

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18117

研究課題名(和文) デジタルカラー動画像に基づいた非接触型中心血圧計の実現

研究課題名(英文) Contactless measurement of blood pressure based on digital color images

研究代表者

中野 和也 (Nakano, Kazuya)

千葉大学・フロンティア医工学センター・特任助教

研究者番号：80713833

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)：動脈硬化症の評価指標の1つとして、心臓から末梢に伝播する脈波の時間を示す脈波到達時間(PTT: Pulse Wave Transit Time)がある。近年、このPTTから血圧を推定する研究が行われている。従来は、ECGやPPGといった接触型センサーを用いた計測系であったが、自由行動下や家庭でのライフログの記録といった使用も想定すると、非接触で計測できることが望ましい。そこで、PTTをベースとした非接触血圧計の実現を目指し、その基礎研究を実施した。

研究成果の概要(英文)：Contactless image sensing of pulse wave transit time (PTT) using two digital color cameras was proposed. Moreover, we successfully obtained the PTT using a contactless measuring system composed by two digital color cameras recording the face and hand of subjects. In this study, we simultaneously measured SBP and PTT by using a sphygmomanometer and the contactless measuring system for PTT measurement, respectively. We made SBP (systolic blood pressure) increased by asking participants to either grasp a handgrip or momentarily interrupting breath. As the results, the mean PTT under stress was significantly lower than that without stress, which is consistent with an increased SBP. Therefore, we demonstrated contactless measurement of SBP based on PTT.

研究分野：生体医用光学 情報光学

キーワード：脈波伝播速度 脈波伝播時間 血圧 非接触計測 RGB画像 血液量推定

### 1. 研究開始当初の背景

現在、動脈硬化に対する臨床的な指標の1つとして、脈波伝播速度(PWV: Pulse Wave Velocity)が用いられている。PWVは動脈を通して心臓から全身に伝播し、その速度も血管が硬いほど速くなる。ここで、ある長さ $L$ に動脈に対して脈波到達時間(PTT: Pulse Wave Transit Time)を $T_{PTT}$ 、PWVを $V_{PWV}$ とすると以下の式が成り立つ。

$$V_{PWV} = L / T_{PTT} \quad (1)$$

さらに、PWVと血液及び血管に関するパラメータとの関係は以下の Moens-Korteweg 式によって示すことができる。

$$V_{PWV} = \frac{L}{T_{PTT}} = \sqrt{\frac{E \cdot h}{2r \cdot \rho}} \quad (2)$$

$E$  は血管壁のヤング率、 $h$  は血管壁の厚さ、 $r$  は血管の半径、 $\rho$  は血液密度を示している。またヤング率  $E$  と収縮期血圧(SBP: systolic blood pressure)との関係は経験的に下記のように決まる。

$$E = E_0 \exp \alpha P_s \quad (3)$$

$E_0$  は SBP がゼロの時の  $E$  を示しており、 $\alpha$  は血液及び血管に関するパラメータ、 $P_s$  は SBP の値を示している。よって式(2)及び(3)から PWV と SBP の関係は以下のように表すことができる。

$$P_s = a_1 \ln T_{PTT} + a_2 \quad (4)$$

$\alpha_1$  と  $\alpha_2$  は被験者毎に異なる血液及び血管に関する定数である。

このように、PTTを計測することで、収縮期血圧を推定できることが分かる。近年、従来のカフを用いるオシロメトリック法に対して、カフを使用しないカフレス血圧計に関する研究が行われている。さらに、本研究では、PTTに基づいた血圧計を非接触計測に発展させる為に、RGBカメラを用いた計測系を構築し、実現可能性について調査した。

### 2. 研究の目的

本研究では、PTTを利用した非接触型カメラベース血圧計の実現を目的として、基礎データの取得を行った。具体的には2台のRGBカメラによる皮膚動画同期撮影により取得したRGB動画像から脈波を抽出し、それらの時間差からPTTを取得する。このときPTTからSBPに変換を行う為の非線形式を求める為には、様々なSBP値におけるPTTの計測が必須となる。そこで、血圧上昇の刺激として、息止め及びハンドグリップ運動を実施した。

### 3. 研究の方法

試作した計測系を Fig.1 に示す。本計測装置は、2つの計測ユニット、ハードウェアトリガー、PCから成る。ハードウェアトリガーと計測ユニットはPCI Expressカードを介して接続されている。トリガーを押すと、インパルス信号が計測ユニットに送られ同期撮影を開始する。計測ユニットはRGBカメラ(HAS-L1, 株式会社ディテクト)、白色LED光源、リングイルミネータ、そして、表面の反射成分低減を目的として、リング照明にリング状、カメラレンズの前に平板の偏光板をクロスニコル配置にして設置した。また、被験者に対して椅子座位の状態で顔(額)及び手を計測した。

