

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870040

研究課題名(和文) 着衣型光電容積脈波センサを用いた健康管理システムの開発

研究課題名(英文) Development of health monitoring system using clothing-type photoplethysmogram

研究代表者

阿部 誠 (ABE, Makoto)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：90604637

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、非侵襲かつ安価である光電容積脈波センサを用いることで、日常生活において容易に健康管理ができるシステムを開発し、生活習慣病の予防のための仕組みを構築することを目的とした。研究成果として、緑色光による光電容積脈波センサが体動に強く、複数部位での計測に適していることを確かめた。さらに、複数部位での脈波計測システムを構築し、それが自律神経機能を評価するのに有用であることを確かめた。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed at developing a health monitoring system in daily life using a photoplethysmogram which is a non-invasive and inexpensive sensor, and at making a system to prevent lifestyle-related diseases. A main finding of this study was that green light photoplethysmogram is resistant to motion artifacts and is suitable for measuring at multiple sites. Furthermore, the system of measuring photoplethysmographic signals at multiple sites was established and this system was useful to evaluate the autonomic nervous function.

研究分野：生体医工学

キーワード：健康管理 ウェアラブルセンサ 光電容積脈波 自律神経機能

1. 研究開始当初の背景

年々増大する医療費への具体的な対策として、生活習慣病の予防やその早期発見などが重要な課題となっている。生活習慣病の予防や早期発見のためには、日頃の健康管理への高い意識と健康状態の把握が必要である。

しかし、これまでの血圧計などに代表される計測機器は、カフなどを用いた拘束感の強い装置が多く、また能動的な計測が必要である。一方で、家庭での健康管理を考慮すると、より簡便で拘束感がなく、無意識のうちに計測可能な装置であることが望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、非侵襲、低拘束、かつ安価である光電容積脈波 (PPG) センサを用いることで、一般家庭において容易に健康管理ができる着衣型光電容積脈波計測システムを開発し、生活習慣病の予防のための仕組みを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 着衣型光電容積脈波計測システムの構築を行う際に必要な検討として、光電容積脈波センサシステムに関する基礎的な検討を行った。まず、計測システムに用いる光電容積脈波センサとして、皮膚での透過深度の異なる近赤外 LED と緑色 LED の 2 種類のセンサを用意した。それらを図 1 のように、指尖、手首、前腕、上腕に配置し、脈波信号の測定における安定性の検証を行った。

実験では、健常成人 9 名 (男性 8 名、女性 1 名、 23.3 ± 1.6 歳) を対象として、5 分間椅子に着座した安静状態にしてもらった。ここでは、心電図、連続血圧、近赤外の光電容積脈波、緑色の光電容積脈波を同時に計測した。

計測した信号から心拍数 (HR)、平均血圧 (MBP)、および脈波伝播時間 (PTT) を算出した。その後、自律神経機能の評価を行うため、HR、MBP、PTT における 0.1 Hz 付近の Mayer 波帯域の成分を抽出し、HR と MBP の間の相互相関係数の最大値 $\max(BP)$ および HR と PTT の間の相互相関係数の最大値 $\max(PTT)$ を求めた。そして、近赤外 PPG を用いて得られる

緑色光電容積脈波センサ

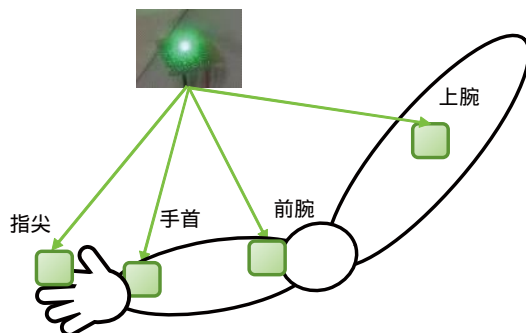


図 1 検証実験における近赤外および緑色光電容積脈波センサの配置部位

PTT による $\max(IRPTT)$ と緑色 PPG を用いて得られる PTT による $\max(GPTT)$ を比較し、有効性の検証を行った。

(2) 上述の提案システムおよび提案指標を使用するにあたり、健康モニタリングに必要な機能として、生活習慣病予防に有効であると考えられている血圧の変動や自律神経活動の変化を検出可能かどうかの検証を行った。具体的には、息こらえ負荷によって血圧や自律神経活動を意図的に変化させたときの反応について、緑色 LED を用いて得られる生理指標と連続血圧計を用いて得られる生理指標の間で比較することで、提案システムおよび提案指標の有効性の検証を行った。

