

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00393

研究課題名（和文）手首の脈波を用いたカフレス血圧推定の可能性検討

研究課題名（英文）Feasibility study of cuffless blood pressure estimation using wrist PPG

研究代表者

鈴木 新（Suzuki, Arata）

和歌山大学・システム工学部・講師

研究者番号：20586367

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）：手首の脈波を用いたカフレス血圧推定の可能性を検討するために、脈波波形の解析手法の開発、血行動態と脈波波形の関係性評価、多変量解析手法の開発などに取り組んだ。脈波の波形から安定的に特徴となる項目を抽出する方法について、従来と異なる新しい手法を開発した。開発した手法は安定的に脈波の特徴を抽出できるため、日常の健康管理に有効な方法である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の内容は、従来あまり行われていなかった日常生活における種々の要因で乱れやすい脈波から安定的に特徴を抽出する手法を開発し、それを用いて血圧の推定を行おうという取り組みである。本研究の成果は日常生活において意識をせずに血圧を測定するための技術を提供するために、健康社会を目指すための重要な技術となる。

研究成果の概要（英文）：In order to confirm the possibility of cuffless blood pressure estimation using the wrist PPG, we worked on the development of an analysis method for PPG waveforms, the evaluation of the relationship between hemodynamics and PPG waveforms, and the development of a multivariate estimation method. We have developed a new method, which is different from the conventional method, to stably extract features from the PPG. The developed method can extract the features of the PPG stably, and is an effective method for daily health management.

研究分野：生体医工学

キーワード：血圧 血管年齢 脈波 健康管理 特徴抽出 多変量解析

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、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、一般的に用いられている血圧計は、カフとよばれるベルトを用いて動脈を圧迫することで血圧を測定する。カフによる拘束を受けない方法としてカフレス血圧推定が提案されている。そのひとつは脈波到達時間 (PAT: Pulse Arrival Time) を用いた方法である。これは動脈硬化と血圧の関係を利用したもので、心臓より駆出された血流が末梢部へ到達するまでの時間より血圧を推定する。PAT による方法では駆出タイミングを知るための心電センサーと末梢部の脈波センサーの 2 つが必要になり、取り付けに手間を感じる。そこで取り付けが簡単なひとつの脈波センサーによるカフレス血圧推定法が提案されている。これは動脈硬化の影響が脈波形状にあらわれることを利用したものである。本研究課題では脈波センサーのみを用いた血圧推定技術の精度向上とそれをスマートウォッチへ搭載するための検証を行う。以下、カフレス血圧推定とは脈波センサーのみを用いた方法とする。

カフレス血圧推定は脈波波形をもとに血圧を推定するために、血圧と関係が深い脈波特徴量の抽出が重要になる。Teng らや Samria らは脈波の幅や波形に現れるピーク点の時間差を特徴量とした。しかし脈波は基線が変動しピーク点が明確ではないために特徴量抽出が困難な事が指摘されている。基線変動の影響を受けずに、さらに変曲点を明確に取得しやすくなる方法として微分脈波 (1 次微分、2 次微分) が提案されている。従来の方法では、各ピーク点の高さおよび時間差などが特徴量とされてきたが、微分脈波はノイズに弱く、波高が低い後方のピーク点の抽出は困難であることが Elgendi によって指摘されている。

これらの問題点に対処するために、研究代表者はピーク点を用いない特徴量を開発した。開発した手法は、脈波に複数の等高線を引き、等高線と脈波の交点および脈波内に存在する等高線の長さを特徴量とする。沢山の等高線を引くことで多くの特徴量を生成することができ、それらの特徴量の中からばらつきが少なく、血圧との相関が高いものを選択できるという利点がある。

### 2. 研究の目的

現在、スマートフォンやスマートウォッチなどの普及率が拡大している。これらを用いた健康管理への期待から一部のスマートフォンや多くのスマートウォッチに脈波センサーが搭載されている。しかし現在は心拍数をモニターする機能しかなく、積極的な健康管理の観点からは不十分な印象を受ける。脈波は循環器系の様々な健康評価に利用されているので、スマートウォッチにも同様の機能の付加が期待できる。特に脈波波形形状から血圧を推定するカフレス血圧推定をスマートウォッチに搭載すれば、日常的にかつ非侵襲で血圧の測定が可能となる。本研究課題では指尖脈波による血圧推定技術の精度向上と手首脈波による血圧推定の可能性を検証する。

### 3. 研究の方法

本研究の最終的な目標は脈波センサーのみを用いたカフレス血圧推定法の確立である。そのため本研究課題では、これまでの研究で確認ができていない II 度高血圧の被験者を含めて血圧推定精度を確認する。これまでに開発した推定式を II 度高血圧の被験者において検証する。他にも年齢帯や血圧帯、性別など、いくつかのサブグループを作成して分析を行う。サブグループ分析はグループ毎の特徴を解析するだけではなく、推定精度を向上させる目的がある。さらに指尖脈波と手首脈波の波形とその特徴量を分析し、両者の違いを確認する。宮地らの報告より指尖と手首は類似した脈波が得られるものと考えられるが、もし脈波が大きく異なる場合には指尖と同様の方法で手首脈波についてデータを追加して解析を行っていく。

