

心拍変動を利用した日常生活下のストレス値測定手法の検証

久保優希^{†1} 小倉加奈代^{†1}

概要: 現代社会ではストレス問題が深刻化しており、多くの人がストレスを抱えている。ストレスの可視化、提示を行ないストレスへ意識を持たせることによって、ストレス緩和効果が期待できるとされているが、特定の動作中のストレス着目した研究が多く、日常生活の中で感じているストレスに着目した研究は少ない。本研究では、日常生活においてストレスのモニタリング実験を実施し、生体信号の一つである心拍変動を用いたストレス値と、被験者が主観的に感じているストレスや日常での出来事との関係について調査する。その前段階として、ストレス負荷を強制的に与え、ストレス値の相対的变化を確認する予備実験を行なった。その結果、安静座位状態時とストレス負荷状態時に感じているストレス値を比較することで相対的な変化について有効性が確認できた。

1. はじめに

現代社会ではストレス問題が深刻化しており、多くの人がストレスを抱えている。ストレスや精神的負担の解決案の一つとしてカウンセリングや親密な関係である人物からのサポートを受けることがあげられる。しかし、カウンセリングには時間的・金銭的制約があり、カウンセリングを受けることに抵抗を感じる人も少なくない。さらに、ストレスの内容、種類には様々なものがあり、どのような状況において、第三者によるどのようなサポートが有効なのか完全に解明されているわけではない。以上のことから、カウンセラーだけでなくストレスを抱えている人にとって親密な関係である人物であっても、適切なタイミングでストレス緩和に有効なサポートを行うことは難しく、効果的なストレス発散ができていない人は多いと考えられる。

ストレスの可視化、提示によりストレスへ意識を持たせることがストレス緩和に有効である[1]ことから、生体信号を用いたストレス評価に関する研究が行われている。しかし、それらは睡眠や歩行、VDT 機器による作業など、特定の動作中に感じているストレスに着目した研究が多く、ストレスを抱えている人の状態と日常生活の関係に着目した研究は少ない。

本研究では、ストレスを抱えている人の状態と日常生活の関係を明らかにするために、日常生活におけるストレスモニタリングを実施し、その間の生体信号を用いたストレス値、被験者が主観的に感じているストレスと日常での出来事との関係性を調査・検討する。

2. ストレス状況計測手法

日常生活で外界からの刺激(ストレッサー)を受けることによって生体内のバランスが崩れた際には、生体の防御・回復反応であるストレス応答が生じる。このストレス応答が行われることで、脳波や心拍変動などの生体信号や、血

液・尿・唾液中といった生理活性物質に変化が生じることから、主観的ストレス評価法として、生理学的評価法や生化学的評価法がストレス研究やストレス診断などで利用されている[2]。本研究では、このうち、心拍変動を記録し、ストレスレベルを測定する機能を搭載した腕時計ウェアラブルデバイスが普及していることから、現在浸透しつつあるとされる心拍変動を用いたストレス評価方法を利用する。

心拍変動における R 波とは心臓の心室が急激に収縮して血液を心臓から送り出すときに発生する電気信号のことである。また、心電図において最も高いピークのことを示している。その R 波と次の R 波の間隔[ms]を RRI(R-R Interval)といい[3]、この RRI の時系列データのゆらぎを心拍変動という。この心拍変動には、自律神経を構成する交感神経、副交感神経のバランスが反映される。これらの神経のバランスを測定するために、心拍変動の周波数解析を行なう手法がよく知られている[4]。解析した周波数成分のうち、0.15 ~ 0.4[Hz] の高周波成分である HF(High Frequency component)は副交感神経、0.04 ~ 0.15[Hz]までの低周波成分である LF(Low Frequency component)は副交感神経と交感神経両方の活性度を表している。これらの比 LF/HF を用いて交感神経の活性度を調べることで、ユーザのストレスを測定することが可能である[1]。

3. 関連研究

松本ら[4]は、心拍変動を用いたストレス評価について、家庭での利用を想定し、長期間にわたって測定を行うことで、そのときの評価結果と日常の出来事や被験者の状況との関係を確認した。実験では、約 6 ヶ月間にわたって、1 日 2 回、一定の時刻に心拍変動を測定し、その日の出来事や気分、体調などの記録をモニタリングした。この実験により、ストレス評価値と生活状況の関連を示唆する結果が示された。しかし、この長期モニタリング実験の被験者は 1 名であり、再現性の確認がされていない。また、日常生活

