

加速度脈波の波高比を用いたストレス計測

Detecting Stress by Wave Height Ratios of Acceleration Plethysmography

○ 佐々木邦恭, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗 (筑波大)

Kunichika SASAKI, Yuka MAEDA, Koichi MIZUTANI, Naoto WAKATSUKI, University of Tsukuba

Abstract: Stress could be factors has a negative impact on our health. Therefore, measuring stress is important. Photoplethysmography (PPG) and acceleration plethysmography (APG) attract attention as one of the methods to measure stress. We experimented in order to investigate the influence of stress on APG. Ten subjects were required to participate in this experiment. The all measurement time was eight minutes. Firstly, subjects were measured PPG with resting position for three minutes. Secondly, they were measured under the stress for two minutes. Then they returned to resting position, and were measured for three minutes. We used wave height ratios (WHRs) and APG index for detecting stress. We presumed that we get more information about stress by narrowing the frequency band of APG. In the result of this, two subjects were detected stress in case of usual frequency band. When that was narrowed, the number of detection increased from two to five.

Key Words: PPG, APG, under the stress, WHRs, APG index

1. 研究背景と目的

我々の身の回りには仕事や人間関係など多くのストレスが存在する。適度なストレスは人間に良い影響を与えるが、過度なストレスは肉体的、精神的に悪影響を及ぼす⁽¹⁾。現代の社会はストレス社会と言われるように、多くの人々がストレスを溜めがちであり、うつ病患者数も増加傾向にある⁽²⁾。このようなことを防ぐためにも、日々の生活の中でストレスを計測しストレス発散や通院のきっかけを得ることは重要だと考えられている⁽¹⁾。

日常生活の中でストレスを計測するためには、特別な知識や技術のない人でも使うことができる計測手法が求められる。脈波や加速度脈波はそのような手法の一つとして注目されている。これらは光を用いて簡便かつ非侵襲的に計測が可能である。加速度脈波の評価には波高比や APG インデックスが頻繁に用いられる⁽³⁾。佐野らは多くの人々の加速度脈波を計測することでそれらのパラメータと血管の状態の相関関係を明らかにした⁽³⁾。このように脈波や加速度脈波は血管に関する情報を持つことから、加速度脈波を用いたストレス検出を試みた。

本研究では加速度脈波の波高比と APG インデックスに着目し、ストレスがこれらのパラメータに与える影響を検証するために加速度脈波の周波数帯を変化させパラメータを算出し比較した。

2. 脈波と加速度脈波

2-1 脈波とその計測手法

脈波は血液の循環によって起こる動脈容積の時間的変化を波形としてとらえたものである。脈波は光学的手法により計測される。Fig. 1 に計測原理の概略図を示す。発光ダイオード(LED)から生体に向けて照射された光は生体内で透過、反射、散乱、吸収される。LED に隣接して設置されたフォトディテクタ(PD)は生体内で反射、散乱した光を検出する。心臓から拍出された血液により血管は局所的に膨張する。血液は光を吸収する性質を持っているので、血管の容積変化を光量の変化により評価が可能である。

従来、脈波センサには近赤外光が(Near - infrared = NIR)の LED が用いられてきた。しかし、近年では緑色光(Green)の LED も用いられている⁽⁴⁾。光の波長の違いは生

体に対する透過深度と関係があり、波長が長い光ほどより生体深くまで透過する⁽⁵⁾。Fig. 2 に近赤外光と緑色光の生体に対する透過深度の概略図を示す。近赤外光の波長は緑色光よりも長いので、緑色光よりも深くまで透過する。そのため、それぞれの光で計測領域も異なる。透過深度の短い緑色光の場合は主に毛細血管が主な計測領域となる。より深くまで透過する近赤外光の場合はより太い血管も計測領域に含まれる。

