

脈拍によるストレス評価に関する検討

Mental Stress Evaluation System via Puls

佐々木 真彦* , 中野 真哉* , 高梨 宏之* ,
王 鋒** , 長南 征二* , 御室 哲志*

Msashiko Sasaki* , Shin-ya Nakano* , Hiroyuki Takanashi* ,
Feng Wang** , Seiji Chonan* , Tetsushi Mimuro*

*秋田県立大学, **前橋工科大学

*Akita Prefectural University, **Maebashi Institute of Technology.

キーワード : 脈拍 (Pulse), ストレス評価 (Menatal stress evaluation) , PVDFフィルム (PVDF film)

連絡先 : 〒015-0055 由利本荘市土谷 84-4 秋田県立大学 システム科学技術学部 機械知能システム学科
高梨宏之, Tel.: (0184)27-2216, Fax.: (0184)27-2188, E-mail: takanashi@akita-pu.ac.jp

1. はじめに

ヒトは日常生活において、様々な要因による精神的負荷を体にかけている。たとえば、長時間の自動車の運転や育児などの行動型要因、オフィスなどでの人間関係や思春期などの環境型要因などがあり、このような要因はストレッサーと呼ばれる。ヒトはこれらの精神的負荷により、心拍、脈拍、呼吸、皮膚の電気活動、眼球運動、唾液、脳波などの生理情報に変化が生じる。

このようなストレスをリアルタイムで計測し、定量的に評価するための研究が行われている。これまで、心拍変動からストレスを評価する研究¹⁾が報告されているが、多くの場合は、ストレスを受けることで心拍変動が生じることを指摘したものである。それに対し、文献 2), 3) では、主観的なストレス値と心拍変動の定量的関係について述べている。

心電図による心拍測定では、多くの場合、全身

に電極を取り付ける方法がとられているが、この方法自体が肉体的、精神的負担を与える可能性がある⁴⁾。また、計測時には日常生活の行動が拘束されるなどの課題がある。一方、唾液によるストレスの計測⁵⁾では、心電図による方法と比較して計測時の拘束は少ないものの、食事直後の計測が不可能であるなどの制限がある。

前述のように、精神的負荷によって心拍や脈拍に変化が生じるが、精神的ストレス評価のほとんどが心電図に基づく心拍変動を用いた手法であり、脈拍を主に利用した手法はあまり報告されていない。脈拍を主として利用しているのは、動脈硬化の度合いを判断する場合^{6, 7)}などが多い。

以上の点に鑑み、本稿では、速やかな着脱が可能な脈拍計測センサを構築し、計測時に日常生活の拘束ができるだけ少ないストレス評価法に関する基礎検討を行う。具体的には、PVDF フィルムを用いた脈拍センサを使用し、単純な暗算作業による精神的負荷の有無における脈波を計測する。さらに、

脈拍センサにより得られた波形を Symmertrized Dot Patterns 法⁸⁾ (SDP法) を用いて可視化することにより、脈波波形からは識別しにくい差異を明確にし、ストレス有無の判断を容易にする方法を検討する。

2. 脈拍センサ

2.1 脈拍によるストレス評価

心拍電位を計測して心拍の揺らぎからストレスを測る計測器で扱うストレス評価の要素には、心拍数 (Heart Rate: HR), 心拍間隔 (R-R Interval: RRI), 心拍変動 (Heart Rate Variation: HRV) がある。本研究ではポリフッ化ビニリデン (PVDF: Polyvinylidene Fluoride) 圧電プラスチックフィルムを用いて、それらの要素に代わり、脈拍数 PR および脈拍間隔 PPI を計測することで心拍計測よりも簡便にストレス評価の要素を計測することを考える。

一般に、ヒトはストレスを受けることで、心拍数HRが大きくなり、また心拍変動が小さくなることにより、心拍間隔 RRI が小さな値で安定すると言われている。これは、ストレスを受けることによって体を整えている自律神経の働きに影響を受けるためである。通常は交感神経と副交感神経が互いに拮抗して体内機能が支配されているが、このバランスが崩れることによるものである。

従来より、心拍変動は副交感神経の指標と見なされており、心電図などの RR 間隔が副交感神経活動の指標として利用されている。



Fig. 1 Photograph of the PVDF film.

一方、RR 間隔と脈波のピーク間隔がほぼ一致することから、脈波のピーク間隔が副交感神経活動の指標となることが報告されている⁹⁾。そのため本研究では、心拍に代わり、脈拍を計測することでストレスの評価を行うこととした。

2.2 脈拍センサ

圧電素子の圧電体に加えられた力を電圧に変換する特徴を活かし、より簡便に脈拍を得ることのできるセンサを試作した。脈拍による皮膚表面の脈動が小さく、またその脈動の圧力が小さいため、センサ部は柔らかく変位が得やすいことが望ましい。以上の条件を満たすように、最も柔らかく微弱な変位を得やすい PVDF フィルムを選定した。

PVDF フィルムの写真を Fig. 1 に示す。また、PVDF フィルムの構造および試作したセンサを Fig. 2 に示す。

使用した PVDF フィルムは piezo polymer 基板の両面に銀インク電極をプリントした 12×60 mm の動作面積を持つ、標準的な構成である。センサとして使用する際には、センサ感度向上および PVDF フィルム保護のために厚さ 1mm のシリコンゴムによって PVDF フィルムを挟むように設置し、シリコンゴム同士を接着させた。小さな脈動を検出するため、人体接触する面にはヤング率 0.033 MPa のシリコンゴムを、もう一方にはヤング率 0.124 MPa のシリコンゴムを使用した。実

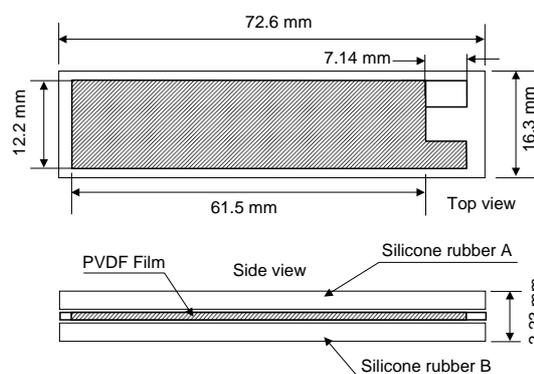


Fig. 2 Sensor structure.

験では Fig. 2 に示すセンサを腕に接触させて上部からバンドで適度に巻きつけて使用する。

3. 精神的負荷作業時における生体反応実験

試作したセンサの検証のために、ストレス評価実験を行った。健康な 20 代の男性 10 名を被験者とし、安静にしている状態と精神的負荷作業時における脈拍データの測定、比較を行った。

なお、本実験では暗算を精神的負荷作業課題とした。実験中、脈拍センサは被験者の利き腕とは逆の手首に装着した。精神的負荷作業課題は 2 桁同士の加減算とし、スクリーン上に一定時間ごとに問題されるものを用意した。負荷作業時間は 5 分間とした。実験風景の写真を Fig. 3 に示す。

「58 + 18 = 」という問題に対し、「58」、「+」、「18」、「=」のように 4 枚の画面を用意し、1 枚の画面を 1 秒ごとに切り替え、次の問題に移るまで 2 秒の余裕を持たせた。被験者には、問題の提示が終了した時点で速やかに解答を記入するように指示した。今回の実験では、脈拍によるストレス評価の可能性を検討するため、負荷の無い状態と負荷のある状態での脈拍をそれぞれ 5 分間測定した。

測定した脈波の一例を Fig. 4 に示す。測定した波形から、周期的に同様の波形が繰り返されていることが確認できる。

4. SDP 法

従来の心拍変動を用いたストレス評価では心拍変動パワースペクトルを用いた計算方法が一般である。しかし解析が高度であり、ストレス評価として結果を理解するには知識を必要とする。そこで本実験では、音声信号を視覚的に特徴づけるために開発された Symmertrized Dot Patterns (SDP)

法⁸⁾を用いることで、着用者が一目で自身の精神的負荷の度合を認識することのできるストレス評価システムの開発を目的とした。

測定した脈波波形から時系列データとして導いた一拍ごとの脈拍間隔 $X(i)$ に対し、式(1) ~ (3)にしたがって $A(i)$, $\Theta(i)$, $\Phi(i)$ を順次計算する。つぎに $A(i)$ を半径とし、 $\Theta(i)$, $\Phi(i)$ をそれぞれ回転角として鏡面反射した点の集合に変換し、極座標上にプロットする。

$$A(i) = \frac{X(i) - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$\Theta(i) = \Theta' + \frac{X(i+L) - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \xi \quad (2)$$

$$\Phi(i) = \Theta' - \frac{X(i+L) - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \xi \quad (3)$$

ただし、

- $X(i)$: 一拍ごとの脈拍間隔
- i : データ番号 ($i = 1 \sim N$: N は全データ数),
- X_{\max} : 脈拍間隔の最大値,
- X_{\min} : 脈拍間隔の最小値,
- ξ : 偏角成分のゲイン,
- Θ' : 始線の回転角(deg), ($360/n \times j, j = 1, \dots, n$)

である。

しかし、上記のような従来の音声信号のための SDP 法に脈拍データを適用してストレス評価をする際、脈拍間隔 PPI の変位による脈拍変動の影響のみが反映され、ストレス評価に重要な情報であ

