

修士学位論文要約（令和4年3月）

掌映像を用いた血圧情報抽出に関する研究

池宮 大稀

指導教員：中村 健二， 研究指導教員：杉田 典大

A Study of Contactless Blood Pressure Estimation Using Palm Area Video

Taiki IKEMIYA

Supervisor: Kenji NAKAMURA, Research Advisor: Norihiro SUGITA

In this study, we proposed a blood pressure (BP) estimation model using video plethysmography (VPG), a method for non-contact acquisition of biological signals, in order to promote habitual BP measurement in daily life. The model uses the amplitude ratio of VPG signals measured at two different heights from the heart. To improve the robustness of the BP estimation, we introduced some analysis algorithms to reduce the disturbance caused by non-contact measurements. Experiments were conducted to verify the validity and reproducibility of the proposed model. 10 subjects were tested. Four measurements were taken for each subject, and the data were used to create a BP estimation model for each subject. The validity and reproducibility results were 9.3 ± 6.9 mmHg for mean absolute error (MAE) and 15.2 ± 11.7 mmHg for MAE, respectively, showing high validity and reproducibility.

1. はじめに

高血圧は、日本における主要な死因である循環器疾患の重要な予測因子である。高血圧は古くから「サイレントキラー」と呼ばれる自覚症状の乏しい疾患であり、自力での発見が難しい。また、高血圧患者の血圧管理不良も問題となっている。よって、家庭での習慣的な血圧測定が循環器疾患の予防に有効である。現在、家庭での血圧測定は、数秒間で非侵襲的に血圧測定が可能なオシロメトリック法が主流である。しかし、腕や手首に装着したカフを膨らませる必要があるため、圧迫による不快感や装着の煩わしさが日常的な使用を妨げる恐れがある。

近年、皮膚映像解析による非接触な生体信号取得法(video plethysmography: VPG)に注目が集まっている。皮膚映像の撮影に必要なカメラはスマートフォンなどの汎用端末に搭載されているため、VPGを日常生活の中に取り入れることは容易である。よって、VPGを用いた非接触血圧測定の実現により家庭での血圧測定の習慣化を促進できる。しかし、これまでの先行研究では十分な精度が得られていない。

そこで、本研究ではVPGを用いた新たな非接触血圧推定法を提案する。まず、血管の弾性特性に基づき新たな血圧推定モデルを導いた。また、血圧推定のロバスト性を向上させるため、VPGに重畳する外乱を抑えるいくつかの解析アルゴリズムを導入した。

2. 提案手法

2.1. 血圧推定モデル

血圧と血管断面積の間には逆正接関数の関係があると報告されている¹⁾。ここで、VPG輝度値が血管断面

積に比例すると仮定すれば、VPG輝度値と血圧の関係は逆正接関数により表せる。本研究では、これらの仮定に基づき、VPGから平均血圧を推定する新たな血圧推定モデルを導出した。このモデルは、心臓位置に対し2つの異なる高さで測定されたVPG信号の振幅比を使用する。

2.2. VPGに重畳する外乱の低減

VPGは非接触に計測されるため計測中の体の動きがノイズとして波形に重畳する可能性がある。よって、本研究ではVPGに重畳する外乱を低減するためのアルゴリズムを導入した。以下に掌映像からVPG振幅を算出する解析手順を説明する。

(1) 関心領域位置の固定

VPGを取得するには、肌映像に対し関心領域(region of interest: ROI)を設定する必要がある。掌領域は血管分布が一樣でないため、ROIの位置によってVPG強度が異なると考えられる。そこで、回転不変位相限定相関法²⁾によるパターンマッチングを行うことで、異なる計測間のROI位置を固定した。

(2) VPG波形の取得

VPG波形を得るため、Xuら³⁾のVPG抽出アルゴリズムを採用した。本手法は皮膚の光学モデルに基づき導かれたもので、外光の影響を除いてヘモグロビン変動成分のみを抽出可能なため、VPGにおける体動由来の外乱を低減する効果が期待される。

(3) VPG振幅の算出

VPGに対してスペクトログラム推定を実施し、心拍成分に対応する0.7-2.0 Hzにおける最大パワーの時系列をVPG振幅情報として算出した。この方法は、

時間領域で各拍動の振幅を計算するよりもノイズに強いことが期待される。

3. 血圧推定モデルの精度検証実験

3.1. 方法

提案モデルの精度を評価するため次の実験を行った。実験には、健康な男性 10 名 (22.6 ± 1.5 歳) が参加した。被験者ごとに 2 日間、昼 (10:00-13:00) と夕方 (15:00-18:00) に計測を行い、計 4 回分の計測を行った。ここで、昼と夕方の計測間には 5 時間以上のインターバルを設けた。計測時間は 6 分 30 秒で、血圧変動を引き起こすために、6 °C の冷水に足を浸す 30 秒間の足部冷水負荷試験を計測内で実施した。実験中、被験者は座位状態で左手を心臓と同じ高さ、右手を心臓から 50 cm の高さに保つよう指示した。このとき、被験者の両手掌部の映像をビデオカメラで撮影した。また、左手中指に装着した連続血圧計で血圧の基準値を測定した。

