

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750332

研究課題名(和文) スマートフォン本体のみを用いた血圧推定法の提唱と、その推定精度の検証

研究課題名(英文) A new method to estimate blood pressure using only a smartphone and its accuracy

研究代表者

松村 健太 (MATSUMURA, Kenta)

北海道大学・情報科学研究科・学術研究員

研究者番号：30510383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スマートフォン本体のみを用いて平均血圧を推定する方法を提唱し、その精度検証を行った。最初に、異なるiPhoneおよびiPod touch間における測定値の一貫性の検証を行い、一貫性が高いことを明らかにした。続いて、1心拍毎に血圧を測定できる新型連続血圧計の開発を行った。最後に、スマートフォン本体のみを用いて測定された心拍数および修正規準化脈動容積(血管緊張度)から推定した平均血圧の精度が、かなり高いことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We proposed a new method to estimate mean blood pressure using only a smartphone and examined its accuracy. Firstly, we examined inter-method reliability across almost all models of iPhones and iPod touches, and revealed its high consistency. Secondly, a new type, non-invasive continuous blood pressure monitors were developed. Finally, we revealed that mean blood pressure estimated from heart rate and modified normalized pulse volume derived using only a smartphone was fairly accurate.

研究分野：心理生理学

キーワード：モバイルヘルス 実験系心理学 情報工学 高血圧 ストレス

1. 研究開始当初の背景

モバイル・ヘルスの研究分野では、いつでもどこでも手軽に健康チェックを行える専用装置の小型化・ネットワーク化に研究の焦点が置かれている。しかし、これとは発想の異なるアプローチとして、個人が肌身離さず持つものに健康チェック機能を付加するという方略も有力である。こうした中、研究代表者は、近年ますます普及と高性能化が進む携帯情報端末、特に、スマートフォン（Apple社の iPhone, iPod touch シリーズ）に注目し、その本体のみを用いて心拍数（heart rate: HR）および修正基準化脈波容積（modified normalized pulse volume: mNPV, 血管緊張度）を測定できるアプリケーション“iPhysioMeter”（現在 Apple 社の iTunes App Store にて無料公開中）を開発してきた[引用文献 1-2]。

2. 研究の目的

本研究では、以上に記載したアプローチをさらに押し進め、iPhone 本体のみから循環系の総合指標とも言うべき平均血圧（mean blood pressure: MBP）を推定する方法、すなわち、 $MBP = a \times HR + b \times \ln mNPV + c$ （a, b, c は実験から求められる回帰係数、ln は自然対数）と予測する方法、を提唱し、その推定精度の高さを検証する。ただし、これは一筋縄では達成できない目的のため、以下のステップに目的を細分化し、段階的に達成する。

(1) 異なる iPhone 間における測定値の一貫性の検証：MBP の推定に際しては、既述の HR と mNPV の双方を用いるが、計測される mNPV 値には機種依存性がある。そこで、各機種によって測定される mNPV 値間の関係性を明らかにすることで、使用機種の違いによって生じる MBP 推定値の誤差を補正できるようにする。

(2) 1 心拍毎の血圧をより正確に測定できる連続血圧計の開発：iPhone を用いた MBP の推定は 1 心拍毎に可能であるが、1 心拍毎の MBP を正確に測定できる連続血圧計の入手性は極めて悪い。そこで、既存の連続血圧測定法の 1 つである“容積補償法”をベースに、より正確な血圧が測れるよう研究代表者によって改良が施された“改良容積補償法”を用いる連続血圧計を試作し、その精度検証を行う。これにより、iPhone 血圧推定値の精度検証実験に相応しい連続血圧計を用意できるようにする。

(3) iPhone 本体のみを用いる MBP 推定法の精度検証：(1), (2) を行いつつ実験を実施する。回帰分析から最適な a, b, c を決定した上で、iPhone 推定 MBP の推定精度を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 異なる iPhone 間における測定値の一貫性の検証

発光ダイオードを用いて脈波波形を模倣したキャリブレーション光を作成し、これを各 iPhone で脈波として計測する。キャリブレーション光は、3 ないしは 4 段階の mNPV が算出されるよう明るさを調整する。その上で、各 iPhone から算出される mNPV 値を比較する。

(2) 1 心拍毎に血圧を測定できる連続血圧計の開発

安静状態の被験者 10 名を対象とし、“容積補償法”および“改良容積補償法”それぞれを用いた左手第 2 指の血圧と、標準的なカフ振動法を用いた右腕上腕血圧との一致度（容積補償法 vs. カフ振動法, 改良容積補償法 vs. カフ振動法）を比較する。なお、ここでは、上腕カフの出力に対応させるため、MBP ではなく、最高血圧（systolic blood pressure: SBP）および最低血圧（diastolic blood pressure: DBP）を用いる。