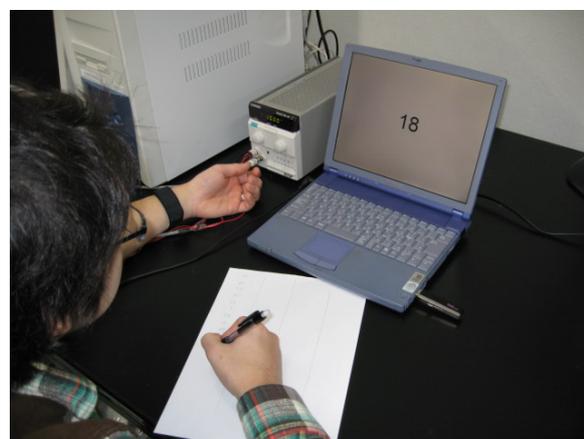


Fig. 3 Mental arithmetic work.

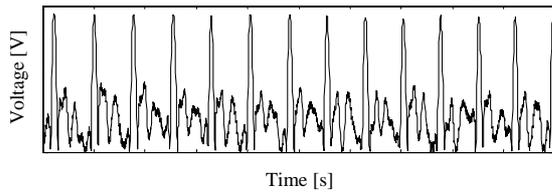


Fig. 4 An example of measured wave form.

る平均脈拍数 MPR の影響が結果に反映されていない。そこで、MPR の影響を考慮し、それをストレス評価に反映できるように、従来の SDP 法では定数である偏角成分のゲイン ξ を次式のように定義する。

$$\xi = \frac{C}{N_{\text{MPR}}} \quad (4)$$

ただし、 C は定数であり、 N_{MPR} は 1 分間の平均脈拍数である。なお、本研究では、解析結果に明確な差を求める必要があることから試行錯誤により C を 3600 とした。また、より短い周期での脈拍変動を確認することで結果の信頼性を向上させるため、 L は 1 とした。また対称軸の数 n の値は 3 とした。

5. 可視化によるストレス評価

5.1 脈拍間隔変動の可視化

安静時、および精神的負荷作業時の脈拍データを可視化した結果を Fig. 5 に示す。両者の違いが比較的大きかった被験者 E~H の結果であり、Fig. 5(a) が安静時、Fig. 5(b) が精神的負荷作業時である。

いずれの被験者においても、安静時と精神的負荷作業時では、はっきりとした差を確認できる。このことから、脈拍データ中の脈拍数 PR、脈拍間隔 PPI に生じた小さな差異が、SDP 法によって明確に可視化されており、単純に波形を比較するだけでは見えにくい差異を表現できている。

5.2 考察

被験者 E, F, H の脈拍データを可視化した結果において、Fig. 5(a)の安静時に比べて Fig. 5(b)の精神的負荷作業時は回転軸からの距離が短くなっていることから、精神的負荷作業時において、脈拍数が増加したといえる。また、被験者 E, H の安静時、精神的負荷作業時を比べると、精神的負荷作業時において、プロット点が集中していることから、被験者 E, H は精神負荷作業時に脈拍間隔がほぼ一定であることがわかる。このことから、被験者 E, F, H は精神的負荷作業によって、ストレスを受けていたと言える。

一方、被験者 G の脈拍データを可視化した結果を比べると、精神的負荷作業時より安静時にプロット点が集中しているのが確認できることから、被験者 G は精神的負荷作業時において、逆に落ち着いたと推測できる。今回実施した暗算による精神負荷作業では、努力感を伴う精神作業と見なすこともでき、負荷として与えている作業が興奮となり、交感神経と副交感神経の両方を亢進させる可能性がある⁹⁾。そのため、精神負荷作業時に落ち着きを見せた被験者がいたと考えられる。

6. おわりに

本研究では、PVDFフィルムを受感材とした脈拍センサを試作し、それをを用いて精神作業時のストレス評価を試みた。さらにSDP法を用いて、ストレスの可視化を行った。得られた結果より確認できた点を以下に述べる。

- 1) 心拍数 HR および心拍間隔 RRI、心拍変動 HRV を用いたストレス評価が、PVDFフィルムを利用し、脈拍数 PR および脈拍間隔 PPI を用いることにより、より簡単に行うことが可能であることを確認した。

