

メンタルヘルスケアを目的とした小型バイオフィードバック装置の開発

日大生産工(院) ○辻 健太 日大生産工 柳澤 一機 日大生産工 綱島 均

1. 緒言

労働者が50人以上の事業所ではストレスチェックの実施が義務化されており、ストレス状態を把握することへの関心が強まっている¹⁾。過度のストレス状態が続くとうつ病などの疾患の原因になることが知られており、仕事によるストレスが原因でメンタルヘルス不調になる労働者は増加傾向にある²⁾。ストレスによるメンタルヘルス不調が続くと、労働者の減少や生産性の低下などに繋がることが考えられる。

現在、厚生労働省が実施しているストレスチェック制度によるストレスの評価方法は質問紙法を用いており、主観評価であるためストレスに自覚症状がない場合、ストレスを抱えている状態を正確に評価できない場合がある。そのため、生体信号を用いてストレスを客観評価する研究が行われている³⁾。また、マインドフルネスや運動といったストレスの解消方法は本人はストレスが緩和されたと感じていても、実際にはあまり効果がない可能性も考えられる。そこで、生体信号を用いてストレス状態を可視化することで自身のストレス状態を把握し、ストレスの緩和やストレスコントロールを行っていくことが必要とされている。自身のストレス状態を把握することで、主観評価だけに頼らずに、ストレスコントロールが行える可能性がある。

先行研究として、森口は自身の感情を正確に把握していない人が約25%程度存在しており、質問紙法による主観評価とストレス状態が一致しない傾向があることを報告している⁴⁾。生体信号を用いてストレス評価を行うことで客観的にストレス状態の評価が行えるため、自身の感情を正確に把握していない人に対してストレス状態を可視化することには意味があると考えられる。

本研究では、メンタルヘルスケアへの応用を目的とし、小型で計測が簡易である脈波センサを用いて脈波間隔を計測することで、普段どの程度ストレスがかかっているのか把握し、バイオフィードバック(以下BFB)するシステムの開発及び検証を行う。

2. 脈波を用いたストレス評価方法

2.1 脈波とストレスの関係性

脈波からストレス評価を行う方法として、脈波間隔に注目する方法がある⁵⁾。ヒトはストレスを

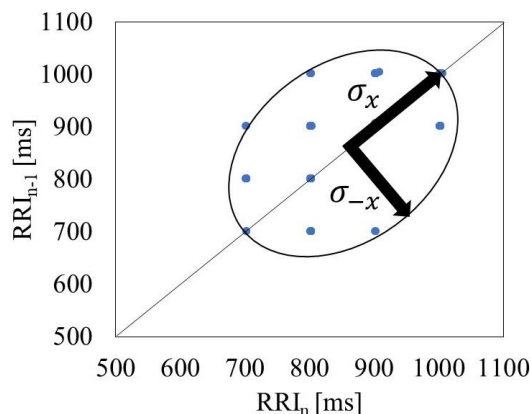


Fig.1 ローレンツプロットの面積

受けた場合、心拍数が上昇し、脈波間隔が小さく、一定間隔になるといわれている。これは、ストレスを受けることで自律神経の働きに乱れが生じるためである。普段は交感神経と副交感神経が互いに拮抗しており、体内機能が支配されているが、ストレスを受けた場合、このバランスが崩れてしまう。

脈波間隔を用いてストレス状態を評価する方法として、脈波間隔をローレンツプロット(以下LP)した面積からストレス評価を行う方法がある⁶⁾。脈波間隔のLPとは、横軸に n 番目の脈波間隔、縦軸に $n+1$ 番目の脈波間隔をグラフ上にプロットしたものである。Fig.1のように、プロットした全ての点を $y=x$ 軸と $y=-x$ 軸に投影し、 $y=x$ 軸においての原点からの距離の標準偏差を σ_x 、 $y=-x$ 軸においての原点からの距離の標準偏差を σ_{-x} とし、プロット全体を楕円として考えることで、(1)式より、LPした面積 S を求めることができる。

$$S = \pi \times \sigma_x \times \sigma_{-x} \quad (1)$$

ストレスがかかっている場合、脈波間隔が小さな値で安定するため、脈波間隔をLPした点はストレスがない状態と比較して同じ位置に集中し、ストレスがない状態と比較して S は小さくなる。高ストレス状態であるほど S は小さくなるため、脈波間隔をLPした面積 S を算出することでストレス状態を評価できる。

