

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 3 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870044

研究課題名(和文) カメラ映像を用いた血圧変動成分の非接触計測に関する研究

研究課題名(英文) Non-contact measurement of blood pressure variability using video images

研究代表者

杉田 典大 (Sugita, Norihiro)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90396458

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)：日常生活において、生体に危険を及ぼすような急激な血圧変動を把握することは重要である。本研究では、血圧変動を非接触で計測する手法の提案を行う。本手法では、対象者の顔や手などそれぞれ異なる部位をカメラで撮影し、その間における脈波の遅延時間を計算する。このようにして求めた指標は、従来の光電容積脈波から求まる脈波伝搬時間とほぼ等価であるため、血圧変動とは負の相関を持つことが予想される。20人の被験者を対象としてバルサルバ法を行う実験を行った結果、提案指標と血圧変動の相関は0.65程度であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：It is important to know about a sudden blood pressure change that occurs in everyday life and may pose a danger to human health. In this study, a new non-contact method to measure blood pressure variability is proposed. As an index related to blood pressure variability, the time delay is calculated between two pulse waves obtained from different parts of a subject's face or hand captured by a video camera. This index is considered to have a negative correlation with blood pressure variability because it approximates the pulse transit time obtained from a photoplethysmograph. The proposed index was calculated from video images of 20 healthy subjects performing the Valsalva maneuver. The results showed that the correlation coefficient between blood pressure and the proposed index was approximately 0.65.

研究分野：生体医工学

キーワード：血圧変動 脈波伝搬 高速度カメラ 非接触計測

## 1. 研究開始当初の背景

近年、増大する医療費の抑制策として、いわゆるメタボ検診の実施にみられるような病気を「予防」する取り組みが重要視されつつある。このような予防を実践するためには、在宅においても日常的に身体の状態をモニタリングすることが重要であるが、未だ病気になっていない人に自らの意思でモニタリングを継続的に行ってもらうことは容易ではない。

これに対して、身体の状態を無意識のうちは無拘束かつ非接触で計測できる技術の提案が行われている。基本的なバイタルサインである心拍数や呼吸数に関しては、反射電磁波の解析[1]やカメラで撮影した顔面映像の画像解析[2]など、多くの手法が提案されている。また、心拍数と呼吸数以外でも、サーモグラフィを用いた皮膚表面温度[3]やレーザドップラー流速計による血流量[4]などが非接触で計測可能であるが、これらは計測機器が極めて高価であることに加え、基本的には計測対象部位を動かすことができないため実際の測定では被験者が拘束されてしまい、日常的なモニタリングには向かない。

さらに、健康管理に有用な情報である自律神経活動や日内血圧変動などを知るためには血圧情報を得る必要があるが、非接触に血圧情報を得る手法については先行研究が存在しない。

一般に、血管内を伝搬する脈波の速度は血圧と相関することが示されており[5]、この原理を利用することで血圧の増減(変動成分)に関しては推定できることが分かっている。すなわち、生体内部位のある複数点間における脈波の到達時刻の差が分かれば、血圧変動を推定できると考えられる。近年、映像撮影用カメラの高精度化および新しい多変量解析手法の開発により、顔面などの映像などから連続する脈波の到達時間間隔(すなわち心拍数)を高精度に推定することが可能となっている[2]。従って、これを局所的に適用して複数点間における脈波の伝搬遅延が推定できれば、完全非接触な計測で血圧の変動成分を推定できる可能性がある。

## 【参考文献】

- [1] C. Li, et al.: Experiment and Spectral Analysis of a Low-Power Ka-Band Heartbeat Detector Measuring From Four Sides of a Human Body, IEEE Trans. Micro. Theo. Tech., 54(12), pp.4464-4471, 2006
- [2] M. Poh, et al.: Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation, Opt. Expr., 18(10), pp.10762-10774, 2010
- [3] E.Y. Ng, et al.: Analysis of IR thermal imager for mass blind fever screening, Microvasc. Res., 68(2), pp.104-109, 2004
- [4] K. Wardell, et al.: Laser Doppler perfusion imaging by dynamic light scattering. IEEE Trans. Biomed. Eng., 40, pp.309-16, 1993
- [5] B. Gribbin, et al.: Pulse wave velocity as a measure of blood pressure change,