### 4. 研究成果

脈波センサーのみを使ったカフレス血圧推定実験を行った。この実験の被験者は 265 人の健康な男女であった。被験者の情報は、平均 ± 標準偏差として以下に表す。収縮期血圧、平均血圧、拡張期血圧、平均年齢は、それぞれ  $133.1 \pm 18.4$  mmHg,  $104.5 \pm 13.9$  mmHg,  $79.7 \pm 11.5$  mmHg,  $62.8 \pm 16.8$  歳であった。被験者の平均身長、平均体重、平均ボディ・マスインデックス (BMI) は、それぞれ  $157.3 \pm 7.1$  cm,  $57.1 \pm 10.1$  kg,  $36.3 \pm 5.8$  kg/m<sup>2</sup> であった。実験の方法は、安静にして 5 分間座った後、左上腕で市販の血圧計で血圧を測定し、カフの圧迫の影響を避けて可能な限り血圧と同時刻になるように、脈波波形を右手人差し指から取得した。ここで提案するカフレス血圧推定法は、等高線による特徴量と PLS (partial least squares) 回帰を組み合わせた方法である。多くの特徴量が得られる等高線による方法に適した推定モデルを得る方法として PLS 回帰を用いている。

この実験結果として実測した血圧値とカフレス血圧推定法による血圧値を散布図にして図 1 に示す。図 1 では、開発した手法と比較するために、従来手法 (比較手法 1: 脈波のピークによる特徴量と重回帰分析の組み合わせ、比較手法 2: 等高線による特徴量と重回帰分析の組み合わせ) による結果を示した。推定値と測定値の相関係数は、開発した手法、比較手法 1、比較手法 2 でそれぞれ 0.78、0.58、0.62 であった。推定値の標準誤差は、開発した手法、比較手法 1、比較手法 2 で、それぞれ 9.09、11.76、11.20 mmHg であった。これらの結果より開発した手法は類似した手法に比べて、推定精度が高いことが分かった。

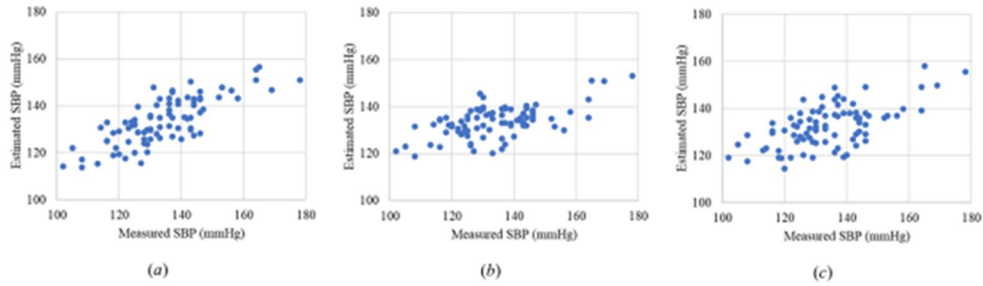


図 1 : 実測値と推定値の散布図 ( (a)開発した手法、(b)比較手法 1、(c)比較手法 2 )

血圧と関係が深い因子として CAVI ( Cardio Ankle Vascular Index: CAVI ) がある。CAVI を脈波波形によって推定する実験を行った。この実験の被験者は 57 名の健康な男女であった。被験者の情報は、平均 ± 標準偏差として以下に表す。被験者の年齢、CAVI 値は、それぞれ  $49.5 \pm 20.6$  歳、 $48.7 \pm 22.2$  歳であった。実験方法は水平な検査用ベッド上に仰臥位で 10 分間の安静の後、両上腕カフ・両足首カフ・心電電極・心音マイクを装着して測定を行い、CAVI 値をもとに算出された血管年齢を得た。脈波は CAVI 測定後に 5 分間の安静座位の後、左手の人指し指にて 30 秒間の測定を行った。日常的に CAVI などの健康状態を評価するためには、脈波の測定時間は短い方が望ましい。そのため測定時間を 10 秒および 20 秒とした場合も検討した。

この実験結果として実測した CAVI 値と脈波からの推定値を散布図にして図 2 に示す。推定値と測定値の相関係数は、30 秒、20 秒、10 秒でそれぞれ 0.88、0.86、0.86 であった。脈波測定時間の短縮による推定精度の変化について、若干の精度悪化はみられたが、十分な精度を持っていることが確認できた。