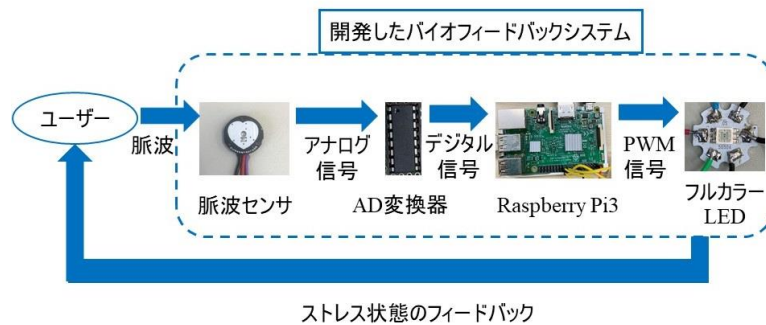


Fig2. バイオフィードバック装置のシステム図

3. BFB装置の概要

3.1 実験装置の概要

本研究では、ストレス状態を色で表現することでBFBを行うシステムを開発した。実験装置の全体図をFig.2, システム図をFig.3に示す。まず、脈波センサのアナログ信号をデジタル信号に変換し、Raspberry PiでRRIをLPした面積からストレス評価を行う。その後、Raspberry Piで行ったストレス評価の結果をフルカラーLEDの色で使用者にBFBを行う。実験装置の外装は3Dプリンタを使用し、半透明のPLA樹脂で製作を行った。半透明のPLA樹脂を使用することで、フルカラーLEDの光が樹脂を透過して発光するようにした。

脈波センサには、反射型脈波センサ(Spackfun社製:SFE-SEN-11574)を使用した。脈波センサはリストバンドに取り付けており、手首から脈波の計測を行う(Fig.4)。脈波センサの精度については、心電図と心拍数の比較実験を行い、1分間の心拍数の測定誤差が±1[回]以下であることを確認している⁷⁾。



Fig.3 実験装置の全体図



Fig.4 脈波センサの装着部

3.2 ストレスのBFB方法

脈波間隔をLPした面積とフルカラーLEDの色を対応させることで使用者にストレス状態のBFBを行う。まず、脈波間隔をLPした面積に対してストレスがどの程度かかっているかを評価するため、高ストレス状態を0、ストレスがない状態を100として、0-100の範囲で正規化した。正規化を行うために用いた式を(2)式に示す。

$$Light\ Color = 100 - \left(\frac{S - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \times 100 \right) \quad (2)$$

現在のストレス状態を評価する最新のLPした面積を S とする。脈波の計測を開始した後、脈波間隔を300回計測するまでは使用者へのBFBは行わずに、300回の脈波間隔をLPした面積の最大値を S_{max} 、最小値を S_{min} とした。BFB開始後に S が S_{max} より大きい場合には S_{max} の値、 S_{min} より小さい場合には S_{min} の値を更新する。

(2)式より求めた $LightColor$ からフルカラーLEDの色を変化させる。高ストレス状態の場合、フルカラーLEDの色は赤色になり、普段は緑色、リラックス状態では青色に変化するように設定を行った。このフルカラーLEDの色の変化によって、使用者にストレス状態をBFBすることができる。

4. 検証実験

4.1 実験条件

開発したBFB装置を使用することでストレス緩和効果が得られるか検証を行った。実験はインフォームドコンセントを得た20代成人男性4名を対象とし、BFBを行う日と行わない日の2日間に分け実施した。

1日の実験デザインをFig.5に示す。朝(9:00-10:00)と夕方(15:00-16:00)に唾液アミラーゼと脳血流の計測、質問紙への回答を行い、ストレス状態

の変化を計測した。主観評価として使用する質問紙には気分感情状態を評価するPOMS2(Profiles of Mood State 2)の短縮版を用いた。実験装置は10:00-15:00に使用してもらい、前述したLP面積の情報からストレス状態を色として使用者にBFBした。実験装置の使用中は日常的に行っているデスク上での作業を行ってもらい、昼食や休憩などは自由にとるよう教示した。開発したシステムを用いてBFBを行う日は実験装置のLEDの色が赤色になり始めたら、深呼吸をしてもらい、ゆっくりとした呼吸を意識し、リラックスするよう教示した。BFBを行わない日はLEDは消灯した状態でLP面積のみ計測を行った。

4.2 POMS2を用いた気分感情状態の評価

POMS2は、「AH:怒り-敵意」、「CB:混乱-当惑」、「DD:抑うつ-落ち込み」、「FI:疲労-無気力」、「TA:緊張-不安」、「VA:活気-活力」、「F:友好」の7つの因子を計測し、この7つの尺度からTMD(Total Mood Disturbance)得点を求めることで、総合的な気分状態を評価することが可能である¹⁰⁾。

4.3 唾液アミラーゼ量によるストレス評価

唾液アミラーゼ量はストレスの評価指標として使用されており、唾液アミラーゼ量が多いほどストレスを抱えていることが知られている⁹⁾。測定結果は0-30 KIU/Lがストレスなし、31-45 KIU/Lは低ストレス状態、46-60 KIU/Lはストレス状態、61KIU/L以上は高ストレス状態という結果にわけられる⁹⁾。

4.4 脳血流によるストレス評価

脳血流の測定には、近赤外分光法(NIRS: Near-infrared spectroscopy)を用いてストレス状態の測定を行う。IshikawaらはNIRSを用いた脳活動計測を行い、脳の活動の左右差からLIR (Laterality Index at Rest)という特徴量を算出することで、ストレスの定量評価を行える可能性を示した¹¹⁾。ストレスを感じた人は左側の前頭前野が右側より優位に活動することを報告している。LIRは(3)式より求めることができる。

$$LIR = \frac{\sum_t((\Delta oxyR_t - \Delta oxyR_{min}) - (\Delta oxyL_t - \Delta oxyL_{min}))}{\sum_t((\Delta oxyR_t - \Delta oxyR_{min}) + (\Delta oxyL_t - \Delta oxyL_{min}))} \quad (3)$$

$\Delta oxyR_{min}$, $\Delta oxyL_{min}$ はそれぞれの右外側部、左外側部の安静時に計測した全てのデータにおける最小値である。LIRが正の値の場合は、右前頭前野のoxy-Hbの増加が左前頭前野より大きいことを示し、負の値の場合は逆の関係にあることを示す。LIRが正の値の場合、脳の活動は右優位になっており、ストレスに弱い状態を示す。LIRが負の場合、脳の活動は左優位になっており、ストレスに強い状態を示す。

9:00 - 10:00	10:00 - 15:00	15:00 - 16:00
唾液アミラーゼ計測 NIRS計測 質問紙へ回答	実験装置の使用	唾液アミラーゼ計測 NIRS計測 質問紙へ回答

Fig.5 実験デザイン

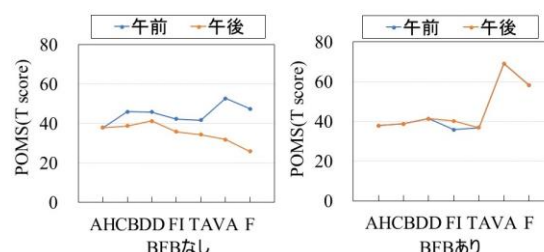


Fig.6 POMS2の比較結果

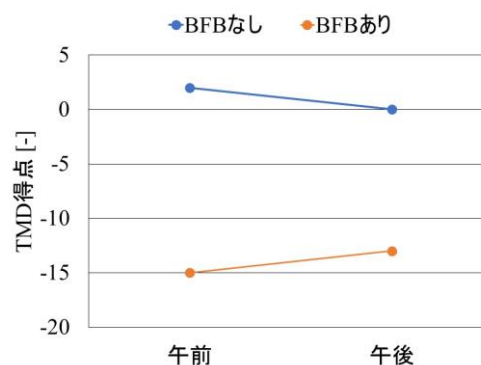


Fig.7 TMD得点の比較結果

今回の検証実験では、安静時60秒間の測定値を用いてLIRを算出する。

5. 実験結果

実験参加者4名のうち1名の結果を以下に示す。POMS2による主観的評価の結果をFig.6、TMD得点の結果をFig.7に示す。BFBありの場合、午前から午後まで同じような気分状態であったが、BFB無しの場合、「活気-活力」の値が午後になると大きく減少したことが確認できた。総合的な気分状態を表すTMD得点には、大きな変化はみられなかった。

脈波間隔のLP面積の比較結果をFig.8に示す。実験参加者が休憩を挟み、実験装置を外した時間の測定値は評価から除いた。LP面積はBFBなしと比較してBFBありの方が大きい面積を維持することができており、開発したシステムを用いてBFBを行うことでストレスが軽減できていることを確認できた。

唾液アミラーゼ量の比較結果をFig.9に示す。BFBありの日はBFBなしの日と比較して唾液アミラーゼ量の増加量が減少する傾向が確認でき

た. このことからBFBを行うことでストレスが軽減できていると考えられる.

LIRの比較結果をFig.10に示す. BFBなしは午前と午後での変化が小さいのに対し, BFBありでLIRの値が大きく減少したことから, BFBによってストレス耐性の向上を確認できた.