脈波は血管に関する情報を持っている⁽³⁾。Fig. 3 に脈波の典型例を示す。脈波は駆出波成分と反射波成分から構成される。駆出波は血管の駆出により生成される。反射波は心臓の拍動により発生した振動が血管壁を伝い末梢

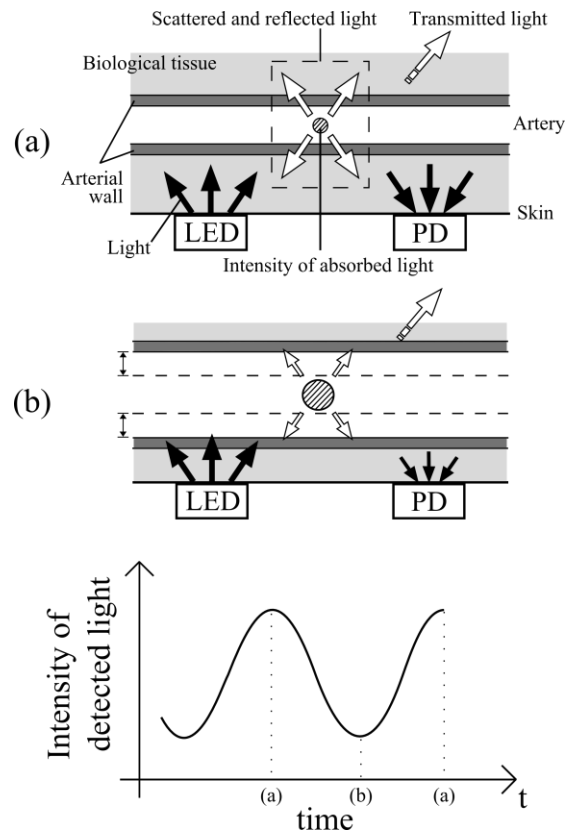


Fig. 1 Schematic of measurement method (a) Normal artery, (b) Expanded artery

まで伝播した後に再び戻ってくるにより生成される。血管壁は加齢や動脈硬化症により硬化する。血管の硬化は主に反射波成分に影響を与えるので、血管年齢の指標などに用いられる。

2-2 加速度脈波

本研究では加速度脈波を用いて血管の状態を評価しストレスの検出を試みる。Fig. 4 に加速度脈波の典型例を示す。加速度脈波は脈波を2階微分して得られる。加速度脈波はa波, b波, c波, d波, e波の五つの波形成分で構成される。a波とb波は駆出波に含まれ, c波, d波, e波は反射波成分に含まれる⁽⁶⁾。

加速度脈波を評価する際には波高比やAPGインデックスが用いられる。a波, b波, c波, d波, e波のピークの値をそれぞれa, b, c, d, eとし, 波高比はb/a, c/a, d/a, e/aで, APGインデックスは(-b+c+d)/a * 100で定義される。b/aは血管の伸展性と, d/aは血管の反射, e/aは血管の柔軟性と相関があり⁽⁶⁾, APGインデックスは加齢に伴う血液循環系のダイナミクスと相関がある⁽⁶⁾。b/aは年齢に比例し, c/a, d/a, e/aとAPGインデックスは年齢に反比例する⁽⁶⁾。これらのパラメータを用いて血管年齢や動脈硬化の進行度が評価される。

3. 実験

10人の健康若年成人(23.2 ± 0.6歳)に対して実験を行った。Fig. 5 に実験環境の概略図を示す。脈波センサは被験者の左第3指指尖部に装着し, 室内灯の光を遮断するために手首より先を黒い布で覆った。被験者には着座・開眼を指示した。Fig. 6 に計測に使用した脈波センサの模式図を示す。脈波センサは近赤外光のLED(ピーク波長, 880nm), 緑色光のLED(ピーク波長, 525nm)と二つのPDで構成されている。このセンサを用いて近赤外光, 緑色光それぞれの光で計測される脈波を8分間同時計測した。最初の3分間は安静を指示し, 続けて2分間ストレスを

