

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26870088

研究課題名(和文) 脈波伝搬速度を用いた動脈硬化の家庭内モニタリング

研究課題名(英文) Daily monitoring of arteriosclerosis using pulse wave velocity

研究代表者

前田 祐佳 (MAEDA, Yuka)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：20650542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：これまでの研究により、緑色光による脈波計測によって家庭内での脈波伝搬速度計測が可能となることが示唆された。しかしながら緑色光による脈波計測は近年の著しい光デバイス技術の向上により可能となった手法であり、従来法の近赤外光に比べいまだ基礎的検討は不足していた。緑色光による脈波信号を用いた脈波伝播速度計測の精度について検証した結果、従来法の近赤外や、心電図と脈波信号を用いた計測手法と同様の精度が得られた。さらに、脈波伝搬時間の検出方法が脈波伝播速度計測の精度に与える影響について検証を行ない、偏差の少ない脈波伝搬時間の検出方法が存在することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Previous studies have suggested that measurement of photoplethysmography in a daily life is possible by green light. However, measurement of pulse wave by green light is a technique enabled by recent remarkable improvement of optical device technology, and basic examination is still inadequate compared to the near-infrared light of the conventional method. As a result of examining the accuracy of the pulse wave velocity measurement using green light, it was the similar accuracy as measurement method using electrocardiogram and infrared PPG signal. Furthermore, we examined the effect of PTT detecting method on precision of computing PTT. The coefficient of variation of a ten-seconds PTT computed from each detecting method, and it was used to evaluate the precision of detecting method. The result shows that pumping phase had higher precision than reflected phase.

研究分野：生体計測

キーワード：光電脈波計測 緑色光 測定光 脈波伝播速度

### 1. 研究開始当初の背景

生活習慣病は普段の生活習慣が発症や進行に深く関わっており、糖尿病、高脂血症、高血圧とそれらを危険因子として発症する動脈硬化症がある。動脈硬化症とは動脈の内壁にコレステロールなどの脂質が付着し、しだいに線維増殖が起き硬化し、内腔が狭くなる病態のことである。血液が流れている間は患者に自覚症状がないまま徐々に進行し、突然血栓や出血などの血行障害が生じ、心疾患や脳卒中など致命的な病気が発生する[1]。これら疾患は我が国の死因の第2位と第3位であり、その予防および疾患の早期発見・予防は急務な課題である。

特に血圧上昇時は血流に乱れが生じ、動脈壁が損傷を受けて脂質が付着しやすくなり、動脈硬化が促進される。また逆に動脈硬化が進行すれば血管の柔軟性が失われ、高血圧となる。

これら動脈硬化・高血圧の発症・進行を防ぐには、発症前・悪化前からの健康管理が必要である。日常生活の中で個人の状態を正しく把握し、健康異常の兆候が発見された時には早期に処置や対策を施すことが必要であり、これらを容易に実現しうるヘルスケアシステムが求められる。

近年では上腕 足首間脈波信号から脈波時間を求め、動脈硬化の進行を推定する脈波伝搬速度 (Pulse Wave Velocity : PWV)[2]が普及している(図1)。しかしながらその計測条件は安静臥位時に限られ、計測機器が大がかりであり来院しなければ計測できない。

一方で動脈硬化の指標である血管の柔軟性は日中変動しており、最大値が現れる時間帯・環境は人により様々であることから、来院時のみの計測では危険域を見落とす可能性がある。

そこで我々は家庭内での脈波伝搬速度計測の実現に向け、機器開発およびヘルスケアシステムの構築を行う。

### 2. 研究の目的

脈波とは、皮膚に光を照射し、体内を伝搬してきた光を計測したものである。脈波は動脈血の変動を示す AC 成分の他に、静脈やその他の生体組織を反映する DC 成分からなる。DC 成分は通常一定であるが、体動時は計測範囲の血流量、静脈血が変動し大きく揺らぐために、アーチファクトが重畳し計測が困難となる。

これまでに申請者らは脈波計測に対するハード面からのアプローチ(緑色光による脈波計測)により、体動時の脈波計測を可能とする脈波センサおよび脈拍計の開発に成功している。

