

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02108

研究課題名（和文）脳梗塞、心筋梗塞の事前兆候を高精度に診断するための高度AIシステムの構築

研究課題名（英文）Development of advanced AI system for high accurate diagnosis of cerebral infarction and myocardial infarction

研究代表者

廣瀬 佳代（Hirose, Kayo）

東京大学・医学部附属病院・病院診療医（出向）

研究者番号：40532221

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：本申請課題では、心原性脳梗塞と心筋梗塞の原因疾患・予兆である心房細動と狭心症を早期発見し、予防するための技術・システムを確立した。具体的には、医療機器水準の測定精度を実現したセンサを用いてバイタルデータを取得し、このデータに対するハイブリッドAI判定システムを構築した。心房細動と狭心症は定常的に起こっているとは限らないため、定期検診で完全に発見するのは、困難である。特に、心房細動は、80万人もの隠れ心房細動患者がいると推定されている。この問題を解決するために日常生活中で、医療機器水準のヘルスマonitoringが可能であることを実証し、さらにハイブリッドAI判定により、疾患の発見が可能であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療資源が十分とはいえない中で高齢化社会を迎え、医療に対する需要が伸びていく日本の現状に対して、医療コストと被測定者に負担をかけることなく、日常生活の中で、重篤な疾患に繋がる前段階の病気を検出する技術・システムを構築したことは極めて社会的意義が高いと考えられる。また、患者数が極めて多いことから、多数の患者の健康寿命の延伸に寄与することが期待され、経済的な意義も大きい。また、計算負荷の小さい方法でハイスpek解析に匹敵する疾患判定精度を成しえたことは非常に学術的意義が高いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this project, we established a technology and system for early detection and prevention of atrial fibrillation and angina pectoris, which are causative diseases and signs of cardiogenic cerebral infarction and myocardial infarction. Specifically, the team acquired vital data using sensors with medical device-level measurement accuracy, and constructed a hybrid AI judgment system for this data. Since atrial fibrillation and angina pectoris do not always occur on a regular basis, it is difficult to detect them completely during regular checkups. In particular, it is estimated that there are as many as 800,000 patients with hidden atrial fibrillation. To solve this problem, we demonstrated that medical device-level health monitoring is possible in daily life, and furthermore, that disease detection is possible through hybrid AI judgment.

研究分野：知能機械学

キーワード：IoTデバイス AI判定 低コンピュータ負荷 心房細動 心筋梗塞

1. 研究開始当初の背景

AI 技術の進歩はめざましく、AI ホスピタル研究によって、診断精度の向上、個人にあった治療薬の特定などの研究開発が進み、院内空間が、革新的な進化を遂げることは想像に難くない。一方で、未病や疾患初期の段階ではあまり症状を自覚しないために病院を受診せず、取り返しが見つからない状態になってから、受診する患者は少なくない。この段階では治療は困難となり、また医療費は増大する。従って、疾患の早期発見は必要性が高い。現状では、労働安全衛生法で実施が義務付けられている定期健診があり、一定の成果を挙げている。しかしながら、本研究の対象である心原性脳梗塞や心筋梗塞の場合、原因となる疾患や予兆は定常的に起こっているとは限らないため、定期検診で完全に発見するのは、困難である。心房細動の疑いのある人の心電図を長期間に亘って連続してモニタリングするホルター心電計という医療機器があるが、心房細動は自覚症状が少ないため、受診せず、ホルター計測に至らないケースが非常に多い。このため、80 万人もの隠れ心房細動患者がいると推定されている。

しかし、一旦発症すると重篤な症状を呈するため、早期発見もしくは原因疾患の高精度診断を実現するための、日常生活の中でさり気なく測定できる、新しいバイタルモニタリングシステムが必要である。現状のシステムは、計測機器を定期的に握りしめる必要がある方法、電極が内蔵されている服を着る必要がある方法などであり、煩雑であるため、あまり普及していない。また、最近ではアップル社などが心電図を測定可能なスマートウォッチを発売し、実際に心房細動を発見して、話題を呼んだ。しかし、販売台数から見積もると、心房細動の発見件数は極めて少ない。この理由は、測定精度が低いことに起因する。従って、本研究の学術的背景としては、脳梗塞と心筋梗塞は、事前兆候の段階での発見が強く求められているにも関わらず、現状のスマートウォッチでは測定精度が低く、センサの測定精度をさらに向上させた上で、高精度な AI 判定を適用する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、脳梗塞、心筋梗塞の事前兆候を高精度に診断するための高度 AI システムを構築することである。