実験では、健常成人 20 名 (男性 20 名 22.8 ± 1.1 歳) を対象として、椅子に着座した状態で、安静 3 分、息こらえ負荷 1 分、安静 5 分、息こらえ 1 分、安静 3 分の順で呼吸を変動させた。ここでは、心電図、連続血圧、近赤外の光電容積脈波、緑色の光電容積脈波を同時に計測した。

前述の実験データの解析と同様に、計測した信号から HR、MBP、PTT を算出した後、HR と MBP の間の $\max(BP)$ および HR と PTT の間の $\max(PTT)$ を求めた。そして、 $\max(PTT)$ を用いて自律神経活動の変化を捉えることが可能か検証を行った。

(3) 一般家庭において容易に健康管理ができるウェアラブルセンサシステムおよびそれに付随するモニタリングシステムについて、ハードウェアの構築を行った。

システムに導入する光電容積脈波センサの種類は、緑色 LED とフォトトランジスタの組み合わせを、センサの配置部位に関しては、比較的安定して信号が取得できる指尖、手首、前腕、上腕の 4 箇所とした。一方、近赤外 LED については、参照信号としてのみ取得することとした。なお、これらの光電容積脈波信号は自作のアンプ回路にて増幅を行った。

モニタリングシステムとしては、上述の方法で取得したアナログの光電容積脈波信号を AD 変換ボード (AI-1608AY-USB, CONTEC 社製) を用いてデジタル信号に変換し、ノート型 PC (Let's note RZ4, Panasonic 社製) に取り込んだ。ここで、データの取得には MATLAB (Mathworks 社) の Data Acquisition Toolbox を用いて、1 kHz のサンプリング周波数で行った。また、取得したデータは無線 LAN 経由でネットワーク上のデータストレージに送信され、解析用 PC からネットワークを介して解析可能なシステムを構築した。

4. 研究成果

(1) 光電容積脈波センサシステムに関する基礎的な検討における実験の結果として、図 2 に示したように、緑色 LED を用いた生理指標 \max のほうが、近赤外 LED を用いた \max よりも従来の血圧を用いた \max に近い値となることが示された。

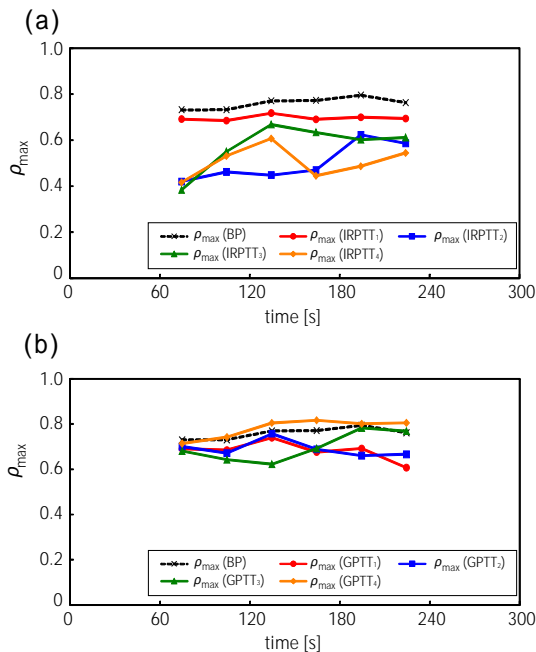


図 2 (a) 近赤外 PPG センサおよび(b) 緑色 PPG センサによる脈波伝播時間から得られる ρ_{\max} と血圧による ρ_{\max} との比較. IRPTT_i および GPTT_i において *i* は計測部位を表しており, *i*=1 は指尖, *i*=2 は手首, *i*=3 は前腕, *i*=4 は上腕を意味している.