^{†1} 岩手県立大学

での利用を想定する場合、被験者の状態とストレス値の関係性についてさらに詳細な確認が必要であると考えられる。

新小田ら[5]は、生活行動や睡眠・覚醒パターンの研究知見を、加速度を長時間にわたって測定可能なアクチグラフへの適用を目指すために、走行、歩行、食事、読書、立位、仰臥といった全7つの基本動作に着目し、アクチグラフと心拍数との関連性の検証実験を行なった。その結果、アクチグラフのカウント数と心拍数との間で高い相関関係が認められ、日常で行われる様々な動作と心拍数には強い関係があることが明らかになった。しかし、被験者の精神的状態については考慮されておらず、被験者の精神状態が心拍数やアクチグラフにどのような影響を及ぼすのかは明らかにされていない。

4. 予備実験：安静状態とストレス負荷状態におけるストレス値 LF/HF の比較

4.1 実験概要

2 節で述べたストレス状況測定方法の有効性検証のために、予備実験として安静状態とストレス負荷状態におけるストレス値 LF/HF の比較を行なった。本節以下、実験の方法と手順、結果と考察について述べる。

4.2 実験方法

20 代女性 1 名に対し、合計 75 分間の心拍計測を行った。心拍取得用ウェアラブルデバイスには、GARMIN 社 HRM-Dual を用いた。また、測定データは MathWorks 社製数値解析ソフトウェア MATLAB2020a を用いて解析した。

4.3 周波数解析

HRM-Dual と iPhone のペアリングを行なうことで、iPhone のヘルスケアアプリに心拍数データの書き込みが行われる。本実験では、実験終了後に iPhone7 に書き込まれた心拍数データを PC に送信し、PC を用いてウェブレット変換による周波数解析を行なうことで、ストレス値 LF/HF の算出を行なった。なお、周波数解析後、5 分毎にストレス値 LF/HF の中央値を算出し、その値から 3 倍を超えて離れている値を局所外れ値として検出・置き換えた。

4.4 実験手順

実験手順は以下のとおりである。

- (1) 被験者は心拍取得用ウェアラブルデバイスを装着する
- (2) 開始後 0~1800[s]間、安静座位状態を保持する
- (3) 開始後 1800~2700[s]間、ストレス負荷を与える
(以下 Stress と表記)
- (4) 開始後 2700~4500[s]間、安静座位状態を保持する
- (5) 実験終了後、実験実施日について、日常での出来事、被験者の状況について記述式アンケートで記録する

ストレス負荷として、パソコンを利用し 2~3 桁の加算減算暗算または 1~3 桁*1~2 桁の乗算暗算を行う計算課題を繰り返し行わせた。また、安静座位状態時(2)(4)について、(2)は実験開始直後であることから、十分にリラックスした

状態で実験に臨めていない可能性が考えられる。また、二木[6]は成功・達成感・充足感をストレスとして分類している。このことから(4)開始時は、計算負荷課題を終えた達成感が被験者にとってストレスとなり LH/HF の値が上昇する可能性が考えられる。これらのことを踏まえ、安静状態時(2)(4)において状態の安定を考慮して、(2)では 900~1800[s](以下 Relax1 と表記)、(4)では 3600~4500[s](以下 Relax2 と表記)にあたる心拍変動のデータを周波数解析に用いることとした。

また、安静座位状態時には、リラックス効果を高める目的で、森下ら[7]の研究で生理学的ストレス緩和効果があると示唆されていたクラシック音楽の傾聴を行わせた。

4.5 予備実験結果

表 1 各状態における LF/HF の分布

	平均値	最大値	最小値	中央値
Relax1	3.4908	40.1993	0.2056	2.1462
Stress	5.3240	41.0971	0.3276	3.8137
Relax2	3.3559	27.3593	0.1680	2.0517

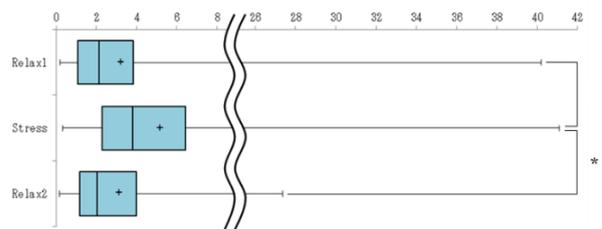


図 1 各状態における LF/HF の箱ひげ図

各状態の平均値を表 1 および図 1 に示す。図 1 より、ストレス負荷時と安静状態における LF/HF の差がわかる。さらに、算出された LF/HF の値について、1 分毎の LF/HF の平均を各状態毎に算出し、t 検定を行なった。その結果、Relax1 と Stress 間で有意傾向($p < 0.1$)、Relax2 と Stress 間で有意差($p < 0.05$)が認められた。

また、図 2、図 3、図 4 には各状態において LF/HF の値の時間推移を示す。表 1 から見てとれるように、各状態で LF/HF の値が平均値と比較して非常に高くなる場面はあるものの、ストレス負荷前後の安静座位状態と比較して、特に Stress では LF/HF の値が大きくなる場面が多く、その際の LF/HF の値も大きい傾向にある。このことから、Stress にて LF/HF の値が高くなっており、ストレス状態になっていることがわかる。

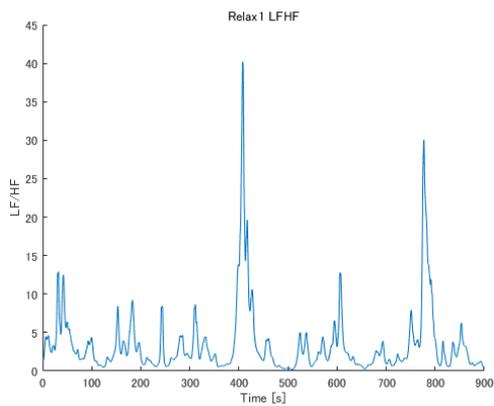


図 2 Relax1 における LF/HF の推移

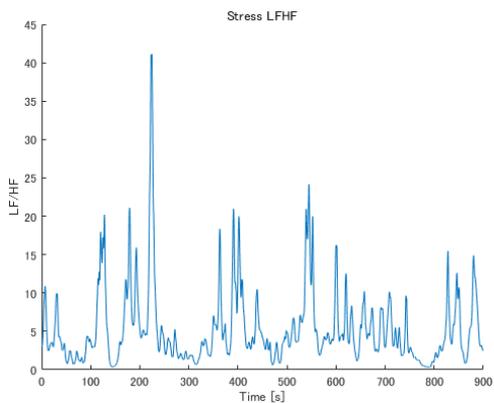


図 3 Stress における LF/HF の推移

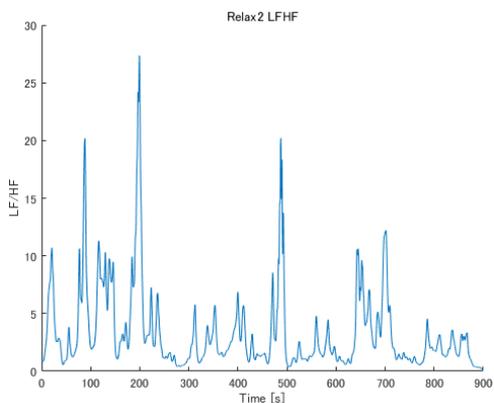


図 4 Relax2 における LF/HF の推移

4.6 実験結果考察

ここで、図 2 に示される Relax1 における LF/HF の時間推移について注目する。400[s]付近と 700[s]後半で値が急激に高くなっている箇所がある。そこで、実験後に記述式で記録していたアンケートを確認したところ、「安静座位状態が長く続いたため、後半で体勢を崩した」と記入されていた。新小田ら[5]の実験により、仰臥、食事、走行などといった動作を維持した際のアクチグラフカウント数と心拍数の間に有意な正の相関関係が得られることがわかっている。

これにより、些細な動作を行なうことや体制の変化によって心拍数が変動することが明らかになっていることから、Relax1 の 400[s]付近や他の状態で LF/HF が急激に上昇している点については、被験者が体勢を変える、足を組むなどの動作を行なった可能性が考えられる。このことから、表 1、図 1 について Relax1 と Stress の最大値に大きな差異がないのは、被験者の動作の影響と考えられる。

また、これについて、Relax2 においても被験者の動作がリラックス効果に影響を及ぼしていると考えられる。図 4 に示される Relax2 における LF/HF の時間推移について着目すると、表 1 から Relax2 は他の状態と比較し、代表値が他の状態と比べて低い傾向にある。しかし、図 4 の LF/HF の推移を見ると、0~200[s]周辺までは LF/HF の値が高い傾向にある。ここで、225[s]ごとに平均値を算出したものを表 2 に示した。この表によると 0~225[s]において、LF/HF の値が高くなっているのがわかる。これについて、アンケートを確認すると、「実験が長く感じられて苦痛だった」と記入があった。また、200[s]付近で、Relax2 における最大値が測定された後は、500[s]前で再び高い値が測定されているものの、最大値計測前と比べて全体的に低い値となっている。虫明ら[8]の研究において、児童合唱団で実施しているウォームアップについて考察がされている。考察の中で、リラックスの観点から、「呼吸」と「姿勢」を大切にされた指導が行われており、特に、頭、首、肩、腕等の上部部分のストレッチに重点が置かれていると述べている。このことから、0~200[s]で長時間にわたる実験のストレスにより LF/HF の平均値が高くなったが、200[s]付近で被験者が、姿勢を正す、首を鳴らすなどの動作を行なったことが推測できる。これにより、一時的に LF/HF の値が上昇したものの、この動作後は再びリラックスができたため、225[s]以降の LF/HF の平均値は低くなったと考えられる。これについて、図 2、図 3 において示されている Relax1, Stress についても、最大値計測後は、LF/HF の値が低い値となっていることから、同様のことが考えられる。