実験プロトコルについて説明する。まず、Fig.2 に示すように、刺激を与えない Rest の状態とハンドグリップ運動時においてそれぞれ計測を行い、血圧上昇により非接触で求めた PTT に違いが生じるかについて調べた。本実験は、平均年齢 26.4 歳の 5 名の男性に対して実施した。次に、1 人の被験者に対して、息止めを行い、その前後の PTT の時間変化について調査した。最後に、1 人の被験者に対して、ハンドグリップ運動とレストの時の PTT を繰り返し計測し、その時の SBP と PTT の間の関係について調査した。

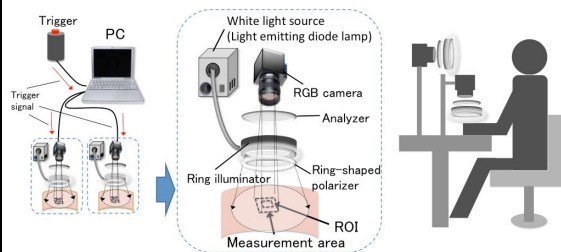


Fig.1 Contactless PTT measuring system.

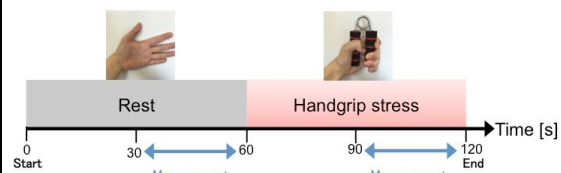


Fig.2 Experimental protocol

### 4. 研究成果

RGB 動画像から PTT の取得まで説明する。まず、RGB 値から皮膚組織中の総血液量の時間変化を求める。RGB 値を事前に標準色表を用いて求めた変換行列を用いて XYZ 刺激値に変換する。皮膚組織中に存在する光を吸収する色素であるメラニン  $C_m$ 、酸化ヘモグロビン  $C_{ob}$ 、脱酸化ヘモグロビン  $C_{db}$  を様々な濃度の組み合わせで光伝搬モンテカルロ法を行い、分光反射率を求める。その後求めた分光反射率から得られた XYZ 値と色素濃度で重回帰分析を行い、XYZ 値を色素濃度に変

換する行列を求める．それら 2 つの行列により計測した RGB 値を色素濃度に変換する．そして，総血液量は求めた酸素化及び脱酸素化ヘモグロビン量の総和となる．Fig.3 の左図は，上記の手法で RGB 動画像から求めた ROI の総血液量の時間変化である．この時間変化に対して，0.7 から 3.0 Hz の帯域でバンドパスをかけると，右図のように脈波成分を抽出することができる．脈波成分は真ん中のフーリエスペクトルが示すように，拍動に応じて 1 Hz 付近に大きなピークが持っている．さらに Fig.4 に示すように，PTT は 2 点の計測で求めた脈波の立ち上がり点の時間差から求めることができる．

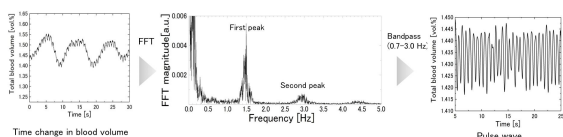


Fig.3 Pulse wave extracted from blood volume variation.

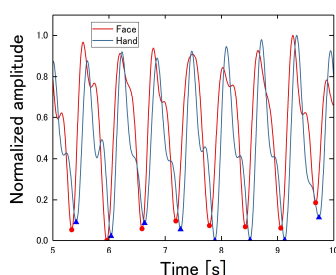


Fig.4 Pulse waves in face and hand to determine PTT

次に各プロトコルでの実験結果について述べる．ハンドグリップ運動の有無による SBP と PTT の関係について述べる．Fig.5 は SBP と PTT に対してハンドグリップ負荷のないレスト状態とハンドグリップ運動時と比較した結果である．この結果に対して， $t$  検定を実施したところ，ハンドグリップ運動により被験者 5 名の SBP は有意に上昇し，PTT は有意に短くなることを確認した．

次に，1 人の被験者に対して，40 秒間の息止めを行い，3 つのフェーズ(息止め開始前，息止め中，息止め終了後)における PTT の変化を調査した．息止めによる血圧上昇は，バルサルバ手技として知られている．フェーズ毎に計測した SBP は，128 mmHg(息止め開始前)，141 mmHg(息止め中)，131 mmHg(息止め終了後)となった．Fig.6 に上記 3 つのフェーズにおける PTT の時間変化を示す．PTT は 10 秒間の平均値とした．この結果から，PTT は SBP 上昇に伴い PTT は短くなり SBP の下降に伴い，PTT が長くなることを確認することができた．

最後に，1 人の被験者にハンドグリップ負荷を与えた場合と与えない場合で合計 14 回 PTT 及び SBP の計測を実施し，その結果をプ

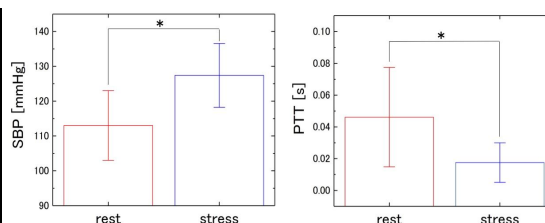


Fig.5 Comparison of before and after grasping for SBP and measured PTT.  $*p < 0.05$ ,  $n = 5$ .