これは, 近赤外光と緑色光の生体内への浸透深度の違いにより, 緑色光のほうが体動に強いという特徴を持っており, 安定した計測が可能だったためであると考えられる. 実際に, 緑色 LED による PPG から得られた生理指標は, 近赤外 LED による PPG から得られた生理指標よりも SN 比が大きいことが示されており, この結果を裏付けていると考えられる. さらに, 緑色 LED では, 測定部位にかかわらず安定した計測が可能であり, 従来よく用いられてきた近赤外 LED よりも, 着衣型センサの実現に適したセンサであると考えられる. (2) 息こらえ負荷によって血圧や自律神経活動を意図的に変化させたとき, 緑色 LED を用いて得られる生理指標は, 図 3 に示したよ

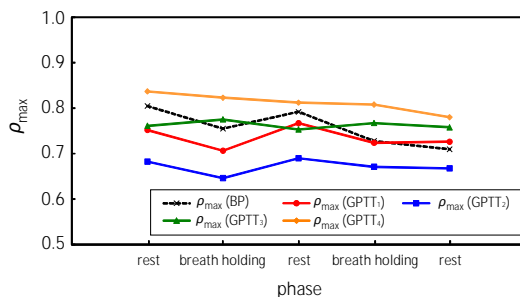


図 3 息こらえ負荷実験における緑色 PPG センサによる脈波伝播時間から得られる ρ_{\max} と血圧による ρ_{\max} との比較.

うに, 連続血圧計を用いた従来の生理指標と同様の変化をする傾向にあることが分かった.

この検証結果から, 提案システムおよび提案指標を用いることで, 血圧変動や自律神経活動の変化を捉えられる可能性を示した. ただし, 測定部位によっては, 血圧を用いた従来の指標に比べて, 反応が時間的に遅れて現れることもあった. そのため, 今後は測定部位における差異について, その生理学的機序を明確にする必要があると考えられる.

(3) 当該システムの構築により, データの取得に関しては, 従来の生体信号計測用アンプを用いた大掛かりなシステムから, 肩掛けバッグに収まる程度のコンパクトなシステムとなった. また, データの取得および解析に MATLAB を利用することで, MATLAB 専用のファイルフォーマットによるデータの圧縮が行われ, データ通信量の減少とデータストレージの節約を実現することができた.

今後は, 本研究で構築したシステムの有効性についてより詳細に検証を行い, 応用性を考慮して研究を行うことが重要であると考えられる.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Kazuma Obara, Norihiro Sugita, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe: Evaluation of Baroreflex Function Using Green Light Photoplethysmogram in Consideration of Resistance to Artifacts, *Advanced Biomedical Engineering*, Vol.4, pp.1-6, 2015 【査読有】

DOI: 10.14326/abe.4.1

阿部 誠, 新沼 大樹, 吉澤 誠, 杉田 典大, 本間 経康, 山家 智之, 仁田 新一: 生理的指標を用いた 3 次元映像の生体影響評価における心理的影響の変化, *生体医工学*, Vol.52, No.1, pp.11-17, 2014 【査読有】

DOI: 10.11239/jsmbe.52.11

〔学会発表〕(計 4 件)

Norihiro Sugita, Kazuma Obara, Makoto Yoshizawa, Makoto Abe, Akira Tanaka, Noriyasu Homma: Techniques for Estimating Blood Pressure Variation Using Video Images, 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, August 25-29, Milan, Italy, 2015

Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Makoto Abe, Kazuma Obara, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe: Easy Extraction of Blood Pressure Variability from Body Video Images

Using Simulink, 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, August 25-29, Milan, Italy, 2015

Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Kazuma Obara, Norihiro Sugita, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe: Pilot Study on Evaluation of Baroreflex Function Using Green Light Photoplethysmogram, 生体医工学シンポジウム 2014, September 26-27, 東京農工大学, 東京都小金井市, 2014

Yusuke Kano, Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Makoto Abe, Noriyasu Homma, Akira Tanaka, Tsuyoshi Yamauchi, Hidekazu Miura, Yasuyuki Shiraishi, Tomoyuki Yambe: Discrimination Ability and Reproducibility of a New Index Reflecting Autonomic Nervous Function Based on Pulsatile Amplitude of Photoplethysmography, 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, August 26-30, Chicago, U.S.A, 2014

〔産業財産権〕

出願状況（計 1 件）

名称：生体情報計測装置及び生体情報計測方法

発明者：吉澤 誠，杉田 典大，阿部 誠，山家 智之，本間 経康，小原 一誠

権利者：東北大学

種類：特許

番号：特願 2015-070270 号

出願年月日：2015 年 3 月 30 日

国内外の別：国内

6．研究組織

(1)研究代表者

阿部 誠 (ABE, Makoto)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：90604637

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし