

## 低周波ノイズ音と感情喚起画像呈示による生理応答と主観評価の相関

### Correlations between subjective ratings and biological responses to emotion-eliciting pictures with low-frequency noise

山下 政司\*      相川 武司\*      横山 徹\*  
北間 正崇\*\*      菅原 俊継\*

Masaji Yamashita, Takeshi Aikawa, Toru Yokoyama,  
Masataka Kitama and Toshitsugu Sugawara

#### Abstract

To identify an objective evaluation index for one of the basic emotions for 3-dimensional model of emotion, the correlations between subjective ratings and biological responses to emotion-eliciting pictures with low-frequency noise were investigated. Nineteen young, male adults participated in the experiment. Images that makes subjects feel the cruelty of war and 63 Hz octave band noise were presented simultaneously to the subjects for 90 s. Continuous blood pressure, electrocardiogram, photo plethysmography, and respiration were measured and analyzed. As a result, subjective ratings to the stimulus showed unpleasant and tense. The responses of systolic blood pressure (SBP), pulse pressure (PP), pulse wave amplitude (PWA) changed significantly. However, the responses of heart rate, heart rate variability components, and others did not change. Further, although SBP, PP, and PWA, which correspond to the vasoconstriction of an arteriole, correlated significantly with the subjective tension scores, these parameters did not correlate with the displeasure scores. The responses of these biological parameters were due to an activation of skin sympathetic nerve activity. Therefore, physiological parameters based on skin sympathetic nerve activity should represent an objective evaluation index for tension.

#### 1. はじめに

社会の成熟と共に様々な状況で人の感情を意識するようになり、感情と身体との関係が多面で研究され、その知識を応用しようとしている<sup>(1-3)</sup>。

例えばヒトの緊張状態を客観的にとらえることは、音楽・ビデオ・ゲームコンテンツの制作などにおいて重要である。また、医療行為に際しての患者の心理状態把握の手段、あるいはあがり症の治療効果評価やスポーツ医学での活用など、応用範囲は広い。

しかし時々刻々変化するヒトの感情状態を把握するのは容易ではなく、質問紙を通して主観評価をすることが多いが、客観性に問題が残るので、生理的な指標を考案できれば評価の即時性と共に客観

性を保つことができると考えられる。

感情の生理応答として自律神経応答が着目され、100年以上前から研究されているが、感情と自律神経応答との関係は未だに科学的コンセンサスが成立していない<sup>(4)</sup>ようである。

筆者等はこれまで感情の客観的評価を目指し、快—不快、緊張—弛緩、興奮—鎮静を基軸感情とした感情の3軸モデル<sup>(5,6)</sup>に基づき、これに対応する生理モデルについていくつかの研究<sup>(7-10)</sup>を行ってきており、主観的興奮度に線形応答性を持つ興奮の生理指標として呼吸性洞性不整脈と呼吸波の位相差を考慮した最小相互相関係数 $\rho_{\min}$ <sup>(8,10)</sup>を提案してきたが、様々な感情を評価する上では、快—不快、緊張—弛緩に対応する指標が必要となる。

\* 北海道科学大学保健医療学部臨床工学科

\*\* 北海道科学大学保健医療学部診療放射線学科

ところが現段階ではそれら基軸感情の主観的評価値に適切に対応する生理的指標を報告した例は見当たらない。S. D. Kreibig<sup>(4)</sup>のレビューによれば、ネガティブ感情の枠組みで恐怖、悲しみ、怒り等の個別感情が数多く報告されているが、例えば嫌悪、怒り、恐怖に共通する基軸感情としての不快あるいは緊張そのものについての報告はない。これは、快—不快、覚醒—睡眠を軸とする2次元的なRussell<sup>(11)</sup>の円環モデルの考えにより、感情価としての快、不快をポジティブ感情、ネガティブ感情として、その中の個別感情の自律神経応答を扱う研究が非常に多いことを示している。しかし、円環モデル内で示される各感情の位置は非常に接近しており、自律神経応答をもって判別するのは非常に困難である。我々は3軸モデルを利用することによって各感情の空間座標値を分散化させることができると考え、3軸モデルの基軸感情に対応する生理指標を探索している。

本論文では、基軸感情である不快あるいは緊張の生理指標を見出す足掛かりとして、生理的に理解しやすい自律神経応答が見られるストレス刺激を用い、その特徴を心理的・生理的側面から解析・検討することとした。具体的には、不快あるいは緊張状態を喚起する刺激として、静止画像および騒音問題などで注目される低周波ノイズ音を同時呈示して実験を行い、被験者の様々な生理応答の特徴を明らかにするとともに、同時に評価した主観評価値との相関関係について調査したので報告する。

## 2. 実験方法

実験は北海道工業大学（現北海道科学大学）倫理委員会の承認（第2号）を経て実施された。

インフォームドコンセントを受け、書面で承諾を得た18～22歳の健常男性19人の協力を得た。実験は午後2時から6時の間で行い、昼食後2時間以上空けるよう指示した。また、実験は室温25℃、湿度60%のシールドルーム内で行った。計測項目には自律神経活動に関連する一般的な生理パラメータを選び、被験者には第Ⅱ誘導法で心電計、左手首に非観血式連続血圧計（日本コーリン JENTOW7700）、右手指示指に光電脈波計、外鼻孔部にサーミスタ呼吸計をそれぞれ装着し、計測データをデータレコーダに収録後、コンピュータでオフライン処理を行った。

実験室では、被験者は安楽椅子に座り、前方のスクリーンに被験者後方から映像を投影しながら両

側のスピーカから低周波ノイズ音を呈示した。低周波ノイズ音源に63Hzのオクターブ・バンド・ノイズ（Sony Techno Fair Anniversary Album）を用いて55dBで呈示し、映像はノイズ音と同様に不快あるいは緊張性の感情を誘導するため戦争にまつわる残虐さを想像させる画像（怪我人、戦車と人、泣き叫ぶ人等）を約7秒に1枚のペースで12枚呈示した。

ここで、一般に生理応答は数秒から数十秒かかるものがあり、後述する解析評価には20秒間平均値あるいは90秒間平均値を使用するので、感情喚起刺激としてはある程度定常的なものが求められる。しかし、同じ刺激には“慣れ”あるいは“飽き”の問題があり、常に新たな刺激が必要となるので、ノイズ音単独では感情喚起力が弱い点も考慮して上記刺激呈示法を用いることにした。

実験プロトコルをFig. 1に示す。15分間の馴化安静後に被験者の計測を行った。計測セッション開始最初の2分間は前安静状態とし、次の1分30秒間で刺激を提示した。さらに、1分30秒間の後安静を取って終了とした。全区間の計測データは200Hzサンプリングで取得した。その後、刺激時の心理状態について、快—不快、興奮—鎮静、緊張—弛緩について質問紙に回答させた。質問紙は、例えば負方向を不快、中間地点を0、正方向を快として、-5から5までの計11段階で評価するもの（正負別5段階主観評価）を用いた。

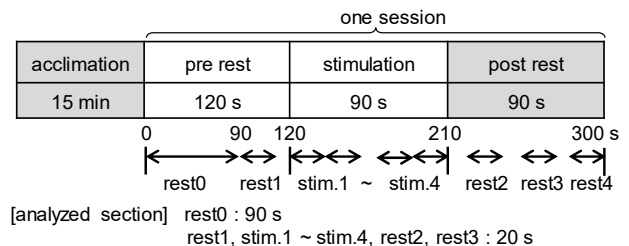


Fig. 1 実験プロトコルと解析区間

## 3. 解析

解析区間（Fig. 1）は安静最初の90秒間をrest 0とし、それ以降は20秒ごとにrest 1（90–110秒）、stim. 1（120–140秒）、stim. 2（140–160秒）、stim. 3（170–190秒）、stim. 4（190–210秒）、rest 2（220–240秒）、rest 3（250–270秒）、rest 4（280–300秒）とした。