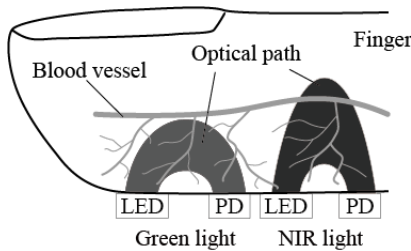


Fig. 2 Penetration depth of NIR light and that of green

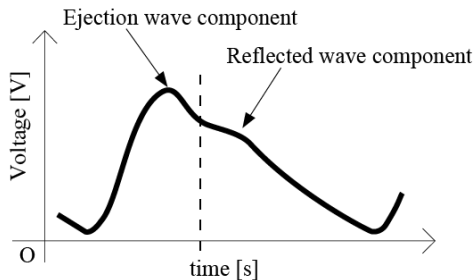


Fig. 3 Typical waveform of PPG

負荷し, その後3分間再び安静状態で計測を行った。ストレスタスクには1000-7=993, 993-7=986, 986-7=979というように1000から次々と7を引き算する暗算を用いた。

計測した脈波信号はアナログ/デジタル変換器(NI USB-6211, National Instruments)を使用してサンプリング周波数1000HzにてPCに記録した。

4. 解析

計測後, 得られた脈波信号をローパスフィルタに通し, 2階微分して加速度脈波を算出する。通常, ローパスフィルタのカットオフ周波数は10Hzである。しかし, 加速度脈波の周波数帯を変更することで異なる特徴量が得られるのではないかと考えた。よって本研究ではバンドパスフィルタに通すことでいくつかの周波数帯の加速度脈波を算出し, それらと通常の周波数帯の加速度脈波の波高比とAPGインデックスを用いたストレス検出の精度について検証した。

Fig. 7 に加速度脈波のパワースペクトル解析の典型的な結果を示す。加速度脈波には1~10Hzの間に5~6個の山がある。この結果を考慮しカットオフ周波数を1Hz毎に変化させバンドパスフィルタの周波数帯を検討した。Fig. 8 に0~7Hz, 4~10Hz, 0~10Hzのバンドパスフィ

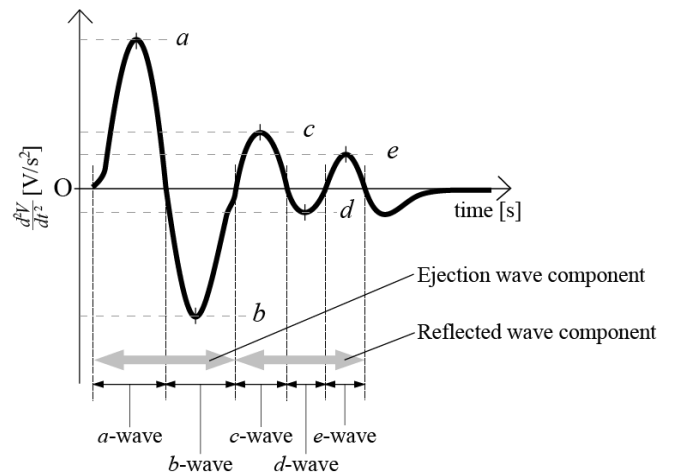


Fig. 4 Typical waveform of APG

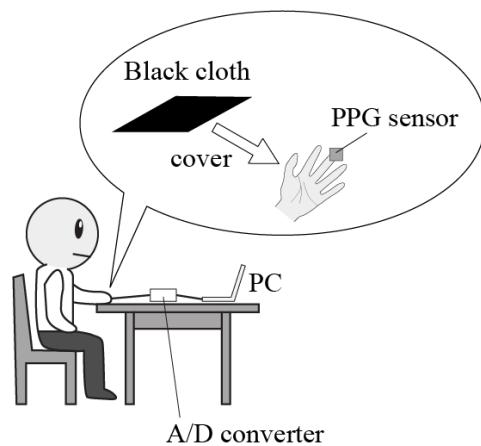


Fig. 5 Situation of experiment

ルタに通した加速度脈波の典型例を示す。0～7 Hzと4～10 Hzの波形は加速度脈波の波形とは大きく異なると判断した。よって本研究ではバンドパスフィルタのカットオフ周波数の上限を8～10 Hzに、下限を0～3 Hzに設定した。