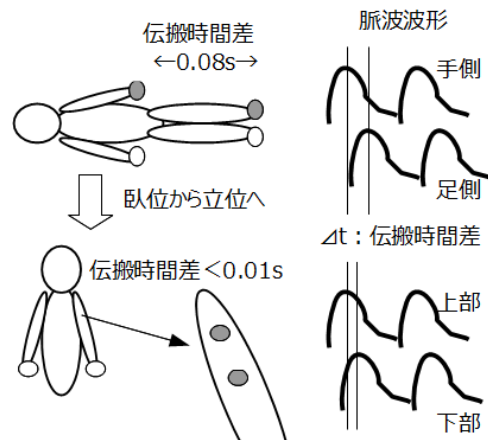
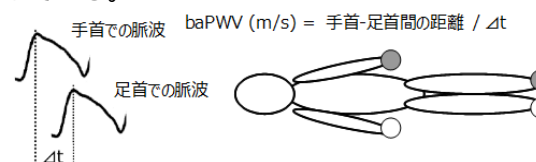


図1 脈波伝搬速度の計測・計測方法

図2 臥位から立位への変更

一方で、緑色光を計測光に用いた場合、透過深度が従来の近赤外光よりも浅く、生体深部まで光が到達しない。よって組織や皮膚深部の太い静脈からの影響、つまりアーチファクトの起因となる DC 成分の割合が少ない信号となる。[3]

これまでの研究により、緑色光による脈波計測によって家庭内での脈波伝搬速度計測に適した脈波計測が可能となることが示唆された。しかしながら緑色光による脈波計測は近年の著しい光デバイス技術の向上により可能となった手法であり、従来法の近赤外光に比べいまだ基礎的検討は不足している。そこで計測光の変更が脈波伝搬速度計測に与える影響について安静時において検証したのちに立位中での脈波伝搬速度計測について検証する。

### 3. 研究の方法

緑色光を用いた脈波計測の脈波伝搬速度計測への適応性の検証

脈波伝搬速度とは2点間(主に足首 手首)の脈波信号を計測し、その伝搬時間の差と2点間の距離から伝搬速度を算出するものである。緑色光による脈波から算出される脈波伝搬速度と臨床で使用されている機器を比較し、緑色脈波の脈波伝搬速度計測への適応性を検証する。

立位中の脈波伝搬速度計測の検証

日常生活への適用を考えると安静臥位・足首 手首間ではなく、立位・上腕部計測が望ましい(図2)。脈波伝搬速度の標準値は~13 m/s であり、足首 手首の伝搬時間差は約 0.08 s である。上腕部の計測では伝搬時間が短くなるため、従来のピーク検出による伝搬時間差の検出は困難である。そこで本研究では相互相関関数による新たな検出方法を提案する。

血管密度は深部が疎、浅部が密であり、従来の近赤外光では計測範囲の血管数は計測位置により異なる。脈波の波形形状が計測位置に依存するため、2点間の脈波の類似性が低く、相互相関による伝搬時間の算出は適し

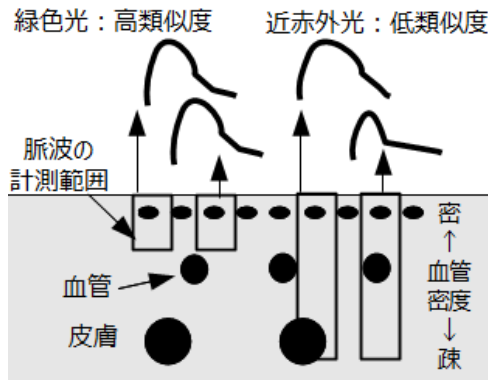


図3 計測範囲と信号類似度

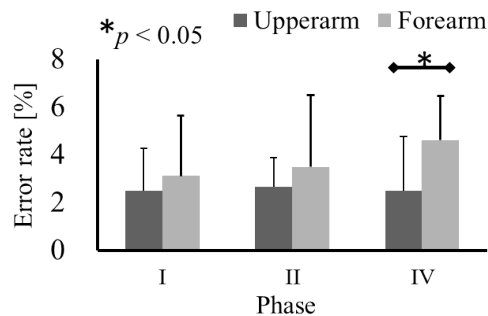


図4 脈波伝播速度による血圧推定の誤差

ていない(図3)。一方で緑色光は透過深度が浅く、波形形状の計測位置への依存は低くなり、2点間の脈波の類似性が高くなるため、相互相関関数を用いた伝搬時間の検出が可能となる。