心原性脳梗塞や心筋梗塞は一旦発症すると重篤な症状・後遺症を呈するため、発症前の予防が重要である。また、原因となる疾患や予兆は定常的に出現しているとは限らないため、定期検診で完全に発見するのは、困難である。また、患者数が極めて多いことから、経済的な意義も大きい。そこで、本研究では、日常生活に支障をきたすことなく、長期間に亘って、長時間の心電図と脈波を医療機器に近いレベルで測定可能なセンサシステムを開発し、さらに高精度な AI 判定システムの開発を行う。これらの一連の高度 AI システムを構築することによって、脳梗塞、心筋梗塞などの疾患の事前兆候を従来とは一線を画する精度で発見することを目指す。

3. 研究の方法

『スマートヘルスマニタリング IoT デバイスの改良』、『機械学習による疾患の判定システムの改良』を実施した。

スマートヘルスマニタリング IoT デバイスの改良 薄膜のバイタルセンサシステムを開発し、車のハンドル、PC のパームレスト部、椅子のアームレスト部に貼り付け、心電図と脈波を測定できることを、本研究の実施前に把握している。日常生活に支障をきたすことなく、測定できるので、測定した誘導心電図を利用して、疾患の判定を行える可能性が高い。判定精度の向上には、デバイスによる測定精度の改良が不可欠なため、ノイズ低減に関する改良を行う。

また、ノイズの 1 つの原因である筋電位が重畳している時間帯を疾患判定の対象から除くことによって、疾患の判定精度が向上するはずなので、バイタルセンサシステムに、ノイズの原因を検出するセンサも搭載する。

AI による疾患の判定システムの改良 上記の研究によるセンサデバイスの改良研究を行うことで、疾患の判定時にエラーの低減を図ることは可能だが、完全に無くすることは難しい。従って、AI の判定精度の向上が不可欠である。さらにはリアルタイム測定・判定を行う必要があることから、精度向上を図りつつも、計算負荷を格段に減らす必要がある。

そこで、2次元の心電図データに対する数学的特徴抽出と、Chaos 手法を適用して 3次元再表示したアトラクタに対する図形的特徴抽出をハイブリッドに使用した AI 判定を行う。

また、リアルタイム AI 判定のためには、測定した生体情報をもとに、リアルタイムでアトラクタを描写するシステムが不可欠であるので、これを構築する。

4. 研究成果

スマートヘルスマニタリング IoT デバイスの改良 心電計の測定パッド、脈波センサの薄膜化は進んでおり、十分に薄いものが市販されている。これらを統合したバイタルセンサシステムを構築した。曲率の小さくない表面であれば、局面にも貼り付けられることを確認している。

さらには、薄膜圧力センサも追加で搭載可能であり、過剰な押し付け力が作用することに起因する異常心電図の判定を実施することが可能である。

AI による疾患の判定システムの改良 バイタルデータは、様々な疾患を含むデータが一般公開されており、研究活用可能なデータベースを利用した。本研究の主たる対象である心原性脳梗塞の原因疾患である心房細動患者のデータ、心筋梗塞患者のデータ、その他心電図を活用して疾患判定を行う疾患の心電図情報（健常者を対象とした正常心電図を含む）が公開されている。これらのデータベース群を活用して、AI 判定システムの構築を行った。

バイタルデータの1つである心電図には、発汗によるベースラインの揺れ、電極に対する圧力、静電気などに起因する様々なノイズが重畳することが分かっている。ノイズが重畳すると、疾患判定を行う際の誤差が大きくなることから、前処理によるノイズ除去が必要である。心電図における、意義がある周波数帯域はある程度決まっており、0.05Hz の低周波帯域や 100Hz 以上の高周波帯域における周波数成分はノイズであると考えられる。そこで周波数解析が用いたノイズ除去が適用されることが多い。最も有名なノイズ除去法はフーリエ変換であるが、フーリエ変換を適用すると、時間領域の情報が失われてしまうため、心電図のような時系列データのノイズ除去には適していない。そこで本研究では、時間領域の情報を失うことなく周波数特性を得ることのできるウェーブレット変換を用いてノイズ除去を行った。

次に、2次元の心電図波形データを利用して、3次元状のアトラクター描写を行うにあたり、周期的に現れる心電図波形のパターンをそれぞれに分割して、処理する必要がある。すなわち、心電図波形の中で最も大きなピークとして現れる R 波を検出した上で、PQRST 波の特定を行った。正常～各疾患の心電図波形を対象にして、R 波の検出精度が最も高くなる条件を特定した。

疾患が心電図に現れる際のリズムは、心電図波形に対して不規則な成分となる。この不規則性はこれまでノイズとして扱われてしまうこともあったが、非常に複雑な規則性を有する可能性があること、カオス性を示すことが報告されている。そこで、バイタルデータに対して、カオス分野で用いられるアトラクター描写を適用することは、妥当性がある。