これをもとに、本研究では0～10 Hz, 0～9 Hz, 0～8 Hz, 1～10 Hz, 2～10 Hz, 3～10 Hzの6つの周波数帯の加速度脈波について検証した。Fig. 9に被験者Aの典型的な波高比とAPGインデックスを示す。血管の状態はストレスにより変化する⁽⁷⁾。波高比やAPGインデックスは血管の状態と相関があるため⁽²⁾、ストレスの影響は短時間の波高比やAPGインデックスの値の変化として観測できると考えられる。

5. 実験結果

Table. 1にストレス検出結果を示す。通常の加速度脈波の場合は2人の被験者のストレスが検出されたが、提案手法では他に3人の被験者のストレスが検出され、合計で5人の被験者のストレスが検出された。よって加速度脈波の周波数帯を狭くすることはストレス検出の精度を向上させることが示唆された。また、全ての周波数帯において緑色光の加速度脈波の波高比などの値の変動によりストレスが検出された。それに対し、近赤外光の加速度脈波によりストレスが検出された例は少ない。よって、近赤外光よりも緑色光の方がストレス検出精度に優れることが示唆された。また、ストレス負荷を始めた180秒時点ではなく200秒近辺でストレス負荷状態だと判定する傾向が見られた。周波数帯を変化させた際にAPGインデックスと b/a , c/a の場合は2人の被験者でストレスが検出されたのに対し、 d/a , e/a の場合は5人の被験者でストレスが検出された。

6. 考察

200秒近辺からストレス負荷状態だと判定される傾向は、与えられたストレスに対する生体の反応が起こるまでに時間差があるためだと考えられる。ストレスが負荷された際、生体内ではアドレナリンなどの神経伝達物質が分泌されることでストレスに対する反応が起こる⁽⁷⁾。このような神経伝達物質の影響が本研究の計測部位である末梢器官まで及ぶのに時間差がかかるためストレス検出に時間差が起こると考えられる。またストレス負荷後の安静状態でも同様に、神経伝達物質の分泌が収まりその影響が末梢まで及ぶのに時間がかかるためストレスの影響が残ると考えられる。

APGインデックスと b/a , c/a に比べて d/a , e/a の方がストレス検出に適している傾向があるのは d 波, e 波が反射波成分に含まれるからだと考えられる。ストレスを受けるとアドレナリンなどが分泌され交感神経が優位な状態となる⁽⁷⁾。交感神経が優位の場合は血管の収縮や心

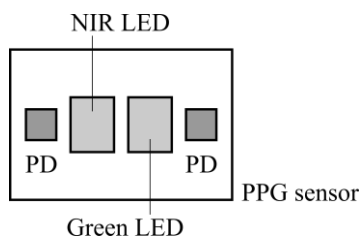


Fig. 6 Schematic of PPG sensor

拍数、血圧の上昇などが起こる。このような作用の結果、血管壁の伸展性や柔軟性が低下する。血管壁を伝う振動による加速度脈波の反射波成分がこれらの影響を受けるために、反射波成分はストレスに敏感に反応すると考えられる。

緑色光の計測領域は主に毛細血管であるので、本実験の結果からストレスの影響は毛細血管で顕著に現れると考えられる。

本研究におけるストレス検出精度は通常の加速度脈波の場合は20%、周波数帯を狭めた加速度脈波の場合は50%であった。対して、唾液中のクロモグラニンAを用いたストレス計測（唾液マーカー）では音の刺激に対し80%の精度でストレスが検出されたという例がある⁽⁸⁾。本研究の提案手法は現時点でのストレス検出精度では唾液マーカーに劣っているが、計測の際の簡便性やリアルタイム性などに有用性があると考えられる。よって、今後の研究でストレス検出精度を唾液マーカーと同程度までに向上させることができたならば、ストレス計測の有力な手法の一つとなると考えられる。