Psychophysiology, 13(1), pp.86-90, 1976

## 2. 研究の目的

本研究では、センサの装着が一切不要な方法として、カメラによって撮影された身体の映像から血圧変動の情報を自動的に抽出する手法の提案を行う。加えて、提案手法の推定精度に大きく影響を及ぼすと考えられる、「周辺光」、「環境温」、「体動の大きさ」などの条件を変えた実験を実施し、これらが血圧変動の推定精度に与える影響について検証を行う。

## 3. 研究の方法

はじめに、具体的なアルゴリズムの開発を行い、続いて計測環境の変化が推定精度に及ぼす影響の検証を行う。

アルゴリズムでは、脈波の伝搬速度が血圧に比例するという原理に基づき、体表面上の複数箇所における脈波到着時刻をカメラ映像から求めることにより、完全非接触で血圧変動の推定を試みる。具体的には、顔面などの身体映像を複数の領域に分割し、各領域内における代表値の時系列を求める。代表値の候補としては、領域内 RGB 信号の平均値のほか、主成分分析もしくは独立成分分析などの多変量解析を用いて求められる値を検討する。次に、これらの領域から得られる信号間の伝達遅延から脈波伝播時間(pulse transit time: PTT)を計算することで血圧変動を推定する。提案手法では、従来の PTT 算出手法のほか、信号波形の位相情報に基づいた計算方法などの適用を試みる。また、脈波の伝搬情報の流れと見なし、情報論的アプローチを適用することによって有効な情報の抽出を試みる。

続いて、提案手法の推定精度に大きく影響を及ぼすと考えられる、「周辺光」、「環境温」、「体動の大きさ」などの条件を変えた実験を実施し、これらが血圧変動の推定精度に与える影響について検証を行う。さらに、検証実験の結果に基づき、これらの影響に対してよりロバストな推定アルゴリズムの開発を検討する。

特に、皮膚の表層に近い部分で観測される脈波信号の S/N は光源の周波数によって大きく異なるため、一定でない周辺光が推定精度に与える影響は極めて大きい。この影響を情報量解析に基づいて除去するためには、例えば、各領域に同時に現れる情報は周辺光による影響、領域間で一定の遅延を持っている情報は脈波伝播のように仮定することが有効であると考えられる。さらに、計測前に周辺光を人為的に変化させるキャリブレーションを行い、周辺光が映像内の各領域に与える影響を推定する確率モデルなどを構築することで、より精度の高い推定が可能になると考えられる。

一方、頭部全体の位置が変動してしまうような場合については、既に提案されている顔

認識の技術を適用させることによってある程度補償できる可能性がある。これ以外にも、計測環境内の温度や被験者のストレス状態の変化などによって血管の収縮・拡張が生じた際に、血圧変動推定にどのくらいの影響を及ぼすのかについても検証を行う。

#### 4. 研究成果

研究では、映像から脈波情報を取得するステップと、取得した脈波情報から血圧情報を抽出するステップの2つから成るアルゴリズムを考案した。

まず、画像の平滑化を行うためにフレーム毎の画像全体に $5 \times 5$  pixels のメディアンフィルタ処理を行う。これにより映像に含まれるインパルス状の雑音を除去することができる。得られた映像に対し、顔面左頬、顔面額、右手掌、首前部の各部位周辺に関心領域 (region of interest: ROI) を設定し、それぞれの ROI における脈波情報 (image photoplethysmography: iPPG) を取得する。具体的には、設定した ROI 内の全画素における緑色輝度値の平均値を映像の1フレーム毎に算出し、心拍と同期した拍動性信号を抽出する。緑色輝度値のみを対象とする理由は、この波長の光が血中ヘモグロビンを吸収しやすい特性を持つためである。また、iPPG 信号には体動や呼吸性変動などに伴う成分が含まれているため、これらを取り除くためのフィルタ処理を行う。

