

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650415

研究課題名(和文) ゲーム機用センサを使った循環制御系の役割分担仮説の検証と健康度モニタリング

研究課題名(英文) Verification of role-sharing hypothesis of circulatory control and its application to health monitoring using sensors for video games

研究代表者

吉澤 誠 (Yoshizawa, Makoto)

東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授

研究者番号：60166931

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)：本研究では、血圧-心拍数間の動特性に基づき、光電容積脈波センサを利用した日常的に使用できる血圧反射機能を推定するシステムの開発を目的とした。まず、心拍数の平均値で規格化された標準偏差CVRR、および脈波の振幅値に関するその高周波成分に対する低周波成分の比の自然対数である $\mu$ PAは、判別力が高く、かつ再現性の高い指標であることを明らかにした。また、両者から相関係数 $r=0.774$ で年齢を推定できることも明らかにした。さらに、ビデオカメラからの身体映像情報を処理することにより、非接触かつ遠隔的に血圧情報を取得し、この情報に基づいて血圧反射機能を推定できる可能性があることを確かめた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at developing an estimation system of the baroreflex function, which can be used in daily life using the photoplethysmogram based on dynamics between blood pressure and heart rate.

First, it was revealed that two indices, i.e., CVRR defined as the standard deviation of heart rate normalized by its mean value and  $\mu$ PA defined as the natural logarithm of the ratio of low frequency components to high frequency components of the pulse wave amplitude, have high discrimination ability and high reproducibility. Secondly, it was shown that a subject's age can be estimated with these two indices with the correlation coefficient of 0.774. Finally, it was suggested that the baroreflex function can be estimated by processing the video images of a human body taken with an ordinary video camera.

研究分野：生体制御工学

キーワード：自律神経 循環制御系 脈波伝搬時間 脈波 インデックス CVRR  $\mu$ PA 加齢変化

## 1. 研究開始当初の背景

人口減少を迎え高齢社会に突入した日本において、健康寿命を延伸させることが強く望まれている。このためには、自律神経機能を日常的にモニタリングすることにより、自律神経に関係する疾患を早期発見し、病態を定量化することが重要となる。

一方、Mayer 波帯域における血圧・心拍数間の線形相関性は、安静時に強く、映像刺激入力や姿勢変動の際に弱くなる。この現象は、「安静時には主として心拍数調節が行われ、環境変化時には心拍数調節ばかりでなく血管抵抗調節が行われる」という仮説（心拍数調節と血管抵抗調節の役割分担仮説）で説明できる可能性があり、この性質は自律神経機能を日常的にモニタリングに応用することが期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究では、この仮説に基づいて、一般に普及しているゲーム機のために試作された脈波センサを利用した日常的に使用できる血圧反射機能推定システムの開発を目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験 1

まず、血圧反射機能の基本的な特徴を明らかにするため、血圧反射機能を司る循環制御系の特徴を表わす指標のうち、判別力と再現性の高い指標を探索した。

実験では、健康被験者（若年者 36 人（24.1 ± 4.3 歳）、高齢者 12 人（70.1 ± 4.3 歳））を対象として、安静状態から呼吸統制状態に遷移することにより過渡の状態を作った。このとき、心電図・連続血圧・光電容積脈波を計測した。

計測量から、相関性を高める修正を施した脈波伝搬時間のパワーに対する心拍間隔のパワーの比の平方根である  $\alpha_{PTT}$ 、および、光電容積脈波の振幅値に関するその高周波成分に対する低周波成分の比である  $\mu_{PA}$  を計算した。

また、脈波伝搬時間 (PTT) と心拍数 (HR) の間の動特性を定量化することにより、自律神経機能の評価が可能かどうかを検討した。すなわち、それぞれの変数の LF 成分・HF 成分・LF/HF、および 2 変数間の相互相関係数の最大値  $\rho_{max}$ ・コヒーレンス関数  $\gamma^2$ ・伝達関数のゲイン  $|G(j\omega)|$  を求めた。