次に、図 3 に示される Stress における LF/HF の時間推移について注目する。250~300[s]付近、750~800[s]付近など、他の箇所と比べ、LF/HF の値が小さくなっている箇所がある。これについて、アンケートを確認すると、「途中で簡単な乗算が続いたことと、連続で正解できていたことから、緊張が途中で切れる場面があった」と記載されていた。このことから、Stress において LF/HF の値が大きく減少している箇所については、計算負荷課題で演算子、計算する値をランダムで決定していたことの影響が考えられる。これについては、ストレス負荷課題によって均一な負荷を与えつつ、慣れを防止するために、計算式生成の過程に工夫が必要である。

表 2 Relax2 における 225[s]毎の LF/HF の平均値

	Relax2
0～225[s]	5.7256
225～450[s]	2.2205
450～675[s]	3.1661
675～900[s]	2.3121

以上のことを踏まえ、ストレス負荷状態を強制的に与えるといった予備実験を行なったことにより、安静座位状態時とストレス負荷状態時に感じているストレス値を比較することで相対的な変化について概ね有効性を確認することができた。

5. おわりに

本研究は、日常生活中に感じているストレスに着目し、生体信号である心拍変動を用いたストレス値と、被験者が主観的に感じているストレスや日常での出来事との関係を明らかにすることを目標とし、その前段階として、ストレス負荷を強制的に与える実験を行なった。この際にストレス値として、心拍変動のデータに対し、ウェーブレット変換による周波数解析を用いて LF/HF を算出し、安静座位状態時とストレス負荷状態時のストレス値を比較することで、相対的な変化について有効性を確認した。

この結果を踏まえ、今後、日常生活における被験者の状態や日々の出来事と心拍変動を用いたストレス値の詳細な関係の調査を目的とし、被験者 1 名に対して 2 ヶ月間の心拍測定と被験者の状態の記録を行なう長期本実験を実施する。また、再現性の検証のため、被験者 5 名に対しても同様に 2 週間の短期本実験を実施予定である。

また、本研究の最終目標は、心拍変動を用いたストレス値を利用したストレス緩和プロダクトの開発である。これについて、現在メンタルヘルス向上の手段として、ロボット・セラピーが注目を浴びていることから、ストレス緩和として一様な効果を得ることができるセラピー・ロボットの開発を想定している。

参考文献

- [1] 佐久間大輝, 神田尚子, 吉見真聡, 吉永努, 入江英嗣, 座位状態での心拍測定を用いたリアルタイムなストレス緩和システム, マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム論文集, pp.1188-1195, 2013.
- [2] 田中喜秀, 脇田慎一, ストレスと疲労のバイオメーカー, 日薬理誌, Vol.137, pp.185-188, 2011.
- [3] 藤原幸一: ヘルスモニタリングのための心拍変動解析, システム/制御/情報, Vol.16, No.9, pp.381-386, 2017.
- [4] 松本佳昭, 森信彰, 三田尻涼, 江鐘偉, 心拍揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究: パターン認識による評価法の考察, ライフサポート, Vol.24, No.2, 62-69, 2012.
- [5] 新小田春美, 朴盈満, 松本一弥, 手首アクチグラフからみた人の動作と睡眠・覚醒判定に関する基礎的検討, 労働科学, No.74, Vol.7, pp.255-265, 1998.
- [6] 二木鋭雄, 良いストレスと悪いストレス, 日薬理誌,

Vol.129, pp.76-79, 2007.

- [7] 森下晶代, 安静臥床を強いられた健康な女子学生のストレス反応と音楽の効果, 日本看護科学会誌, Vol.23, No.1, pp.36-45, 2003.
- [8] 虫明真砂子, 黒井かおり, 合唱のウォームアップに関する考察Ⅱ—身体のリラックスの視点から, 岡山大学大学院教育学研究科研究集録, Vol.153, pp.59-69, 2013.