

顔面皮膚温度に基づく血圧の日内変動モデリング Modeling diurnal variation of blood pressure with facial skin temperature distribution

岩下 有紀[†] 南雲 健人[†] 大岩 孝輔[†] 野澤 昭雄[†]
Yuki Iwashita Kent Nagumo Kosuke Oiwa Akio Nozawa

1. はじめに

高血圧症は脳及び心血管疾患の危険因子の一つであり、対策として日常的な血圧モニタリングが必要である。

日常的な血圧モニタリングの実現のために、我々は遠隔計測が可能な心臓血管系指標である顔面皮膚温度から血圧をセンシングする方法を研究してきた。

先行研究では顔面皮膚温度の中でも鼻や唇から抽出した血圧に関連する特徴量に基づいて人為的に喚起した急性血圧変動を推定するモデルを構築した[1][2]。

一方で、伊藤らは顔面皮膚温度の日内変動から核心温や心拍変動の日内変動推定を行った[3]。

しかしながら、顔面皮膚温度の日内変動から血圧の日内変動推定は行われていなかった。

本研究の目的は、日常的な血圧変動に焦点を当てた顔面皮膚温度による血圧の日内変動の推定である。

また、血圧変動に関連する特徴が表出する鼻部や唇を含む顔面の解剖学的部位を注目領域(Region of interest: 以下 ROI と略記)として抽出し、ROI の皮膚温度に基づく血圧の日内変動モデリングを行った。

2. 実験方法

実験プロトコルを図 1 に示す。60 秒間の安静閉眼(Rest)後、各指標の測定(Measurement)を 1 計測として、8 時から 23 時まで 1 時間毎に行った。実験はすべて座位状態で行った。被験者は健康成人女性 1 人(22 歳)とし、計測は 23±6°C の室内で行った。計測は、6 日間実施した。被験者には計測の 10 分前には実験部屋に入室させ室温に馴化させた。また、食事による生理応答を統制するために朝、昼、晩の食事以外の間食は控えさせた。測定項目は、収縮期血圧(Systolic blood pressure: 以下 SBP と略記)、拡張期血圧(Diastolic blood pressure: 以下 DBP と略記)及び顔面熱画像(Facial thermal image: 以下 FTI と略記)とした。また、室温を計測ごとに記録した。血圧は手首式血圧計(HEM-6233T、OMRON 社製)を用いて、SBP 及び DBP を 1 回の計測につき連続で 2 回測定をし、その平均値を求めた。使用した手首式血圧計の測定精度は ±3[mmHg] とした。なお、MBP(Mean blood pressure: 以下 MBP と略記)を以下の式から求めた。

$$MBP = DBP + (SBP - DBP)/3 \quad (1)$$

FTI は、スマートフォン用赤外線サーモグラフィカメラ(FLIR ONE Pro、FLIR 社製)を用いて被験者の前方約 30cm の距離にカメラを配置して撮影を行った。本装置の熱画像サイズは 640×480pixel、温度分解能は 0.15°C、顔面皮膚放射率は $\epsilon = 0.98$ とし、1 回の計測につき熱画像を 1 枚撮影した。

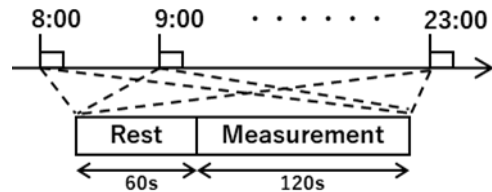


図 1 実験プロトコル

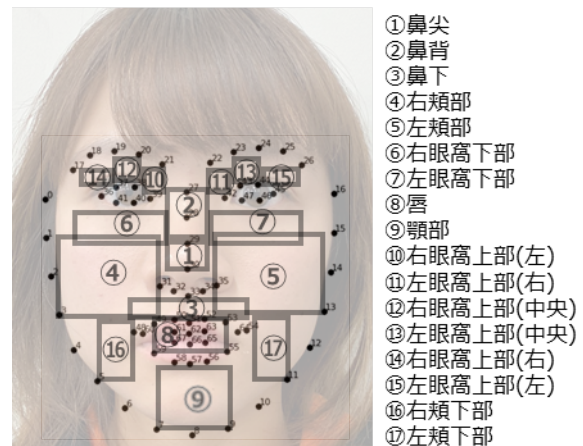


図 2 定義された ROI

3. 解析方法

3.1 ROI 抽出方法

熱画像における ROI の抽出のために Single Shot Multibox Detector (SSD) と Active Appearance Models (AAM) に基づく顔特徴点生成モデルを用いた。顔特徴点生成モデルに撮影した FTI を入力することで 68 点の顔特徴点を取得した。得られた顔特徴点座標に基づき図 2 に示す 17 領域を ROI として抽出した。血圧の変動によって皮膚温度値のみならず皮膚温度分布も変動すると予想できる。本研究では、各 ROI における皮膚温度の平均値、標準偏差、中央値、最大値、最小値、歪度、尖度の 7 つの記述統計量を算出し、これらの日内変動について、分散分析により統計的評価を行った。

3.2 重回帰分析

本稿では、各 ROI における皮膚温度の記述統計量を説明変数、SBP、DBP、MBP を目的変数とした重回帰分析により血圧の日内変動モデリングを試みた。重回帰分析は、赤池情報規準 (AIC) を基にしたステップワイズ法によって説明変数の選択を行った。さらに、 p 値が 0.1 以上となる説明変数を除外した。モデルの評価として、全 6 日分のうちの 5 日分の時系列データを学習データ、残りの 1 日分の実験データをテストデータとして交差検証を行った。

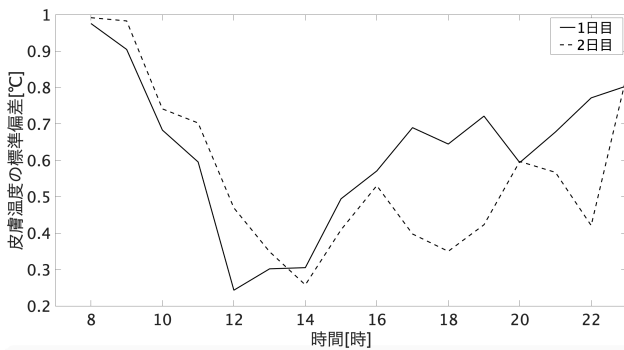


図3 1日目と2日目の左頬部皮膚温度の標準偏差の日内変動

4. 実験結果及び考察

4.1 統計的評価

はじめに日内変動が見られる皮膚温度の記述統計量を評価するために、各 ROI における皮膚温度の記述統計量ごとに17個の ROI と時間の二要因に対する分散分析を行った。結果、歪度および尖度以外の記述統計量において時間要因に主効果が認められた。上記結果は、全ての ROI における皮膚温度の平均値、標準偏差、中央値、最大値、最小値の日内変動が見られることを示唆する。

次に皮膚温度の記述統計量の日内変動が見られる ROI を評価するために、ROI ごとに皮膚温度の記述統計量と時間の二要因に対する分散分析を行った。ここで、平均値、最大値、最小値、中央値は皮膚温度値に関連する記述統計量、標準偏差は皮膚温度値分布に関連する記述統計量である。そのため、皮膚温度値に関連する記述統計量と時間の二要因に対する分散分析、皮膚温度値分布に関連する記述統計量と時間の二要因に対する分散分析を分けて行った。皮膚温度値に関連する記述統計量と時間の二要因に対する分散分析の結果、全ての ROI において時間要因に主効果が認められ、全ての ROI の皮膚温度値に関連する記述統計量が日内変動することが示唆された。一方、皮膚温度値分布に関連する記述統計量と時間の二要因に対する分散分析の結果、左頬部、右眼窩下部、顎部、左頬下部において時間要因に主効果が認められ、これらの部位の皮膚温度の分布が日内変動することが示唆された。一例として、1日目と2日目の左頬部皮膚温度の標準偏差の日内変動を図3に示す。

