

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12815

研究課題名(和文)生活環境・バイタルセンサと温熱機能を有するウェアラブル型生活習慣病予防システム

研究課題名(英文)A Wearable Lifestyle Disease Prevention System Equipped with Bioenvironmental Information Measurement and Warming Functions

研究代表者

水野 裕志 (Yuji, Mizuno)

大阪電気通信大学・医療健康科学部・准教授

研究者番号：30591234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、加温機能を有するウェアラブル型生活習慣病予防システム開発の取組みである。システム開発において、首元と足下の動脈波および体表面温度、並びに環境温度を取得できるセンサを一体化して、無拘束での連続生体情報モニタリングシステムを構築した。さらに、動脈硬化の指標となる脈波伝播速度と冷え症の診察基準である四肢末梢温の体温変動を連続測定できる方法を提案し、測定データから機械学習を用いて中枢温と血圧値を高精度に推定できるモデルを開発した。加温機能の有効性では、センサ情報に従って首元と四肢末梢部を加温制御することで生体情報の安定性が確認できたため、開発システムは生活習慣病を予防できると示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で検討したシステムは、生活習慣病の重症度低減という根本的な問題解決につながり、心血管患者数を減らすことに役立つ。一部、腕時計型の健康管理デバイスが実用化されているが、首元と足下の動脈波および体表面温度、並びに環境温度から血圧値と中枢温を高精度に推定でき、且つ加温機能を有するウェアラブル型生活習慣病予防システムは過去に類をみないシステムである。暖房設備や機器と連携することで生体情報に従った環境づくりが可能となるため更に充実した健康管理が期待できる。血圧値や中枢温は生活習慣病だけでなく、熱中症や低体温症など多くの疾患指標であるため健康長寿社会の維持促進に役立つことから社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：This research subject is the challenge for developing a wearable lifestyle diseases prevention system with a heating function. As regards the system development, a continuous monitoring system without restraint that can measure / analyze each sensor information by wearing a device on the neck and/or feet that integrates a body temperature, a pulse wave, and environmental temperature is proposed. Furthermore, methods are proposed that continuously measure pulse wave velocity, which is an index of arterial stiffness and temperature fluctuation of limb temperature, which is a diagnostic criterion for cold sensitivity, and developed a training model that can estimate core temperature and blood pressure values with high accuracy using machine learning. An effectiveness of the proposed system with a heating function that was suggested prevention for lifestyle diseases by using the proposed system because heating the neck and feet resulted in stable limb temperature and pulse wave velocity.

研究分野：生体情報学, 知能情報学, 医療情報学

キーワード：生活習慣病 ウェアラブル 動脈波 脈波伝播速度 体温 中枢温推定 血圧推定 加温機能

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで血管病変の疑いも無かった者も高齢化と生活習慣の乱れが原因で動脈硬化性の血行障害を引き起こす患者が増加傾向にある。動脈硬化性のサインとされる「冷え」と足の痛みが同時に現れた場合は、閉塞性動脈硬化症などが疑われる。足に動脈硬化がある場合は、脳心血管にも進行している危険性がある。臨床現場では、動脈硬化の指標となる脈波伝播速度 PWV (Pulse Wave Velocity) や血圧値、また、冷え症の診察基準である中枢温と四肢末梢温の温度較差で生活習慣病として診断されている。国民生活基礎調査においても、「手足が冷える」という自覚症状を訴える者が年齢問わず年々増加しており、血行障害に対する医療ニーズは大きい。そこで、厚生労働省が取り組んでいる「保健医療 2035」の具体的なアクションの一つに、ICT (Information and Communication Technology) による「検診・治療データの蓄積・分析による予防・健康・疾患管理の推奨」が挙げられており、腕装着型ウェアラブル端末による健康管理システムの利用者は増えている。このように、ICT による健康管理システムは提示されるものの、あらゆる生活習慣病と深い関係にある血行障害の重症度低減という根本的な問題は解決されていない。予防対策には、動脈硬化の重症度分類に関与する血行動態や冷えの数値化、また、生活環境温などを関連付けた新たな対策アプローチが必要であり、血流増加による末梢血行障害の重症度化を低減させる受動的な発病予防システムが切望されている。