図 1 に、三次元再構成のアトラクタを斜め 45 度から観察して、2次元画像へと変換した画像を示す。時間に対して周期的に現れるバイタルデータを一枚の画像（ヒートマップ）としてビジュアライゼーションして扱える。このような見える化技術は、心電図を読影する技術に長けていない医師にとっての助けにもなると考えている。図 1 に示した正常洞調律の例は一見すると異なる特徴を示しているように見えてしまう。追加の処理を施すことによって、特徴を際立たせることが可能であり、複数の疾患を正確に判定可能なことを把握している。

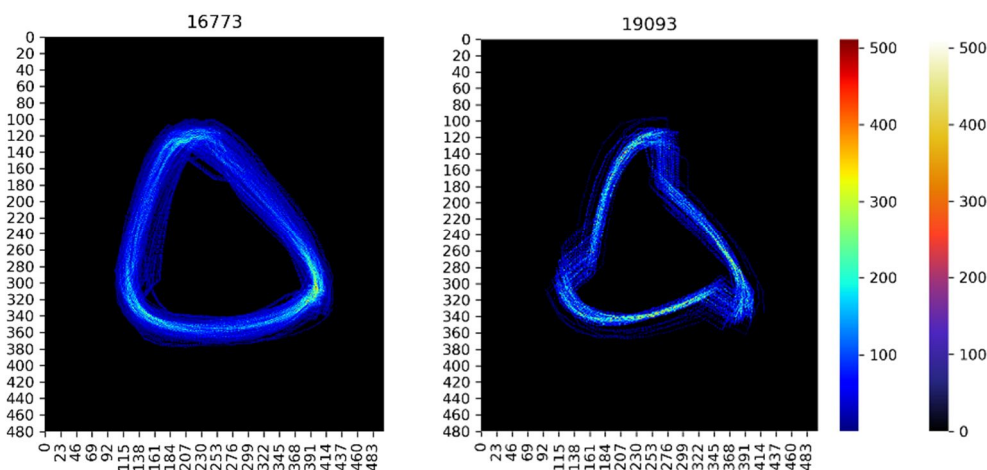


図 1 正常洞調律におけるアトラクタの例

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 3件）

1. 著者名 Kewei Song, Yue Cui, Liang Liu, Boyang Chen, Kayo Hirose, Md. Shahiduzzaman & Shinjiro Umezu	4. 巻 12
2. 論文標題 Electro-spray deposited TiO ₂ bilayer films and their recyclable photocatalytic self-cleaning strategy.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1582
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-05633-w	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 Fan Huang, Kewei Song, Yue Jiang, Kayo Hirose & Shinjiro Umezu	4. 巻 33
2. 論文標題 3D-printed swab with cover for precision diagnosis.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Medicine	6. 最初と最後の頁 8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10856-021-06635-2.	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 Kayo Hirose, Kanji Uchida, Shinjiro Umezu	4. 巻 5
2. 論文標題 Airtight, flexible, disposable barrier for extubation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Anesthesia	6. 最初と最後の頁 798-799
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00540-020-02804-9	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yue Cui, Kewei Song, Kayo Hirose, Md. Shahiduzzaman and Shinjiro Umezu
2. 発表標題 Establishment of ABS Resin Electrospinning Method Utilizing Acetone as Solvents
3. 学会等名 The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Kobayashi, Hisashi Sugime, Suguru Noda, Kayo Hirose and Shinjiro Umezu
2. 発表標題 Evaluation of Stretching Resistance of CNT-Based Flexible pH Sensor
3. 学会等名 The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE),
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣瀬佳代、石川朝陽、梅津信二郎、内田寛治
2. 発表標題 心電図波形に対する新しいアトラクター解析と高精度診断
3. 学会等名 日本麻酔科学会第68回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣瀬佳代、ザマンアハメド、梅津信二郎、内田寛治
2. 発表標題 心電図解析のためのアトラクターの利用
3. 学会等名 日本麻酔科学会第67回学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川朝陽, 廣瀬佳代, 梅津信二郎
2. 発表標題 心電図によるアトラクターの描画
3. 学会等名 日本材料科学会主催2020年度学術講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 周成, 廣瀬佳代, 梅津信二郎
2. 発表標題 リアルタイム解析を用いた、歩行分析への検討
3. 学会等名 日本材料科学会主催2020年度学術講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Asahi Ishikawa, Kayo Hirose, Shinjiro Umezu
2. 発表標題 Disease Classification by ECG Using 'Attractor Reconstruction
3. 学会等名 International Conference on Functional Material Applications (ICFMA) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 施術用袋	発明者 廣瀬佳代、内田寛 治、梅津信二郎、リ ギョウトン	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-88159	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 施術用袋	発明者 廣瀬佳代、内田寛 治、梅津信二郎、二 プロ社担当チーム	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-165492	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究 分 担 者	梅津 信二郎 (Umezu Shinjiro) (70373032)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	

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
---------	---------