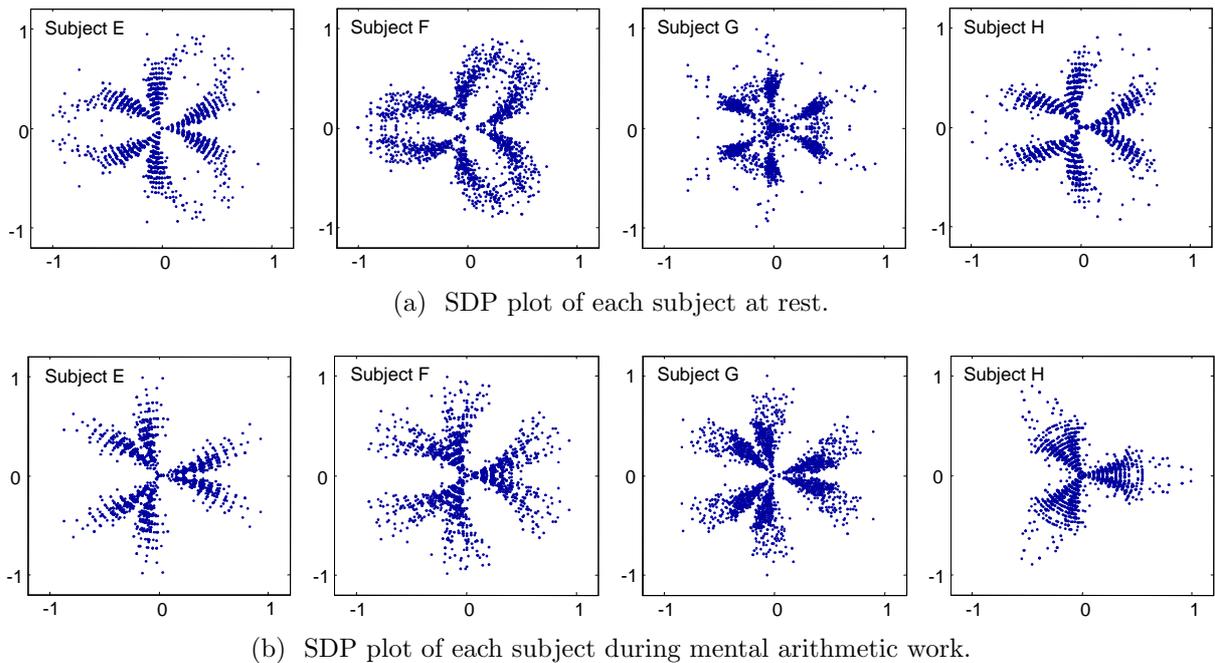


Fig. 5 Experimental results.

- 2) 評価が困難とされていたストレスを，脈拍数 PR および脈拍間隔 PPI を用いた SDP 法により視覚的に判断することができた。
- 3) PVDFフィルムを用いることにより，より安価で利便性の高いストレスセンサの開発が可能である。なお，今後はより簡単な着脱を可能とする貼付け形のセンサ開発およびシステムの小型化が望まれる。

今回の実験では，精神作業課題が単純に加減算のみであり，5分間の計測結果に基づく評価結果である。今後，精神作業課題の与え方や負荷と休憩を複数回連続的に行った場合のストレス判定などを実施する必要がある。

参考文献

- 1) 下野 太海，大須賀 恵美子，寺下 裕美：心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討，人間工学，**34**-3, 107/115 (1998)
- 2) 高津 浩彰，宗像 光男，小関 修，横山 清子，渡辺 興作，高田 和之：心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討，電気学会論文誌C，**120C**-1, 104/110 (2000)
- 3) 吉田 豊，横山 清子，石井 直宏：心拍変動時系列を用いた生体状態の実時間連続判定手法，電気学会論文誌C，**126C**-12, 1441/1446 (2006)
- 4) 山越 憲一：無侵襲，無拘束，そして無意識計測へ，精密工学会誌，**62**-11, 1525/1529 (1996)
- 5) ニプロ(株)，<http://www.nipro.co.jp/>
- 6) 中村 元行，永野 雅英，平盛 勝彦：Augmentation Index の臨床応用，Arterial Stiffness 動脈壁の硬化と老化，No.2 (2002)
- 7) 河原田孝宣，前田 直，塗木 徳人，鹿島 克郎，田中 康博，上ノ町 仁：動脈硬化の指標とされる augmentation index と冠動脈疾患の関連：augmentation index は冠動脈疾患の形態的な重症度を予測できるか？，脈管学，**45**-4, 247/253 (2005)
- 8) Clifford A. Pickover：On the use of symmetrized dot patterns for the visual characterization of speech waveforms and other sampled data, *J. of Acoustic Society Am.*, **80**-3, 955/960 (1986)
- 9) 水落 文夫，川島 淳一，鈴木 典，酒井 秀嗣，佐藤 恵，菅生 貴之：スポーツ選手の心理的ストレス反応を指尖脈波によって評価するための基礎的検討，日本大学歯学部研究紀要，**29**, 87/102 (2001)
- 10) 山田 晋平，三宅 晋司：長時間暗算の生理指標，主観指標，作業成績におよぼす影響，産業医科大学雑誌，**29**-1, 27/38 (2007)
- 11) 豊島 裕子：指尖容積脈波デジタル記録による新しい自律神経機能検査法とその臨床応用，慈恵医大誌，**103**, 1131/1144 (1988)