#### 4. 研究成果

緑色光を用いた脈波計測の脈波伝搬速度計測への適応性の検証

動脈硬化に起因する循環器系疾患の予防には、日中、夜間の血圧状態をモニタリングし、高血圧症の早期発見を行うことが重要である。そこで本研究では、低拘束で連続的な計測が可能な脈波に注目し、夜間高血圧症などの早期発見を念頭に置いた、睡眠時の血圧変動モニタリングシステムの開発を目的とし実験を行った。提案システムは緑色光電脈波計と心電計より構成され、クッション上に複数の脈波センサを配置したクッション脈波計と、布電極を用いた布電極心電計を作製し、心電図 足首脈波 PWV 計測デバイス及び頸部 足首脈波計測デバイスを開発した。20代の被験者 10名を対象に、作製したデバイスの測定精度を検証した結果、第誘導心電図を基準として、クッション脈波計による頸部脈波のピーク間隔誤差率は 2.9%、足首脈波は 1.9%、また布電極心電計による心電図のピーク間隔誤差率は 0.5%以下であった。また 20代の被験者 10名を対象にした昇降運動による血圧上昇実験において、作製したデバイスを比較した結果、頸部 足首脈波 PWV 計測デバイスの方が心電図 足首脈波 PWV 計測デバイスより血圧の推定精度が高く、PWV と血圧の相関係数が収縮期血圧、拡張期血圧、

平均血圧でそれぞれ  $r = 0.68$ ,  $r = 0.75$ ,  $r = 0.78$  と有意な相関関係が得られた。提案システムにおいて測定した PWV と血圧の間に有意な相関が確認されたことから、提案システムによる血圧変動検知が可能であることが示唆された。

立位中の脈波伝搬速度計測の検証

日常生活への適用にむけ、本研究では短距離センサ間での脈波伝搬時間の検出を可能とする、相互相関関数を用いた伝搬時間の検出を検討した。

20代の被験者 10名を対象に、相互相関関数を用いて検出した伝搬時間から推定した血圧値と、同時計測した上腕血圧計の値を比較した。また腕位置が測定値に与える影響を考慮し、腕位置を机から降ろした状態 (Phase:I)、心臓位置 (Phase:II)、上方で固定した状態 (Phase:III) で検証した。

図4に示したとおり、上腕で検出した伝搬時間は、前腕で検出した伝搬時間よりも誤差率が低く、腕位置によらず 3%以内の誤差率で血圧を推定可能であることが示された。

#### 参考文献

- [1] 平成 19 年厚生労働省令第 157 号第 1 条
- [2] Munakata Metal: Utility of Automated Brachial Ankle Pulse Wave Velocity Measurements in Hypertensive Patients. Am J Hypertens 2003;16:653-65
- [3] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura: Relationship between measurement site and motion artifacts in wearable reflected photoplethysmography, Journal of medical systems, Vol. 35, No. 5, pp.969-976, 2011.
- [4] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura: The advantages of wearable green reflected photoplethysmography, Journal of medical systems, Vol. 35, No. 5, pp.829-834, 2011.
- [5] Allen J: Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. Physiological measurement. 28 : 1-39, 2007.

#### 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 3件)

- [1] Toshiyo Tamura, Yuka Maeda, Masaki Sekine, and Masaki Yoshida: "Wearable Photoplethysmographic Sensors -Past and Present." Electronics, 3(2), pp.282-302, 2014.
- [2] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Tohiyo Tamura, and Koichi Mizutani: "Green-light photoplethysmography as a substitute for heart rate variability monitoring," Advanced Biomedical

Engineering (accepted)

[3] 前田祐佳, 関根正樹, 田村俊世, 水谷孝一: 脈波を用いた自律神経機能推定に向けた脈波伝搬時間の変動に関する検証, 生体医工学 (accepted)

〔学会発表〕(計 24 件)

[1] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, and Koichi Mizutani: "Evaluation of green light PPG in heart rate variability parameters," The 2014 International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2014), No.9, Zurich, Switzerland (16 July, 2014).

[2] 西巻祐, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "立位時の脈波伝播時間を用いたPWV計測の推定," 生活生命支援医療福祉工学系連合大会 2014 講演論文集 CD-ROM, GS6-6 (2-pages) (24 September, 2014).

[3] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, and Koichi Mizutani, "The Relationship Between Arm-position and Systolic Blood Pressure Estimation Obtained from Pulse Transit Time," 37th annual International conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015), 5.LB1, (29 August, 2015).

[4] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, and Koichi Mizutani: "Comparing Two Different Monitoring Principle of Pulse Transit Time with Arm Position Changes," Proceedings of International Conference of u-Healthcare 2015, CD-ROM (S2-1-4), (4-pages) (1 December, 2015).

[5] Kunichika Sasaki, Yuka Maeda, Koichi Mizutani, and Naoto Wakatsuki: "Detecting Stress Responses Using Acceleration Plethysmography," Proceedings of International Conference of u-Healthcare 2015, CD-ROM (P2-02), (4-pages) (1 December, 2015).