7. まとめ

本研究では周波数帯を変化させた加速度脈波の波高比とAPGインデックスにおけるストレスの影響について検証した。実験を行った結果、従来手法よりも提案手法において高い精度でストレスが検出される可能性が示され

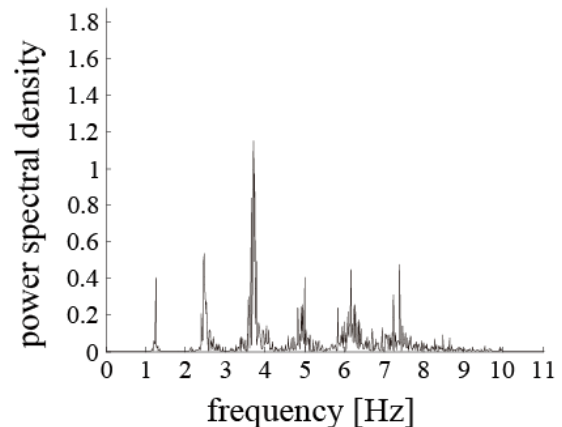


Fig. 7 Typical result of frequency analysis of APG

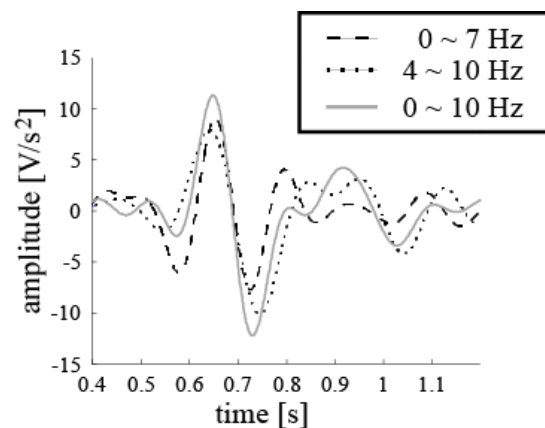


Fig. 8 APGs in the case of changing frequency band

た. ストレスの影響は主に反射波成分に表れており, ストレスの影響は駆出波成分よりも反射波成分の方が大きいと考えられる. また, ストレスが検出されたすべての被験者において緑色光により検出されたが, 近赤外光においては一部の被験者でのみ検出された. よって, 近赤外光の加速度脈波よりも緑色光のものの方がストレス検出に適していると考えられる.

参考文献

(1) 荒記俊一, 川上憲人, “職場ストレスの健康管理: 総説,” 産業医学, Vo. 35, pp. 88-97, 1993.
 (2) 厚生労働省, “平成23年患者調査(傷病分類編),” 2011.
 (3) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山匡, 和田光明, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺剛, 西田明子, 小山内博, “加速度脈波による血液循環の評価とその応用,” 労働科学, 61巻, 3号, pp. 284-287, 2001.
 (4) Yuka MAEDA, Masaki SEKINE, Toshiyo TAMURA, “RELATIONSHIP BETWEEN MEASUREMENT SITE