ロットしたグラフを Fig.7 に示す．左図は線形フィッティングを行った結果を示しており，右図は式(4)で示した Moens-Korteweg 式に基づいた PTT と SBP の間の非線形な関係を示した式でフィッティングした結果である．まず，SBP と PTT の間のピアソンの積率相関は  $R = -0.72$  ( $p < 0.05$ )となり，負の相関を示した．さらに，決定係数  $R^2$  が線形フィッティング(0.48)に比べ，式(4)でフィッティングした結果のほうがよい近似(0.59)を示した．このことから，精度向上の課題はあるものの，カメラを用いて求めた PTT から SBP を推定できることが分かった．

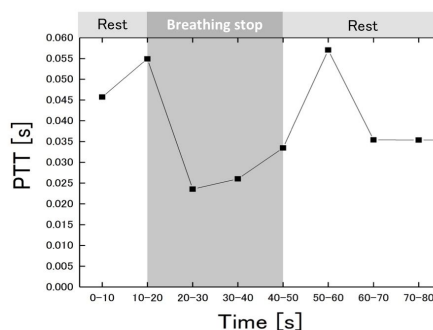


Fig.6 Measured PTT evolution when holding breath.

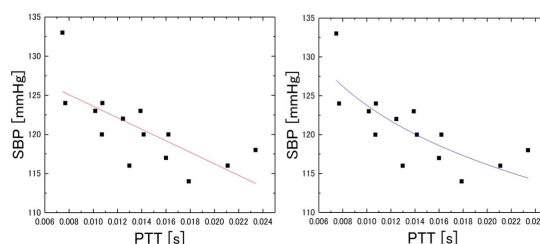


Fig.7 Linear or curve fitting between measured PTT and SBP.

本研究では，カメラを用いた PTT に基づく非接触血圧計に関する基礎研究を行った．PTT ベース血圧計を用いて，PTT から血圧の推定を行う為には，運動負荷等によって様々な SBP で PTT を計測することが必要となり，使用者への負担が大きいことが大きな課題となる．また，今回は SBP だけであったが，拡張期血圧(DBP)についても求めることがで

きるかどうかを検討する必要がある。さらに、実際にどのような状況下での使用が考えられるかについても整理し、状況に応じた光学系の設計も必要となってくる。

該当なし

#### 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)

(3)連携研究者  
該当なし

(4)研究協力者  
該当なし

〔学会発表〕(計 5 件)

- (1) 中野和也 (招待講演), “血管コンプライアンスの非接触計測,” パイオカラー研究会 セカンドステージ 第5回デジタル生体医用画像の「色」シンポジウム「生体イメージング革新とその実地・臨床応用」, 千葉大学西千葉キャンパス, 2018.2.15
- (2) Kazuya Nakano, Takashi Ohnishi, Izumi Nishidate, and Hideaki Haneishi, “Noncontact sphygmomanometer based on pulse-wave transit time between the face and hand,” SPIE BiOS 2018 – Part of SPIE Photonics West, The Moscone Center San Francisco, California, USA. 2018.1.30.
- (3) 中野和也 (招待講演), “デジタルカラー動画像による血管コンプライアンスの評価手法の構築” 第1回フォトニクス生体情報センシングセミナー, 静岡大学浜松キャンパス, 2017.5.10
- (4) 中野和也, 青木佑太 鈴木裕之 西館泉, “デジタルカラー動画像による顔-手間脈波伝播速度の計測,” レーザー学会 学術講演会第37回年次大会, 徳島大学三島キャンパス (徳島), 2017.1.7.
- (5) Kazuya Nakano, Yuta Aoki, Ryota Satoh, Hiroyuki Suzuki, and Izumi Nishidate, “Noncontact Image Sensing of Pulse Wave Velocity Using Digital Red-Green-Blue images,” Biomedical Imaging and Sensing Conference 2016 (BiSC'16), Yokohama, Japan, 2016.5.18.

〔図書〕(計 1 件)

中野和也「血管コンプライアンス—接触型から非接触型への展開—」光技術コンタクト誌 (一般社団法人日本オプトロニクス協会) Vol. 55, No.10, 2017

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

中野 和也 (NAKANO KAZUYA)  
千葉大学・フロンティア医工学センター・特任助教

研究者番号：80713833

##### (2)研究分担者