[5] 後藤雅志, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "臥位における低拘束な脈波伝播速度計測システム開発に関する研究," 日本機械学会, 関東学生会第 54 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 1614, (2 pages) (20 March, 2015).

[6] 系井川椋, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "起立時脈拍変動モニタリングに向けた脈波計測装置の開発に関する研究," 日本機械学会, 関東学生会第 54 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 1713, (2 pages) (20 March, 2015).

[7] 前田祐佳, 関根正樹, 田村俊世, 水谷孝一: "姿勢ならびに姿勢変化が脈拍変動に及ぼす影響に関する検討", 第 54 回日本生体医工学学会大会講演予稿集, P3-4-22-C,

p.269 (9 May, 2015).

[8] 後藤雅志, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "臥位における低拘束な血圧推定システム開発に関する研究", LIFE2015 講演予稿集, USB, 3D2-01, (4 pages) (9 September, 2015).

[9] 西巻祐, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "光電脈波センサを用いた立位時 PWV 推定に関する研究", LIFE2015 講演予稿集, USB, 3D2-02, (4 pages) (9 September, 2015).

[10] 系井川椋, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "額部脈波を用いた起立時脈拍変動モニタリングに関する研究", 第 25 回ライフサポート学会フロンティア講演会講演予稿集, 1C3-4, (1 page) (8 March, 2016).

[11] 後藤雅志, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "睡眠時モニタリングに向けた頸部脈波計測に関する研究", 第 25 回ライフサポート学会フロンティア講演会講演予稿集, 1C3-5, (1 page) (8 March, 2016).

[12] 前田祐佳, 関根正樹, 田村俊世, 水谷孝一: "腕位置変化が PAT および PTT 計測に与える影響について", 第 55 回日本生体医工学学会大会講演予稿集, 10S5-2-4, (1 page) (26 April, 2016).

[13] 前田祐佳, 田村俊世, 森博之, 増田雄治, 三浦心: "末梢部の脈波伝播速度計測に向けた短距離 2 点光電脈波法での検討", 第 16 回臨床血圧脈波研究会抄録集, p.288 (4 June, 2016).

[14] Ryo Itoigawa, Yuka Maeda, Koichi Mizutani, and Naoto Wakatsuki: "Evaluation of Measurement Site for Monitoring Orthostatic Pulse Rate Change," Proceeding of the 5th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE2016), Mielparque Kyoto, Kyoto, Japan, CFP16GCB-ART, OS-HPL(2).4, pp.533-536 (13 October, 2016).

[15] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, and Koichi Mizutani, "The Precision Verification on Pulse Transit Time Detecting Method," Proceedings of the Joint International Conference of BDAH12016 and u-Healthcare2016 (BigHealth-2016), p.30 (29 October, 2016).

[16] 飛田和邦, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "椅子型心拍モニタリングシステム開発に関する研究", LIFE2016 講演予稿集, USB, 3A2-B02 (4 pages) (6 September, 2016).

[17] 系井川椋, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "高齢者リハビリ時のスクリーニングに向けた起立時脈拍変動モニタリングに関する研究", LIFE2016 講演予稿集, USB, 3A2-B03, (4 pages) (6 September, 2016).

[18] 後藤雅志, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: "睡眠時の血圧変動モニタリングに向けた脈波伝播速度計測法に関する研究", LIFE2016 講演予稿集 USB, 3P2-D06 (4 pages)

(6 September, 2016).

[19] 伊藤駿史, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: “睡眠時の呼吸推定に向けた非接触脈波計測法に関する研究”, LIFE2016 講演予稿集, USB, 3P2-D07, (4 pages) (6 September, 2016).

[20] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, and Koichi Mizutani, “Study on pulse transit time detecting method for monitoring pulse wave velocity,” 生体医工学シンポジウム 2016 講演予稿・抄録集, p.164 (18 September, 2016).

[21] Yuka Maeda, Masaki Sekine, Toshiyo Tamura, and Koichi Mizutani, “The relationship between heart rate calculation period and heart rate variability analysis,” Proceedings of life engineering symposium 2016 (LE 2016), pp.232-235 (5 November, 2016).

[22] 伊藤駿史, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: “赤外線画像を用いて推定した脈拍数による無呼吸判定の精度に関する研究”, 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2016 講演予稿集, D-3-04, (1 page) (19 September, 2016).

[23] 後藤雅志, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗: “睡眠時の血圧変動モニタリングシステム開発に関する研究”, 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2016 講演予稿集, C-3-04, (1 page) (19 September, 2016).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前田祐佳 (MAEDA Yuka)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号: 20650542