AND MOTION ARTIFACTS IN WEARABLE REFLECTED PHOTOPLETHYSMOGRAPHY,” Journal of Medical Systems, Vol. 35, Issue. 5, pp. 969-976, 2010.
 (5) R. Rox ANDERSON, B.S. AND JHON A. PARRISH M.D., “THE OPTICS OF HUMAN SKIN,” The Journal of Investigative Dermatology, Vol. 77, pp. 13-19, 1981.
 (6) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山匡, 和田光明, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺剛, 西田明子, 小山内博, “加速度脈波による血液循環の評価とその応用(第2報) 一波形の定量化の試み—,” 体力研究, No. 68, pp. 17-25, 1988.
 (7) 出村博, “ストレスとホルモン,” 日内分泌会誌, 第70巻, 第5号, pp. 479-488, 1994.
 (8) Masamitsu MIYAKAWA, Toshihito MATSUI, Hiroki KISHIKAWA, Rumiko MURAYAMA, Iwao UCHIYAMA, Toshihiro ITOH, Takahiko YOSHIDA, “SALIVARY CHROMOGRANIN A AS A MEASURE OF STRESS RESPONSE TO NOISE,” Noise & Health, Vol. 8, Issue. 32, pp. 108-113, 2006.

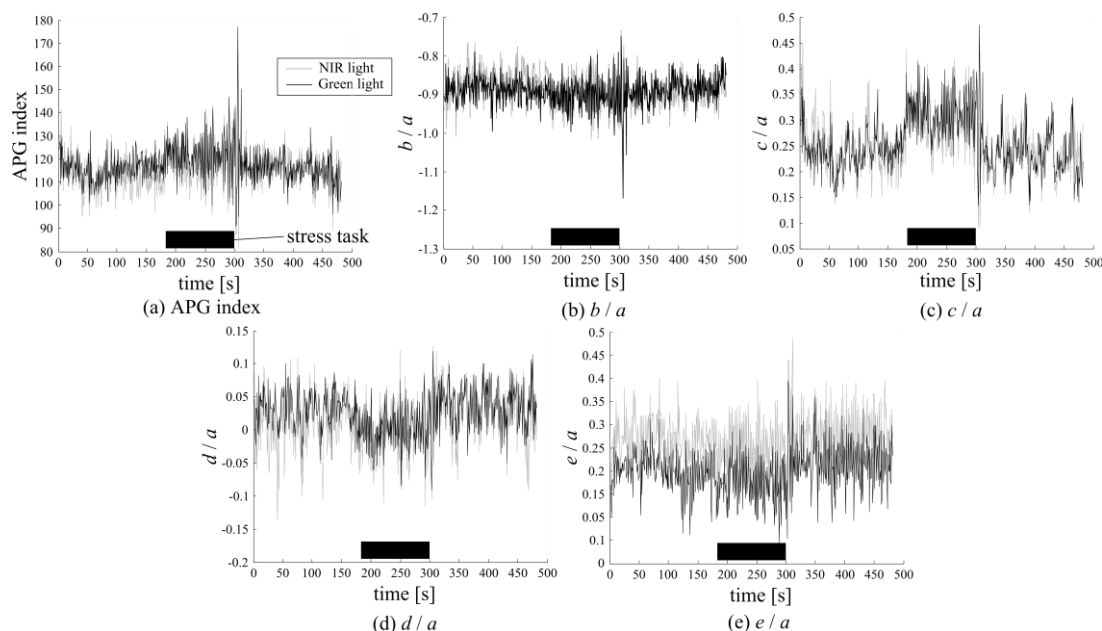


Fig. 9 Typical result of APG parameters
 (a) APG index, (b) b/a , (c) c/a , (d) d/a , (e) e/a

Table. 1 Result of detecting stress

	APG	b/a	c/a	d/a	e/a
0~10 Hz	06 (G, down)	06 (G, up) 10 (G, down)	—	—	—
0~9 Hz	06 (G, down)	06 (G, up)	06 (^{NIR} _G , down)	—	04 (^{NIR} _G , up) 10 (^{NIR} _G , up)
0~8 Hz	06 (G, down)	06 (G, up)	06 (G, down)	06 (^{NIR} _G , down)	—
1~10 Hz	06 (G, down)	10 (G, down)	—	—	—
2~10 Hz	—	10 (G, down)	—	—	—
3~10 Hz	06 (G, up)	—	10 (^{NIR} _G , up)	07 (G, down) 10 (G, down)	05 (^{NIR} _G , up)