このような背景のもと、無意識・無拘束型バイタルセンサに環境センサと発病予防システムを一体化させたウェアラブル型生活習慣病予防システムを構築して、血流増加効果が期待される加温機能を活用することでこれまで実用化されていない生活習慣病の予防システムが実現できると考え、本研究課題を着想した。

2. 研究の目的

本研究課題の全体構想として、首元や足下で簡単に使用できるウェアラブルネック・レッグ型生活習慣病予防システムの開発を目的とする。生活環境並びにバイタル情報を融合させることで、動脈硬化や体温の指標に基づく末梢血行障害の重症度を検出して、血流増加効果が期待される首元や四肢末梢部を加温し、発病予防するシステムを構築する。

具体的な研究項目は、①首元や足下に簡単に装着できるバイタルセンサと環境センサを一体化したウェアラブルデバイスを提案し、日常生活下での血行動態と体温変動をモニタリングして情報の融合処理を試行する。②融合処理したデータから動脈硬化の重症度分類に関与する冷えや血行動態の診断指標を数値化して、未然に重症化を予防する方法を検討する。③システムへの加温機能付与を考慮して、暖房設備や機器を活用した重症度予防のための加温方法を検討して有効性を検証する。

3. 研究の方法

(1) ウェアラブルネック・レッグ型バイタルセンサの試作と検証

ウェアラブルネック・レッグ型バイタル・環境温センサシステムを試作して、日常生活下における長時間の血行動態および体温変動、環境温を収集する。具体的には、首元と足下に動脈波および体温センサを配置した試作デバイスから得られる動脈波による動脈硬化の指標や体温変動や分布による冷えの関係性を明らかにする。

(2) 末梢血行障害の重症度分類に関与する冷えや血行動態の診断指標の数値化

収集した生体情報データを用いて、機械学習でデータの特徴量を解析して、体調を予測できる入力データ間の関係性を見出す。具体的には、動脈硬化の指標となる脈波伝播速度 PWV と冷え症の診察基準である中枢温と四肢末梢温の温度較差を連続測定できる方法を提案し、測定データから機械学習を用いて血圧値と中枢温を高精度に推定できる学習モデルを開発する。推定値から動脈硬化と冷え症の発症・重症度化を防ぐ方法を検討する。

(3) システムへの加温機能付与を考慮した首元と四肢末梢部の加温方法の検討

末梢血行障害や冷え重症化の検出パターンに基づいて、首元と四肢末梢部の最適な加温方法を検討する。具体的には、長時間における PWV および中枢温と四肢末梢温の温度較差の安定性を図るため、暖房設備や機器との連携システムを想定し、生体情報に従った加温の制御方法について検討して有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) ウェアラブルネック・レッグ型バイタルセンサの試作と検証

センシングするセンサ情報は、生活習慣病の重症度分類の指標となる動脈波および体温、並びに環境温度とした。これまでの研究で、首元に配置する動脈波センサと体温センサは、右側頸動脈上とすることで応答良くデータを得られることを明らかにしてきた。環境温センサについては左側頸部の設置とした。また、足下の配置箇所について、動脈波センサは動脈触診法を参考に右足の後脛骨動脈上とし、体温センサは、これまでの冷え症に関する参考文献をもとに3点の足部上(母趾, 小趾, 足背)とした。脈波センサには、反射型光電式容積脈波法を採用して、光源に緑色光(525 nm) LED, フォトダイオードを受光部とする構成

である。一方、体温センサと環境センサは、高精度サーミスタとアナログ回路部からなる体温測定回路を設計し、温度校正法により電子体温計の JIS 規格に準拠する $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内の測定精度を実現している。なお、環境センサについても同様の回路構成で、誤差 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内の測定精度に校正している。これらのセンサ部を収納する ABS 樹脂製のハウジングを、柔軟なステンレスバンドに固定することで、頸部の形状に関わらず誰でもやさしく装着できる設計とした。また、足部についてはスポーツ用サポータを改良して体表面にセンサが密接固定できるように工夫している。