3.2. 結果・考察

提案した血圧推定モデルの精度を評価するため、モデルの妥当性と再現性を検証した。推定精度の評価指標としては、平均絶対誤差 (mean absolute error: MAE) を用いた。連続血圧計の異常動作が確認された 1 名の被験者は評価から除外した。

3.2.1. モデルの妥当性

妥当性検証の方法として、全 4 回の計測データを用いてモデルパラメータを算出し、同じデータを用いて精度検証を行った。このときの検証結果として、平均絶対誤差 MAE を図 1 に示す。被験者 9 名の平均と標準偏差は 9.3 ± 6.9 mmHg であった。この結果は、提案モデルの高い妥当性を示している。しかし、2 名の被験者 (subject6, 10) の推定精度は、他の被験者の推定精度に比べて著しく低いものであった。この結果は、逆正接関数と仮定した BP と VPG 振幅の関係が、これらの被験者では血圧変動域においてほぼ線形であったためであると考えられる。したがって、これらの被験者の BP を推定するためには、別のモデルを適用する必要がある。

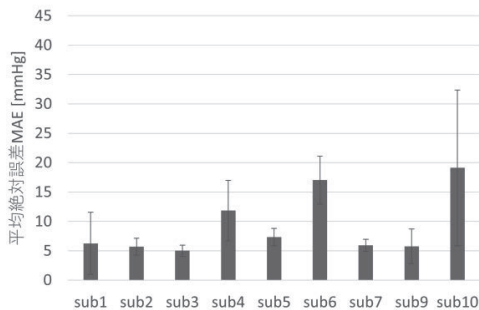


図 1 妥当性検証における平均絶対誤差 MAE

3.2.2. モデルの再現性

次に、モデルの再現性検証のため、4 つの計測のうち 1 つのデータセットでモデルパラメータを計算し、残りのデータセットで推定精度を評価した。モデル作成用データとして、血圧の変動幅が最も大きいデータを選択した。このときの、平均絶対誤差 MAE を図 2 に示す。被験者 9 名の平均と標準偏差は 15.2 ± 11.7 mmHg であった。この結果は、提案モデルの高い再現性を示している。しかし、一部の被験者では、選択したデータの血圧変動範囲が小さいため、適切なモデルを構築することができなかった。この問題を解決するためには、得られたモデルが推定に適切であるかどうかを判断する手順が必要であると考えられる。

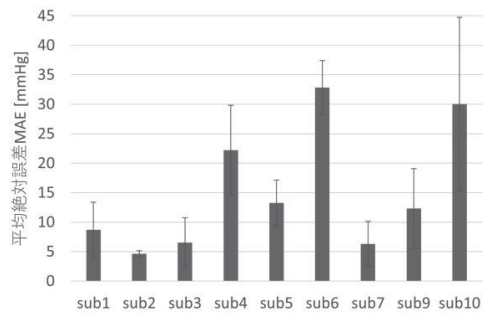


図 2 再現性検証における平均絶対誤差 MAE

5. まとめ

本研究では、心臓から異なる高さで測定した VPG 信号を用いて、非接触に血圧を推定する新たなモデルを提案した。また、VPG に重畳する外乱を低減するためのアルゴリズムを血圧推定手法に導入した。実験結果より、提案モデルの高い妥当性と再現性が示唆された。

文献

- 1) G. J. Langewouters, K. H. Wesseling, and W. J. Goedhard, "The static elastic properties of 45 human thoracic and 20 abdominal aortas in vitro and the parameters of a new model," J. Biomech., vol. 17, no. 6, pp. 425--435, 1984.
- 2) C. Nakajima, N. Itoh, M. Pontil, and T. Poggio, "Object recognition and detection by a combination of support vector machine and rotation invariant phase only correlation," in Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition. ICPR-2000, vol. 4, pp. 787--790, 2000.
- 3) S. Xu, L. Sun, and G. K. Rohde, "Robust efficient estimation of heart rate pulse from video," Biomed. Opt. Express, vol. 5, no. 4, pp. 1124--1135, Apr. 2014.