LP面積, 唾液アミラーゼ量, LIRにおいて開発したBFB装置を使用することでストレスを軽減できていることが確認できたことから, 生体信号によるストレス評価を用いてストレス状態を可視化することで, ストレスコントロールを行える可能性を示した. また, POMS2の主観評価でTMD得点にBFBの効果がみられなかったのに対して, 生体信号による客観評価ではストレス緩和効果がみられたことから, ストレス状態を生体信号から客観評価することで主観評価では評価できなかったストレス状態を評価できる可能性がある.

以上の結果と他の実験参加者にも同じような傾向がみられたことから開発したBFB装置を用いてストレス状態を可視化し, BFBすることでストレス緩和効果が得られる可能性がある.

6. 結言

本研究では, メンタルヘルスケアへの応用を目的とし, 小型で計測が簡易である脈波センサを用いて脈波間隔を計測することで, 普段どの程度ストレスがかかっているのか把握し, BFBするシステムの開発及び検証を行った.

検証結果として, BFBを行った際に, 唾液アミラーゼ量, LIR, RRIのLP面積においてストレスの増加量が減少する傾向がみられたことから, 開発したBFBシステムを使用することでストレス緩和効果が得られる可能性を示した.

参考文献

- 1) 平成29年度 労働安全衛生調査(実態検査)結果の概況, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/h29-46-50b.html>
- 2) 平成29年度 民間雇用労働者の過労死等の労災補償状況 (報道発表資料), <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000187355.html>
- 3) 松本, 森, 他, 心拍揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究, ライフサポート, Vol.22, No.3, pp.62-69, (2010).
- 4) 森口, アレキシサイミアと感情認知の脳機能画像解析-社会性の観点から, 認知神経科学, Vol.13, No.1, (2011)
- 5) 佐々木, 中野, 他, 脈拍によるストレス評価に関する検討, 計測自動制御学会 第244回研究集会, pp.1-5, (2008).

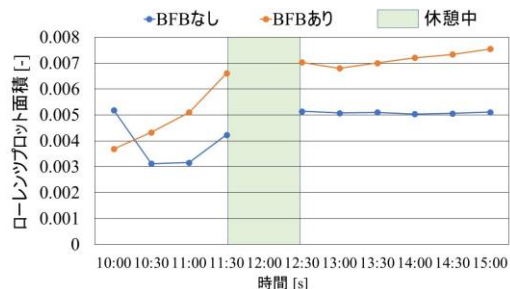


Fig.8 ローレンツプロット面積の比較結果

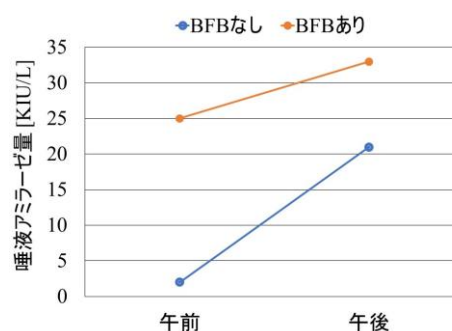


Fig.9 唾液アミラーゼ量の比較結果

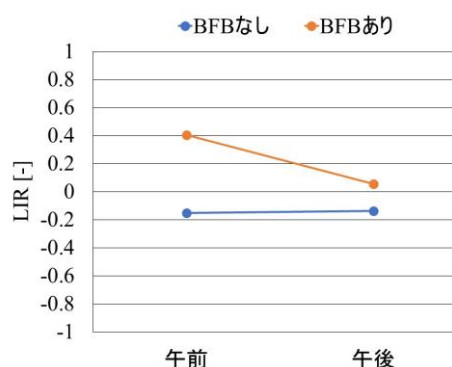


Fig.10 LIRの比較結果

- 6) 石田, 鹿島, 心拍変動を用いた車いす使用者のストレス計測に関する研究;福祉のまちづくり研究, Vol.18, No.2, pp.1-9, (2016).
- 7) 辻, 柳澤, 綱島, 心拍情報を用いたヘルスケアロボットの開発,第51回日本大学生産工学部学術講演会, pp.942-943, (2018).
- 8) 下村, 金森, 他, 教育現場でのストレスマーカーとしての唾液アミラーゼと唾液コルチゾール測定の有用性について, 生物試料分析, Vol.33, No.3, pp.247-254, (2010).
- 9) ニプロ 唾液アミラーゼモニター:<http://www.kdd1.com/keiki/053/cocorometer.html>
- 10) 横山: POMS 短縮版手引きと事例解説; 金子書房, (2006).
- 11) Wakana Ishikawa et al. "New Method of Analysing NIRS Data from Prefrontal Cortex at Rest",The International Society of Oxygen Transport to Tissue (ISOTT), (2012).