

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
研究分担者	野呂 真人 (Noro Mahito) (10366495)	東邦大学・医学部・臨床教授 (32661)	
研究分担者	中村 啓二郎 (Nakamura Keijiro) (20366181)	東邦大学・医学部・助教 (32661)	

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