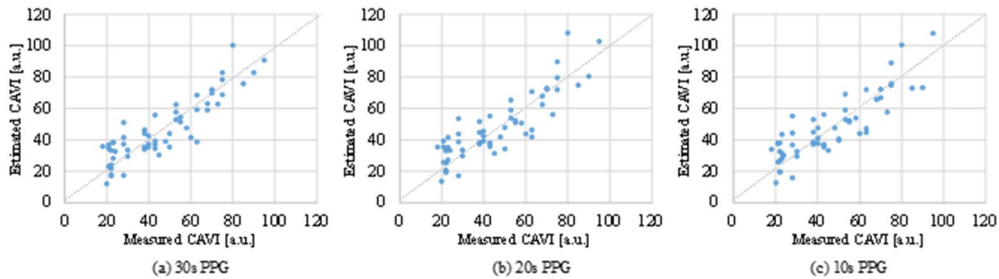


図 2 : 実測値と推定値の散布図 ( 測定時間(a)30 秒、(b)20 秒、(c)10 秒 )

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fujita Daisuke, Suzuki Arata	4. 巻 7
2. 論文標題 Evaluation of the Possible Use of PPG Waveform Features Measured at Low Sampling Rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 58361 ~ 58367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2914498	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 Fujita Daisuke, Suzuki Arata, Ryu Kazuteru	4. 巻 9
2. 論文標題 PPG-Based Systolic Blood Pressure Estimation Method Using PLS and Level-Crossing Feature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 304 ~ 304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3390/app9020304">https://doi.org/10.3390/app9020304</a>	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 Liu Hongchao, Fujita Daisuke, Zhang Ling, Suzuki Arata	4. 巻 6
2. 論文標題 Real-Time Pulse Waveform Profiling Algorithm for Wearable Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 59296 ~ 59306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2018.2875548	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 該当する
1. 著者名 藤田 大輔、鈴木 新、劉 和輝	4. 巻 139
2. 論文標題 脈波波形特徴量のPLS回帰によるCAVI 血管年齢推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 711-718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Uemura Yuto, Fujita Daisuke, Suzuki Arata	4. 巻 6
2. 論文標題 Two-step variable screening method for the Mahalanobis-Taguchi method with small training data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers	6. 最初と最後の頁 54 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.12792/jiaae.6.54">https://doi.org/10.12792/jiaae.6.54</a>	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 -

1. 著者名 Fujita Daisuke, Uemura Yuto, Suzuki Arata	4. 巻 5
2. 論文標題 A Simple Variable Screening Method for the Mahalanobis Taguchi Method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers	6. 最初と最後の頁 111 ~ 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.12792/jiaae.5.111">https://doi.org/10.12792/jiaae.5.111</a>	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 -

1. 著者名 鈴木 新、藤田 大輔	4. 巻 55Annual
2. 論文標題 光電脈波を用いたカフレス血圧推定 - 脈波特徴量の解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 364 ~ 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11239/jsmbe.55Annual.364">https://doi.org/10.11239/jsmbe.55Annual.364</a>	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 -

1. 著者名 藤田 大輔、鈴木 新	4. 巻 55Annual
2. 論文標題 脈波波形の等高線ベース特徴量による血圧値推定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 243 ~ 243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11239/jsmbe.55Annual.243">https://doi.org/10.11239/jsmbe.55Annual.243</a>	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 -

1. 著者名 中矢 貴沙人、植 瑞貴、鈴木 新、劉 和輝	4. 巻 137
2. 論文標題 等高線ベース脈波特徴量と血圧値解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌. C	6. 最初と最後の頁 652 ~ 657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.137.652	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9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鈴木 新、藤田 大輔
2. 発表標題 PPGによるカフレス血圧推定
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田 大輔、鈴木 新
2. 発表標題 脈波波形を特徴量としてカフレス血圧推定
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 脈波を用いた運動時の血圧推定における基礎的な検討
2. 発表標題 戎谷領真、鈴木新
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西本一紀、鈴木新
2. 発表標題 脈波のポアンカレプロットによるストレス評価
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤田大輔、鈴木新
2. 発表標題 脈波波形特徴量を用いたPLS回帰による血圧値推定
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daisuke Fujita, Arata Suzuki
2. 発表標題 Analysis of relation between pulse, acceleration pulse waveforms and aging
3. 学会等名 International Conference on Advanced Materials, Mechanical Engineering and Technology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中矢貴沙人、鈴木新
2. 発表標題 波形ベース脈波特徴量と血圧値解析
3. 学会等名 第33回センシングフォーラム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤田大輔、鈴木新
2. 発表標題 光電脈波信号を用いた血圧値推定における推定手法の比較
3. 学会等名 第33回センシングフォーラム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 植村祐人、鈴木新
2. 発表標題 MTSを用いた血圧推定
3. 学会等名 第33回センシングフォーラム
4. 発表年 2016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