試作デバイスを用いた測定では、成人健常者 20 名を対象に日常生活下における VDT

(Visual Display Terminals) 作業を想定して、長時間座位の姿勢で検証した。動脈波センサによる検証では、右側頸動脈上と右足後脛骨動脈上だけでなく、独立したセンサを手首の右橈骨動脈上に追加配置して測定する。従って、PWV の測定は右側頸動脈(carotid artery)–右橈骨動脈(radial artery)間 PWV (crPWV)と右側頸動脈–右足後脛骨動脈 (posterior tibial) 間 PWV (cpPWV) の 2 項目とする。crPWV は、値が増加するほど心疾患のリスクが増加し、cpPWV 値についても増加するほど 2 型糖尿病、心血管疾患、脳卒中、腎疾患と相関がある事が知られている。crPWV と cpPWV の測定方法は、まず、頸動脈上の点を基準として橈骨動脈上との点と後脛骨動脈上との点でそれぞれ測定される動脈波から脈波伝播時間 PTT (Pulse Transit Time) [s]を解析する。次に、各動脈上の点間の血管長[m]を計算する。計算方法については参考文献をもとに導出した関数で数値計算する。最後に、血管長を PTT で除算して crPWV[m/s]と cpPWV[m/s]を算出する。

検証の結果、測定開始 1 時間経過すると両 PWV とも上昇することが確認できた。一方、体温センサによる検証では、一定の環境温下における体温変動を 3 時間測定する。中枢温については、熱流補償法が採用されている臨床現場専用の深部体温計を利用する。検証の結果、中枢温と四肢末梢温の温度較差から快適な環境温による空間においても測定開始 90 分経過すると温度較差が 5 度もしくは 10 度を超える対象者を確認できた。結果として、長時間座位の姿勢を継続すると、快適な環境温による空間でも PWV が上昇すると同時に四肢末梢部の体温は環境温に追従して下降することが確認できた。

(2) 末梢血行障害の重症度分類に関与する冷えや血行動態の診断指標の数値化

(1) で収集した生体情報データを用いて、機械学習でデータの特徴量を解析して、体調を予測できる入出力データ間の関係性を見出し、血圧値と中枢温を高精度に推定できる学習モデルを開発する。結果として、血圧推定では、身長、体重、crPWV および cpPWV を予測子として、最高血圧と最低血圧を教師データとする学習モデルを開発し、最高/最低血圧とも 7mmHg 以内の精度で連続測定できることを確認した。この精度は IEEE におけるカフレス血圧計標準規格に準拠する精度である。一方、中枢温推定では、頸部体表面温度、小趾抹消温度および環境温度を予測子として、中枢温を教師データとする学習モデルを開発し、 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内の精度で測定できることを確認した。この精度は JIS における標準規格に準拠する精度である。推定モデルを用いて、PWV と血圧値および冷えの診断指標に従って重症化を検出することができる。

(3) システムへの加温機能付与を考慮した首元と四肢末梢部の加温方法の検討

(1) で収集したデータと (2) で開発した推定モデルによる生体情報に基づいて、長時間座位における末梢血行障害や冷え重症化のパターンを解析し、暖房設備や機器との連携システムを想定した首元と四肢末梢部の最適な加温方法を検討する。加温制御では、長時間座位において PWV の上昇が観察できたため、測定開始 1 時間後から首元と四肢末梢部の加温を開始する。また、冷えの予防については、診察基準を参考に中枢温と四肢末梢温の温度較差が 5°C 以上となる時刻よりも未然に早く加温を開始することとした。なお、加温開始時刻は、温度較差の上昇変化を 1 次遅れ系モデルで表し、時定数に着目することで統計的解析から示した時間である。結果として、PWV の測定については加温開始後下降が確認できた。一方で、四肢末梢部位の局所加温と環境温度の調節による全域加温を利用した冷えの予防方法の試みでは未然に加温制御することで発症や重症化を防ぐことが確認できた。

本研究課題で検討したウェアラブルネック-レッグ型生活習慣病予防システムでは、首元と足下の動脈波および体表面温度、並びに環境温度から血圧値と中枢温を高精度に推定でき、システムに加温機能を連携することで動脈硬化や冷え症の予防に有効であることが示唆された。これは、生活習慣病の重症度低減という根本的な問題解決につながり、開発システムを用いた日頃の健康管理で心血管疾患患者数の低減に貢献できると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大仲優希史, 松村雅史, 松井信正, 水野裕志
2. 発表標題 体温変化に伴う冷え症の重症度予測に関する検討
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹井和佐, 松村雅史, 松井信正, 水野裕志
2. 発表標題 脈波速度による連続的の血圧推定システムの提案と検証 ~ Stiffness Parameter 評価の試み ~
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥村亮太, 辻竜之介, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンド型デバイスによる日常生活動作時の連続血圧計測
3. 学会等名 令和5年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大仲優希史, 松村雅史, 水野裕志
2. 発表標題 予測深部温と末梢温差による ' 冷え ' 重症化予防システムの提案と基礎検証
3. 学会等名 日本福祉工学会 第27回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹井和佐, 松村雅史, 水野裕志
2. 発表標題 ウェアラブル型脈波伝播速度測定システムの提案 ~長時間座位における加温効果の検証~
3. 学会等名 日本福祉工学会 第27回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥村亮太, 辻竜之介, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンド型スマートセンサによる日常生活動作時の連続血圧モニタリング
3. 学会等名 日本福祉工学会 第27回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥村亮太, 辻竜之介, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンドデバイスによる日常生活動作時の血圧サージの検出
3. 学会等名 第33回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大仲優希史, 松村雅史, 松井信正, 水野裕志
2. 発表標題 学習器を用いた深部温予測と冷え症判別法の基礎検討
3. 学会等名 2022年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村亮太, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンドデバイスによる日常生活動作時の連続的の血圧モニタリング-血圧急変の検出-
3. 学会等名 2022年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹井和佐, 松村雅史, 松井信正, 水野裕志
2. 発表標題 PWVを用いた最高血圧の推定と精度評価
3. 学会等名 2022年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村亮太, 大野翔, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンドデバイスを用いた屋内外・日常生活動作時の血圧モニタリング
3. 学会等名 令和4年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大仲優希史, 松本温斗, 松村雅史, 松井信正, 水野裕志
2. 発表標題 温冷感・快不快感申告および体温データによる冷え予防方法の検討
3. 学会等名 令和5年 電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹井和佐, 松村雅史, 松井信正, 水野裕志
2. 発表標題 脈波伝播速度によるカフレス血圧推定法の提案-姿勢変換による推定精度の検証-
3. 学会等名 令和5年 電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水口龍太, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンドデバイスによる日常生活下での連続的血圧推定
3. 学会等名 第31回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水口龍太, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンドデバイスによる最高血圧のワイヤレスモニタリング
3. 学会等名 令和3年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水口龍太, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンドデバイスによる血圧のワイヤレスモニタリング
3. 学会等名 第38回センシングフォーラム計測部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水口龍太, 水野裕志, 松村雅史
2. 発表標題 ネックバンド型デバイスを用いた脈波伝播時間の計測に基づく最高血圧の推定-日常生活動作時の姿勢変化による影響-
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪電気通信大学ホームページ内教員データベース https://www.osakac.ac.jp/faculty/teachers/ 夢ナビ 大学で究める学問発見サイト https://yumenavi.info/vue/lecture.html?gnkcd=g012636&SerKbn=c</p>

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	松村 雅史 (Masafumi Matsumura) (80209618)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・教授 (34412)	
研究分担者	松井 信正 (Nobumasa Matsui) (90759797)	長崎総合科学大学・工学研究科・教授 (37301)	

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