### (2) 実験 2

前年までに探索した指標の有効性をさらに確認するために、被験者数を大幅に増加させた。すなわち、健康被験者（若年者 59 人（25.7 ± 6.3 歳）、高齢者 86 人（70.2 ± 4.1 歳））を対象として、安静状態における心電図・連続血圧・光電容積脈波を計測した。計測量から、心拍数の平均値で規格化された標準偏差 CVRR、収縮期血圧のパワーに対する心拍間隔のパワーの比の平方根である  $\alpha_{LF}$ 、お

よび、光電容積脈波の振幅値に関するその高周波成分に対する低周波成分の比の自然定数である  $\mu_{PA}$  などを計算した。

### (3) 実験 3

ビデオカメラからの身体映像情報を処理することにより、非接触かつ遠隔的に血圧情報を取得し、この情報に基づいて血圧反射機能を推定するシステムの開発を行った。まず、心臓から見た近位部である顔と遠位部である掌の映像信号のうち緑色成分の輝度平均値の時系列を求め、雑音成分を除去することによって対応する部位の脈波信号を得る。次に、各部位をヒルベルト変換することによってそれぞれの信号の瞬時位相を求め、2 つの瞬時位相の差を血圧信号の代用とした。

## 4. 研究成果

### (1) 実験 1

脈波伝搬時間のパワーに対する心拍間隔のパワーの比の平方根である  $\alpha_{PTT}$ 、および、光電容積脈波の振幅値に関するその高周波成分に対する低周波成分の比である  $\mu_{PA}$  は、他の従来指標と比較して、高齢者群と若年者群との間の判別力が高く、かつ、級内相関係数の観点から再現性の高い指標であることが明らかとなった。 $\alpha_{PTT}$  は、脈波伝搬時間に基づくため、光電容積脈波に加えて心電図計測が必要であるのに対し、 $\mu_{PA}$  は光電容積脈波のみで計算できる指標であるため、ゲーム機用センサでも利用できるため、応用可能性が高い指標であると言える。

さらに、脈波伝搬時間 PTT と心拍数 HR の LF 成分・HF 成分・LF/HF、および 2 変数間の相互相関係数の最大値  $\rho_{max}$ ・コヒーレンス関数  $\gamma^2$ ・伝達関数のゲイン  $|G(j\omega)|$  からは次のようなことが明らかとなった。

- 1) 10 秒周期呼吸時の  $\rho_{max}$  が極端に低い者は、自律神経系の働きに問題がある可能性がある。
- 2) 10 秒周期呼吸時の HR の LF 成分は加齢により低下する。
- 3) 安静時の  $|G(j\omega)|$  の LF 成分の大きさに基づいて、10 秒周期呼吸を実施しなくても自律神経機能の性能が推定できる可能性がある。

### (2) 実験 2

3 つの指標、すなわち、心拍数の平均値で規格化された標準偏差 CVRR、収縮期血圧のパワーに対する心拍間隔のパワーの比の平方根である  $\alpha_{LF}$ 、および、光電容積脈波の振幅値に関するその高周波成分に対する低周波成分の比の自然定数である  $\mu_{PA}$  は、他の従来指標と比較して、高齢者群と若年者群との間の判別力が高く、かつ、級内相関係数の観点から再現性の高い指標であることが明らかとなった。また、CVRR と  $\alpha_{LF}$  は互いに相関が強い一方、 $\mu_{PA}$  とは相関が低いことがわかった。

$\alpha_{LF}$  は連続血圧の計測が必要であるのに対し、CVRR と  $\mu_{PA}$  は光電容積脈波のみで計算で

きる指標であるため、ゲーム機用センサでも利用でき有用であることがわかった。また、図1のように、CVRRと $\mu_{PA}$ の2つから相関係数 $r=0.774$ で年齢を推定できることも明らかになり、自律神経機能の低下を定量的に推定する方法となり得ることが明らかとなった。