続いて、2箇所 ROI から得られる iPPG を対象とした PTT を算出する。PTT を定義するための特徴点を検出する精度は血圧の推定精度に直結するが、この特徴点の決定に関しては様々な方法があり、どれが最適だという結論には至っていない。本研究では、従来法の中で比較的多く用いられている脈波の極小値を特徴点とする方法で、iPPG から PTT (以降、TD と記述する) を算出した。これに加え、特徴点の検出をすることなしに、異なる2箇所の ROI における iPPG の位相差から PTT に相当する情報を推定する手法を用いた。具体的には、各 ROI で得られた iPPG に対してヒルベルト変換を用いて瞬時位相を求め、ROI 間での差分を取ることで瞬時位相差 (phase difference: PD) を計算する。この PD は2つの iPPG 間における遅延時間に相当することから、PTT と等しい情報として用いることができると考えられる。

iPPG から求まる TD と PD が、血圧変動を反映する指標として有効であるかどうかを検証するため、20名の健常成人被験者 ( $22.8 \pm 1.1$  歳) を対象とした実験を行った。実験では、座位で5分間安静状態を保ってもらい、その中で1分間呼吸停止を行うことで血圧を意図的に変化させた。実験中、ビデオカメラを用いて被験者の顔面と手掌を120fpsの速度で撮影すると同時に、心電図、指尖の近赤外光容積脈波 (irPPG)、連続血圧の波形それぞれについても測定を行った。ビデオカメラで得

られた映像からは TD と PD を、心電図と irPPG からは従来の PTT を、連続血圧波形からは1拍毎の収縮期血圧 (systolic blood pressure: SBP) をそれぞれ計算した。TD、PD 及び PTT は、 $0.04\text{Hz}$  の低域通過フィルタ処理を行った後、SBP との相関を調べた。ただし、首の部分を対象とした iPPG に関しては、体動等のノイズが多く含まれていたため、今回は解析の対象外とした。

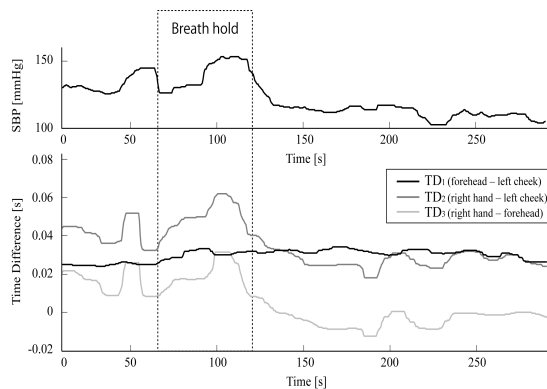


図1：代表的な被験者の SBP と身体各部位 (額、手、頬) の iPPG から求めた TD。(0.04Hz ローパスフィルタ処理後)

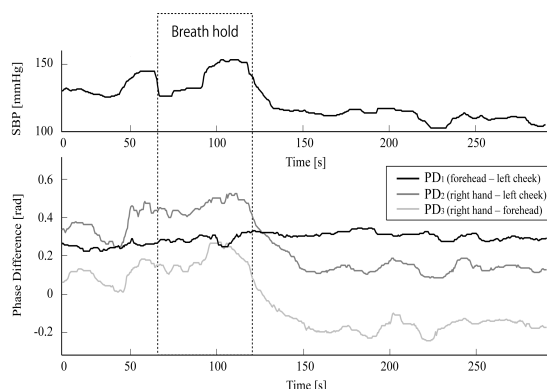


図2：代表的な被験者の SBP と身体各部位 (額、手、頬) の iPPG から求めた PD。(0.04Hz ローパスフィルタ処理後)

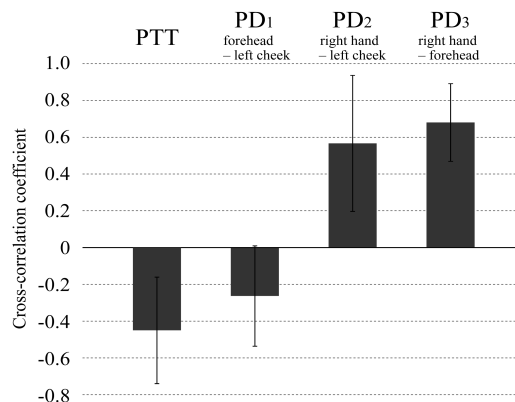


図3：irPPG を用いた従来の PTT 及び各部位の iPPG から得た PD について、SBP との相関係数を全被験者 (n=20) で平均した結果。

図1と図2に、代表的な被験者のSBPと、身体の各部位(額、手、頬)のiPPGから求めたTDとPDの変動をそれぞれ示す。これらの結果から、手の領域を対象としたiPPGを含む場合のTDとPDは、SBPと近い変動をしていることがわかる。

図3に、irPPGから得た従来のPTT及び各部位のiPPGから得たPDについて、SBPとの相関係数を全被験者(n=20)で平均した結果を示す。この結果から、従来のPTTとSBPの相関係数は-0.42である一方、額と手のiPPGから得たPD(PD<sub>3</sub>)とSBPの相関係数は0.65であり、正負を除いて相関係数の大きさだけを比べた場合、PDとの相関係数の方が有意に高い結果となった。TDも概ね同様の結果が得られたが、SBPとの相関はPDほど高くはならなかった。

このように、手と額や頬のiPPGから得たTDやPDがSBPと正の相関を示したという結果は、血圧とPTTが負の相関関係を示すという従来の報告とは矛盾するものである。この理由として、以下の2点が考えられる。

まず、それぞれのセンサで対象としている光の波長では生体組織への光の透過深度が異なることから、irPPGとiPPGとでは観察している血管が異なっていることが原因として考えられる。具体的には、iPPGの主成分である緑色光(525nm)は透過深度が300 $\mu$ mであるのに対し、irPPGで用いられる近赤外光(800nm)は透過深度が1200 $\mu$ mである[6]ため、irPPGが動脈の血流を捉えているのに対してiPPGは主に皮膚浅部の表皮毛細血管血流を捉えていると考えられる。

また、今回の実験では、呼吸停止負荷によって交感神経を賦活化させたため、末梢の細動脈による血管抵抗が上昇し、これにより皮膚表面に流入する血流量は相対的に低下したと考えられる。この結果、手領域においては、脈動に伴う皮膚表層での血液充満に遅延が生じる。一方、顔面領域においては、血管の拡張は交感神経だけでなく副交感神経の支配も受けるという報告がある[7]ため、手とは異なり血管の収縮が起こらず、脈波が動脈から皮膚表層に出現するまでの遅延が起きにくかったと考えられる。この差が、血圧との正相関となって表れた可能性が高い。

今後は、これらの仮説を確かめることに加え、今回実施できなかった計測環境内の温度や被験者のストレス状態の変化などによる影響を調べる必要がある。また、技術面においては、顔や手以外を含めて血圧情報をより強く反映する部位を探索する方法や、映像における2次元的情報を積極的に利用した手法などを確立することが必要である。

#### 【参考文献】

- [6] R. R. Anderson, et al.: Optical radiation transfer in the human skin and application in vivo remittance spectroscopy, Proc. the Symposium on Bioengineering and the skin, pp.19-21, 1979

- [7] H. Izumi, et al.: Somatosensory stimulation causes autonomic vasodilation in cat lip, J. Physiology, 450, pp.191-202, 1992

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Kazuma Obara, Norihiro Sugita, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe, Evaluation of Baroreflex Function Using Green Light Photoplethysmogram in Consideration of Resistance to Artifacts, Advanced Biomedical Engineering, 査読あり, vol. 4, 2015, 1-6

DOI: <http://doi.org/10.14326/abe.4.1>

〔学会発表〕(計 3件)

小原一誠, 阿部誠, 杉田典大, 吉田智契, 吉澤誠, 映像からの脈波情報抽出, 計測自動制御学会東北支 50周年記念学術講演会, 2014年12月11日, 青葉記念会館(仙台)

小原一誠, 杉田典大, 阿部誠, 吉田智契, 吉澤誠, 身体映像を用いた血圧変動推定, 第54回日本生体医工学学会大会, 2015年5月7日, 名古屋国際会議場(名古屋)

Norihiro Sugita, Kazuma Obara, Makoto Yoshizawa, Makoto Abe, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Techniques for Estimating Blood Pressure Variation Using Video Images, 37th Ann Conf of IEEE EMBS, 2015 Aug. 27, Milano, Italy

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 生体情報計測装置、生体情報計測方法、生体情報表示装置及び生体情報表示方法

発明者: 吉澤誠, 杉田典大, 阿部誠, 山家智之, 本間経康, 小原一誠, 田中明

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2016-32467

出願年月日: 2016年2月23日

国内外の別: 国内

取得状況(計 1件)

名称: 脈波伝播速度の測定方法、その測定方法を用いた測定システムの作動方法及び脈波伝播速度の測定システム並びに撮像装置

発明者: 吉澤誠, 本間経康, 杉田典大, 阿部誠, 田中明

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 6072893

登録年月日: 2017年1月13日

国内外の別: 国内

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉田 典大 (SUGITA, NORIHIRO)  
東北大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：90396458

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし