

氏 名	かい せいめい HUI XIMING
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 1 0 2 1 号
学位授与の日付	令和 3 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学 位 論 文 題 目	A Study on Heart Sound Recognition System through Deep Learning Neural Network and Development of Smart Wearable Heart Sound Collection Device (深層学習ニューラルネットワークによる心音認識システムの研究とスマートウェアラブル心音収集デバイスの開発)
審 査 委 員	(主査)教授 桑原 教彰 教授 横山 敦士 教授 来田 宣幸 准教授 大谷 章夫

論文内容の要旨

心血管疾患は世界的に見て一番の死因となっている。2019 年には世界中で推定 1,860 万人が心血管疾患で死亡しており、それは全ての死の 31%を占めている。心血管疾患の若年化も進んでいる。心血管疾患の原因の一つは加齢であるが、不健康な食生活や運動不足もその原因に挙げられる。特に現在のコロナ禍での内籠りや家飲みによる飲酒量の増加の常態化は、若年層の心血管疾患のリスクを一層高めることになる懸念される。従来、心血管疾患で特に心疾患の診断の基本は心音の聴診であったが、心エコーの登場により循環器の医師でありながら、あまり聴診をしないといったことも聞かれ、医師の聴診技術の低下が懸念される。このような背景のもとで機械学習、あるいは深層学習の技術で心音から心雑音を検出する手法の研究がなされてきたが、結果は必ずしも十分とは言えない。そこで申請者は、深層学習の様々な技術を用いたモデルを構築、比較することで心雑音検出に最適な構成のモデルを見出すこと、そして心音を常時モニタリングできるウェアラブルな心音収集デバイスを実現することを目的として研究に取り組んだ。

本論文は、6 章から構成されている。第 1 章は序論として研究の背景と目的を述べた。第 2 章は関連研究などについて述べた。第 3 章では心音をスペクトログラム化した画像に対し、画像識別を得意とする畳み込みニューラルネット (CNN) のみからなるモデルと、CNN に時系列データの処理を得意とする短期長期記憶 (LSTM) の組み合わせによるモデルを構築し、比較した。結果、CNN のみからなるモデルの方が優れた識別率を得た。第 4 章では 3 章で検証した CNN のみからなるモデルを更にチューニングするため、そこで用いた PhysioNet のデータセットに加えて医学書などのデータをデータ拡張して追加し、モデルを再学習させるなどした。結果、先行研究に比べて優れた識別結果を得られることを示した。第 5 章では、心音を常時モニタリングできるウェアラブルな心音収集デバイスを実現するためのマイク、またマイクを心音の計測ポイントにフィットさせるためのベストの設計と実装を行い、そのデバイスで収集した心音が 4 章でチューニングしたモデルによって、正しく識別できるかの評価を行った。第 6 章では本論文のまとめと今後の課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

本研究では心疾患を検出するために心雑音を識別できるシステムと、心音を常時モニタリング可能とするウェアラブルなデバイスの研究開発を行った。第 3 章では画像識別に強い CNN のみからなるモデルと CNN と LSTM を組み合わせたモデルの比較検討を行った。LSTM を組み合わせた理由は、心音は周期的なシグナルであり LSTM により周期から逸脱するような不整脈や一部の心疾患に出現する突発的な心雑音の検出力が向上することを期待したからである。しかし結果として LSTM を用いても特に識別率の改善は確認できなかったため、以降では CNN のみからなるモデルの性能向上を検討している。第 4 章ではモデルの学習に用いるデータセットを拡張する、また学習時に一度に投入する画像数をパラメタとしたチューニングにより、心雑音のある群での検出の陽性率である感度、心雑音の無い群での検出の陰性率である特異度ともに先行研究よりも優れた結果が得られることを示した。その理由として、深層学習により心雑音の特徴を自動的に学習したこと、またバンドパスフィルタなどを用いずに収集した心音データをそのまま用いることで、心雑音の検出に有用な信号の除去を防ぐことができたなどが挙げられる。また第 5 章では生体音収集マイクに関する先行研究を参考にマイク、及びそれをコーティングするシリコンのホルダーを設計、実装し、それを心音の計測ポイントにフィットさせるためのベストに埋め込んで心音を収集する実験を行った。結果としてベストサイズが体形にフィットしているかどうか、心音を正しく収集できるか否かに大きく影響することが分かった。またそれは女性にとってより影響が大きいことが明らかになった。またベストの使用感についてはおおむね好評が得られ、心音の常時モニタリングの可能性を示すことができた。

心電を収集、分析するウェアラブルデバイスは近年、多くの商用デバイスが販売、活用されている。一方で心音の常時モニタリングを目的とするウェアラブルなデバイスに関しては、実現の困難さからあまり研究されていなかった。しかし心音の情報は心臓の弁の異常など、心電からはとらえることができない心疾患を検出するのに有用である。また心音の聴診には循環器の医師としての一定以上の経験の蓄積が必要な一方、近年では心エコーの普及により聴診の機会が減っており技術力の低下が懸念されている。心疾患の早期のスクリーニングを目的として、大量の心音データを高速に分析し心雑音を検出するシステムは、心音の常時モニタリングと組み合わせることで、世界中の人々の健康寿命の延伸に寄与することは間違いない。特に現在のコロナ禍での内籠りや家飲みによる飲酒量の増加の常態化などによる生活習慣の悪化が懸念される状況において、その役割は大きく期待されると考える。

以上の様に、本研究は十分な新規性、有用性共に認められ、学位を授与するに値すると考える。

本論文の内容は、査読システムが確立されている学術誌に掲載された以下の基礎論文 2 報、国際会議でのプロシーディングに掲載された参考論文 1 報に報告されている。いずれも申請者が筆頭著者であり、以下の論文において二重投稿など研究者倫理に反する事象は認められなかった

基礎論文

1. Heart sound recognition technology based on convolutional neural network
Ximing Huai, Satoshi Kitada, Dongeun Choi, Panote Siriaraya, Noriaki Kuwahara, Takashi Ashihara,
INFOMATICS FOR HEALTH AND SOCIAL CARE, Vol. 46, No. 3, pp.320-332
<https://doi.org/10.1080/17538157.2021.1893736>,2021
2. Development of Wearable Heart Sound Collection Device
Ximing Huai, Shota Notsu, Dongeun Choi, Panote Siriaraya, Noriaki Kuwahara
International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA),
VOL. 12, Issue 5, pp.9-16, 2021
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120502>

参考論文

1. Heart Sound Recognition Technology Based on Deep Learning
Huai Ximing and Panote Siriaraya and Choi Dongeun and Noriaki Kuwahara
Proc. of HCII2020 : Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety,
Ergonomics and Risk Management 2020, pp.491-500, 2020.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-49904-4_36