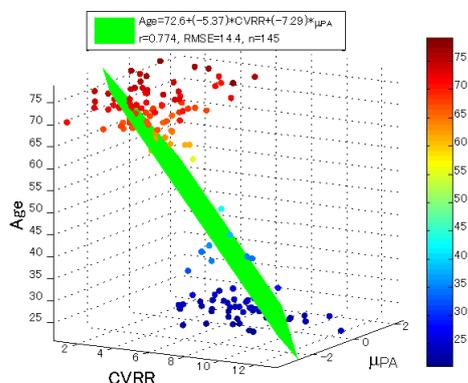


図1 CVRRと $\mu_{PA}$ による年齢の推定

### (3) 実験3

健常被験者20人に対して呼吸停止による血圧変動を誘起し、そのときの連続血圧計から得た収縮期血圧と上記の瞬時位相差の相関を求めたところ、図2のように、相関係数が約0.6の正の相関が得られた。これに対して、従来用いられてきた心電図信号と指尖光電脈波から計算される脈波伝搬時間は、収縮期血圧と相関係数が約0.4で逆相関した。

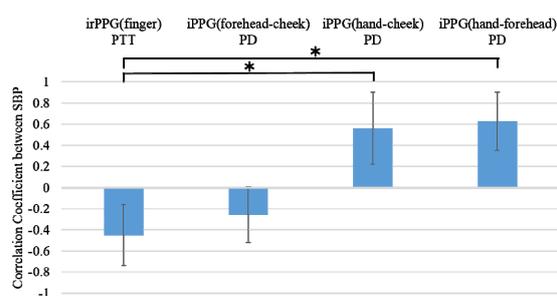


図2 収縮期血圧SBPとの相関係数(n=20). irPPG(finger) PTT: 指尖光電脈波の脈波伝搬時間, iPPG(forehead-cheek) PD: 映像脈波の瞬時位相差(額-頬間), iPPG(hand-cheek) PD: 映像脈波の瞬時位相差(手-頬間), iPPG(hand-forehead) PD: 映像脈波の瞬時位相差(手-頬間). \*  $p < 0.05$ , ただし、負の値はその絶対値と比較した。

以上の結果は、実験2で得られた、心拍数の平均値で規格化された標準偏差CVRR、および脈波の振幅値に関するその高周波成分に対する低周波成分の比の自然定数である $\mu_{PA}$

の2つから高い相関係数で年齢を推定できる結果と合わせることによって、血圧から心拍数までの応答感度として自律神経機能の低下を定量的に推定する方法となり得る可能性があることがわかった。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① 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】
- ② Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Telma Keiko Sugai, Noriyasu Homma, Norihiro Sugita, Kazuo Shimizu, Moe Goto, Masashi Inagaki, Masaru Sugimachi, Kenji Sunagawa: Verification of a Method of Detecting Life-threatening Arrhythmias from Human Data for Use in Implantable Cardioverter-Defibrillator, *Advanced Biomedical Engineering*, Vol.3, pp. 59-64, (2014) 【査読有】
- ③ Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe, Shin-ichi Nitta : Physiological Evaluation of Visually Induced Motion Sickness Using Independent Component Analysis of Photoplethysmogram, *Advanced Biomedical Engineering*, Vol.2, pp.25-31 (2013) 【査読有】
- ④ Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Telma Keiko Sugai, Noriyasu Homma, Norihiro Sugita, Kazuo Shimizu, Moe Goto, Masashi Inagaki, Masaru Sugimachi, Kenji Sunagawa: Improving the Detection Algorithm for Life-Threatening Arrhythmias: Implementation in Implantable Cardioverter-Defibrillator, *Electronics and Communications in Japan*, Vol.96, No.12, pp.1-8 (2013) 【査読有】
- ⑤ Makoto YOSHIZAWA, Tomoyuki YAMBE, Norihiro SUGITA, Satoshi KONNO, Makoto ABE, Noriyasu HOMMA, Futoshi TAKEI, Katsuhiko YOKOTA, Yoshifumi SAIJO, Shin-ichi NITTA: Application of a Telemedical Tool in an Isolated Island and a Disaster Area of the Great East Japan Earthquake, *IEICE TRANSACTIONS on Communications*, Volume E95-B No.10, pp.3067-3073 (2012) 【査読有】

〔学会発表〕(計3件)

- ① Y. Kano, M. Yoshizawa, N. Sugita, M. Abe, N. Homma, A. Tanaka, T. Yamauchi, H.