4.2 血圧の日内変動モデリング

前項の統計的評価にて、皮膚温度値に関連する4つの記述統計量と皮膚温度値分布に関連する記述統計量である標準偏差が日内変動することが示唆された。ここで、皮膚温度値に関連する記述統計量である最小値と皮膚温度値分布に関連する記述統計量である標準偏差を用いて血圧の日内変動モデリングを行った。表1に交差検証による血圧の測定値と推定値における相関係数と平均二乗誤差の結果を示す。結果として平均二乗誤差は3~9mmHg程度となり、交差検証の条件によって血圧推定精度にばらつきがあった。これは室温などの外乱や手首式血圧計の計測誤差の影響を受けたことが要因と考えられる。

本稿では、各 ROI における皮膚温度値の記述統計量の統計的評価とそれらに基づく血圧の日内変動モデリングを行

表1 交差検証による相関係数と平均以上誤差の結果

学習データ [日]	MBP		SBP		DBP	
	相関係数	RMSE [mmHg]	相関係数	RMSE [mmHg]	相関係数	RMSE [mmHg]
1,2,3,4,5	0.433	3.53	0.465	4.74	0.486	3.75
1,2,3,4,6	-0.237	4.44	-0.118	4.55	0.158	4.53
1,2,3,5,6	0.0270	6.70	0.427	3.95	0.0173	7.50
1,2,4,5,6	0.293	4.32	0.149	4.18	0.569	4.05
1,3,4,5,6	-0.414	8.36	-0.193	7.13	0.0327	9.09
2,3,4,5,6	0.327	6.04	0.206	6.65	0.284	4.98

った。先行研究では、脈波の伝播時間と血圧変動に相関があることが示唆されている[4]。異なる解剖学的部位の皮膚温度の差分値など、顔面皮膚温度から血流に相当する特徴量の抽出を行うことで、より高精度で血圧の日内変動が推定することができるかと期待される。また本稿では被験者を1名としていたが、顔面の血管構造などには個人差があるため、被験者を増やした評価が必要である。

5. まとめ

本研究では、顔面の解剖学的部位を ROI として抽出し、ROI の皮膚温度に基づく血圧の日内変動モデリングを行った。ROI の皮膚温度における記述統計量に関する統計的評価を行った結果、全ての ROI の皮膚温度値に関連する記述統計量および、左頬部、右眼窩下部、顎部、左頬下部の皮膚温度の分布が日内変動することが示唆された。各 ROI の標準偏差及び最小値に基づく血圧の日内変動推定モデリングを行った結果、平均二乗誤差 3~9mmHg の精度で推定できた。今後は、異なる解剖学的部位の皮膚温度の差分値など血流の位相差に相当する皮膚温度の特徴量に基づく血圧の日内変動モデルの構築及び、被験者を増やした場合の評価を行う。

参考文献

- [1] K. Oiwa, A. Nozawa, "Feature extraction of blood pressure from facial skin temperature distribution using deep learning", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 139, No. 7, pp. 759-765 (2019)
- [2] N. Nakane, K. Oiwa, A. Nozawa, "Relationship between mechanisms of blood pressure change and facial skin temperature distribution", Artificial Life and Robotics, Vol.25, Iss.1, pp. 48-58 (2020)
- [3] H. Ito, S. Bando, K. Oiwa, A. Nozawa, "Evaluation of variations in autonomic nervous system's activity during the day based on facial thermal images using independent component analysis", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.138, No.7, pp. 812-821 (2018)
- [4] H. L. Kim, J. B. Seo, W. Y. Chung, S. H. Kim, J. H. Zo, M. A. Kim, "The association between ambulatory blood pressure profile and brachial-ankle pulse wave velocity in untreated hypertensive subjects", Blood pressure, Vol.24, Iss.3, pp. 139-146 (2015)