(3) iPhone 本体のみを用いる MBP 推定法の精度検証

安静中、精神的ストレス負荷（暗算）課題実施中の被験者 13 名を対象とし、左手第 2 指の iPhone 測定（6s 使用）から推定した血圧と、右腕上腕カフ血圧とを比較する。

4. 研究成果

(1) 異なる iPhone 間における測定値の一貫性の検証

図 1 は、iOS7.0.6 をインストールした iPhone 4s, 5, 5s, および、iPod touch 5th（それぞれ 4s, 5, 5s, iPod と略記）を用い、3 段階（L, M, S）の mNPV 値を算出するように調整したキャリブレーション光を測定した結果である（雑誌論文[4]の図 8 を一部改変して抜粋）。

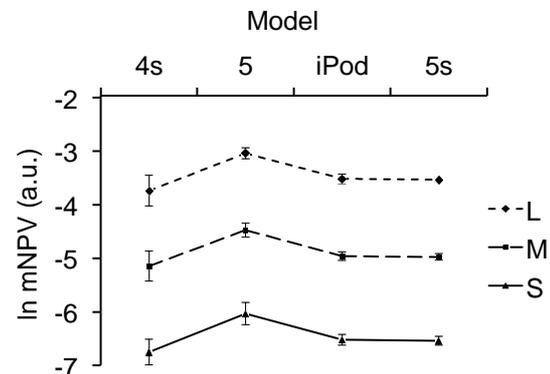


図 1. 各機種で測定した 3 段階の ln mNPV 値（垂直バーは SD）

ここより、機種間で In mNPV の絶対値に違いはあるが、相対変化値はほぼ一定であることが見て取れる。なお、この実験を行った時点では、iPhone 5s が最新機種であった。

図 2 は、iOS9.2 以降をインストールした iPhone 4s, 5, 5s, 6, 6 Plus, 6s, 6s Plus, 7, 7 Plus, SE, および、iPod touch 5th と 6th (それぞれ 4s, 5, 5s, 6, 6+, 6s, 6s+, 7, 7+, SE, および、5th, 6th と略記) を用い、4 段階 (L, M, S, SS) の mNPV 値を算出するように調整したキャリブレーション光を測定した結果である。

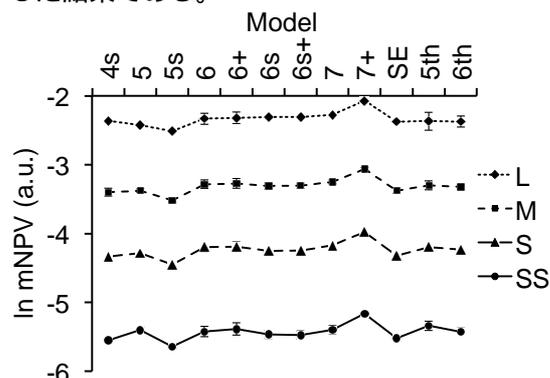


図 2 . 各機種で測定した 4 段階の In mNPV 値 (見えづらいが垂直バーは SD)

図 1 と同様に相対変化値がほぼ一定であるだけでなく、図 1 と比べ、機種間の絶対値の違いが小さくなっていることが分かる。これは、iOS のバージョンアップに伴うカメラ設定自由度の向上により、脈波測定に最適な条件に iPhone を設定するプログラミングが可能となったためである。なお、この報告書を書いている時点では、iPhone 7 Plus が最新機種である。

(2) 1 心拍毎に血圧を測定できる連続血圧計の開発

図 3 は、容積補償法とカフ振動法それぞれから同時測定された指 (Finger) および上腕 (Brachial) SBP () /DBP () の散布図である (雑誌論文[2]の図 3 より引用)

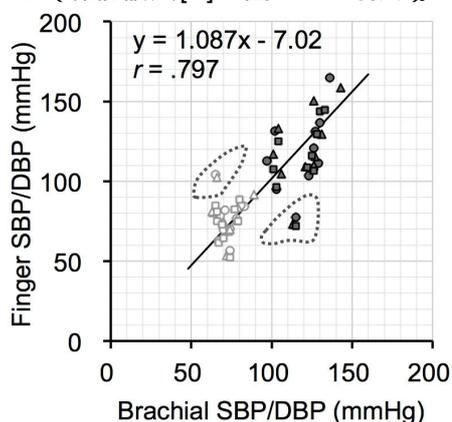


図 3 . 容積補償法とカフ振動法から得られた血圧の散布図

おおよそ良い相関が認められるが、一部、点線で囲った部分に大きな外れ値が認められる。

図 4 は、改良容積補償法とカフ振動法それぞれから同時測定された (Finger) および上腕 (Brachial) SBP () /DBP () の散布図である (雑誌論文[2]の図 3 より引用)