Miura, Y. Shiraishi, T. Yambe: Discrimination ability and reproducibility of a new index reflecting autonomic nervous function based on pulsatile amplitude of photoplethysmography, 36th Annual Conference of IEEE Engineering in Medicine Biology Society 2014, Sep. 26-30, 2014, Chicago, U.S.A. 【査読有】

- ② Yoshizawa M, Sugita N, Abe M, Homma N, Konno S, Yambe T, Nitta S: Evaluation of autonomic nervous function for elderly people using electrocardiogram and plethysmogram, SICE Annual Conference 2012, Aug. 20-23, 2012, Akita University, Akita, Japan 【査読有】
- ③ Sugita N, Yoshizawa M, Kawata H, Yambe T, Konno S, Saijo Y, Abe M, Homma N, Nitta S: Telemedicine System Necessary in Disaster Areas, SICE Annual Conference 2012, Aug. 20-23, 2012, Akita University, Akita, Japan 【査読有】

〔図書〕(計3件)

- ① 吉澤 誠: 電磁波を用いた瞬時心拍数の非接触推定技術, 次世代ヘルスケア機器の新製品開発, pp. 240-248, 技術情報協会 (2014)
- ② Makoto Abe, Telma Keiko Sugai, Makoto Yoshizawa, Kazuo Shimizu, Moe Goto, Masashi Inagaki, Masaru Sugimachi, Kenji Sunagawa: Detection of Life-Threatening Arrhythmias Using Multiple regression Model, Takami Yamaguchi(Eds.), Nano-Biomedical Engineering 2012, Imperial College Press, London, pp.577-586 (2012)
- ③ Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Tomoyuki Yambe, Satoshi Konno, Telma Keiko Sugai, Makoto Abe, Noriyasu Homma, Shin-ichi Nitta: Methods for Estimating a Cross-Correlation Index of the Baroreflex System by Using a Plethysmogram, Takami Yamaguchi (Eds.), Nano-Biomedical Engineering 2012, Imperial College Press, London, pp.566-576 (2012)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計3件)
- ① 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
- ② 名称: 情報処理プログラムを記録した記録媒体および情報処理装置

発明者: 古田律克, 吉澤 誠, 杉田典大, 山家智之

権利者: 任天堂, 東北大学

種類: 特許

番号: 13/861,599

出願年月日: 2013年4月12日

国内外の別: 米国

- ③ 名称: 脈波伝搬速度の測定方法およびシステム並びに撮像装置

発明者: 高森哲弥, 吉澤 誠, 本間経康, 杉田典大, 阿部 誠, 田中 明

権利者: 富士フイルム, 東北大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-47014 号

出願年月日: 2013年3月8日

国内外の別: 国内

- 取得状況 (計1件)

名称: 自律神経機能測定装置

発明者: 吉澤 誠, 杉田典大, 狩野佑介, 山家智之

権利者: フクダ電子, 東北大学

種類: 特許

番号: 特許 5408751 号

出願年月日: 2012年3月27日

(手続補正書提出年月日 2012年5月22日)

取得年月日: 2013年11月15日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

(該当なし)

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉澤 誠 (YOSHIZAWA, Makoto)

東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授

研究者番号: 60166931

(2)研究分担者

(なし)

(3)連携研究者

① 本間経康 (HOMMA, Noriyasu)

東北大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号: 30282023

② 杉田典大 (SUGITA, Norihiro)

東北大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 90396458

③ 山家智之 (YAMBE, Tomoyuki)

東北大学・加齢医学研究所・教授  
研究者番号: 70241578

④ 田中 明 (TANAKA, Akira)

福島大学・共生システム理工学類・教授  
研究者番号: 10323057