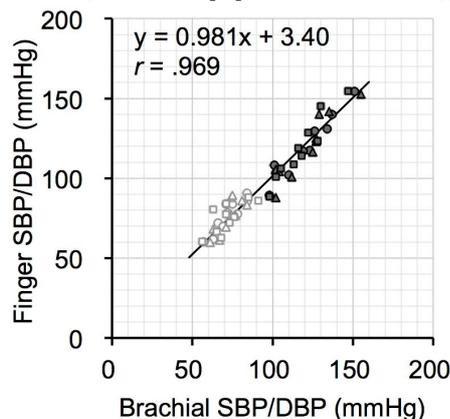


図 4 . 改良容積補償法とカフ振動法から得られた血圧の散布図

図 3 で認められた外れ値がなくなっていることが分かる。改良容積補償法を用いた試作機により、iPhone 血圧検証実験の使用に相応しい、より正確な連続血圧の計測が可能となった。

(3) iPhone 本体のみを用いる MBP 推定法の精度検証

回帰分析から得られた最適な a, b, c それぞれの値は、0.370, -6.075, 42.544 であった。図 5 は、これらの値を用いて iPhone 本体のみの測定値から推定された MBP と、同時測定された上腕 MBP の散布図である。

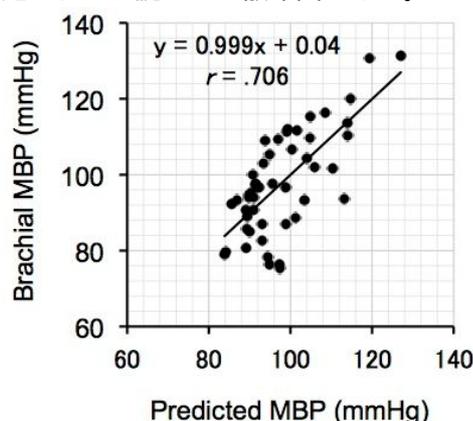


図 5 . iPhone MBP 推定値と上腕 MBP の比較

図 5 より、iPhone 本体のみから得ることの出来る 2 指標、すなわち、HR および In mNPV を用いるだけで、かなり高い精度で MBP を推定できていることが分かる。

(4) 本研究に関連するその他の成果

日常生活中における測定を想定した場合、毎回全く同じ位置に指を iPhone に固定することは不可能である。そこで、測定時のセンサー位置のわずかな違いが、HR と mNPV にどういった影響を与えるかを調べた。その結果、HR は位置からほとんど影響を受けない一方で、mNPV は上下に平行移動する形で影響を受けていることが明らかとなった[雑誌論文 1]。

スマートフォン本体のみを用いる生理指標計測の総説を発表した[雑誌論文 3]。

<引用文献>

Matsumura, K., & Yamakoshi, T. (2013). iPhysioMeter: A new approach for measuring heart rate and normalized pulse volume using only a smartphone. *Behavior Research Methods*, 45(4), 1272-1278.

Matsumura, K., Rolfe, P., Lee, J., & Yamakoshi, T. (2014). iPhone 4s photoplethysmography: Which light color yields the most accurate heart rate and normalized pulse volume using the iPhysioMeter application in the presence of motion artifact? *PLOS ONE*, 9(3), e91205

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4件)

Kenta Matsumura, Koichi Shimizu, Peter Rolfe, Masanori Kakimoto, Takehiro Yamakoshi. (in press). Inter-method reliability of pulse volume related measures derived using finger-photoplethysmography across sensor positions and light intensities. *Journal of Psychophysiology*.
査読有

Kenta Matsumura, Takehiro Yamakoshi, Peter Rolfe, Ken-ichi Yamakoshi. (2017). Advanced volume-compensation method for indirect finger arterial pressure determination: comparison with brachial sphygmomanometry. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(5), 1131-1137.
DOI: 10.1109/TBME.2016.2591324
査読有

松村 健太・李 知炯・山越 健弘 (2016). スマートフォン式光電容積脈波測定法 日常生活中における有効利用へ向けて

生体医工学, 54(3), 120-128.
DOI: 10.11239/jsmbe.54.120
査読無

Kenta Matsumura, Peter Rolfe, Takehiro Yamakoshi. (2015). iPhysioMeter: A smartphone photoplethysmograph for measuring various physiological indices. *Methods in Molecular Biology*, 1256, 305-321.
DOI: 10.1007/978-1-4939-2172-0_21
査読有

[学会発表](計1件)

松村 健太・清水 孝一・ロルフ ピーター・柿本 眞徳・山越 健弘 光路に重複のある3つの光電容積脈波波形から得られる生理指標の内部一貫性, 第55回日本生体医工学会大会, 2016年4月, 富山国際会議場・富山市民プラザ

[その他]

ホームページ等

<http://iphysiometer.com/app/>

本研究に使用したアプリ "iPhysioMeter" は、Apple社の iTunes App Store にて無料公開中。通信環境(Wi-Fi や4G回線など)さえあれば、全世界から無料ダウンロード可能である(ただし、言語は英語、日本語のみに対応)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松村健太 (MATSUMURA, Kenta)

北海道大学・大学院情報科学研究科

・学術研究員

研究者番号: 30510383