解析方法は、計測した各生体信号を以下のように処理し、Table 1に計測生理量と解析パラメータの関係を示す。心電図はR波を検出して心拍変動（HRV）

とし、連続血圧データから収縮期血圧 (SBP)、拡張期血圧 (DBP)、脈圧 (PP) を求めた。さらに、SBP、DBP、HRV のゆらぎの内、Mayer 波成分 (0.04-0.15 Hz)、RSA 成分 (0.15-0.4 Hz) を FFT 法によるバンドパスフィルタ (BPF) で導出したのち各解析区間パワーを求めた。ここで、Mayer 波は圧受容器反射を介した血圧制御の結果、迷走神経による交感神経活動抑制のリズムとして SBP、DBP、HRV の時系列信号上に現れるものであり、RSA 成分は呼吸性洞性不整脈 (RSA) のことで、呼吸中枢からの直接入力や肺泡伸展受容器などからの求心性信号により迷走神経刺激性入力の gating による結果として、洞調律を変化させて HRV 上に現れる成分である<sup>(12)</sup>。しかし、今回の実験では評価に必要な呼吸統制もしておらず、これらの解析方法も妥当性に問題があるので、あくまで参考値として評価する。さらに、光電脈波から脈波振幅 (PWA)、呼吸波と心拍変動 RSA 成分との最小相互相関係数 ( $\rho_{\min}$ <sup>(8,10)</sup>) を求めて解析した。

次に、SBP などの各解析データは個人差の統制を目的に、被験者毎に計測開始最初の 90 秒間の安静区間 (rest 0) 平均値で各刺激区間平均値を除して規格化して評価した。また、脈波振幅 (PWA) と収縮期血圧 (SBP) の応答変化はよく類似しているため、安静時を含めたセッション全体にわたる応答の相互相関係数を求め、 $\rho$  (PWA-SBP) とした。

統計解析には多重比較として Bonferroni 法/タイムヘイン T2 法を用い、主観評価との相関にはスピアマンの順位相関係数を用いて無相関検定を行った。

Table 1 計測生理量と解析パラメータ

計測生理量	解析パラメータ
心電図 (ECG)	心拍率 (HR) 心拍変動 (HRV) ... Mayer波, RSA
連続血圧 (BP)	収縮期血圧 (SBP) ... Mayer波, RSA 拡張期血圧 (DBP) ... Mayer波, RSA 脈圧 (PP)
呼吸波 (RW)	呼吸波とRSAの最小相互相関係数 $\rho_{\min}$
脈波 (Pulse)	脈波振幅 (PWA)
	PWAとSBPの相互相関係数 $\rho$ (PWA-SBP)

## 4. 結果

### 4.1 質問紙

刺激に対する主観評価は、快—不快等の各基軸感情間に相関が無く、快—不快が  $-2.26 \pm 1.79$  (平均値  $\pm$  標準偏差)、興奮—鎮静が  $0.68 \pm 1.70$ 、緊張—弛

緩が  $1.37 \pm 1.21$  で、軽度の不快と緊張を感じ、個人差も見られる結果であった。本研究で目的とする不快あるいは緊張の主観評価との相関を見る上では適度のばらつきも必要になるので、本研究にとっては適当な刺激であったと考えられる。

### 4.2 生理パラメータ

Fig. 2 に生理応答の一例を示す。安静時に比べて刺激区間ではそれぞれ特徴的な変動をすることがわかる。通常、刺激呈示直後は注意効果などにより、2~10秒程度の一過性の応答が見られるが、Fig. 2 では各パラメータの変動は 60 秒以上続いており、単純な刺激呈示効果ではなく、刺激に影響を受けた生理応答であることが分かる。

Fig. 3 に SBP の解析結果を示す。刺激後の stim. 2 にむけて有意に上昇する ( $p < 0.05$ ) が、stim. 4 では安静レベル近くまで戻ってしまう結果となった。また、SBP の Mayer 波に有意な変化はないが、刺激中は stim. 3 まで低下傾向を示した。さらに、SBP に見られる RSA に変化はなかった。

DBP も SBP 同様に上昇傾向を示すが、変化が弱く安静時に比べて有意な違いはない。また、DBP の Mayer 波にも変化はなかった。さらに、DBP に見られる RSA に有意な変化はないが、stim. 3, stim. 4 で増加傾向を示した。

Fig. 4 に PP の解析結果を示す。stim. 1 から上昇し、stim. 2 で安静時に比べて有意な上昇 ( $p < 0.05$ ) を示した。

Fig. 5 に PWA の解析結果を示す。stim. 2 で PWA が有意に減少し ( $p < 0.05$ )、stim. 3 から元のレベルに戻る傾向を示した。

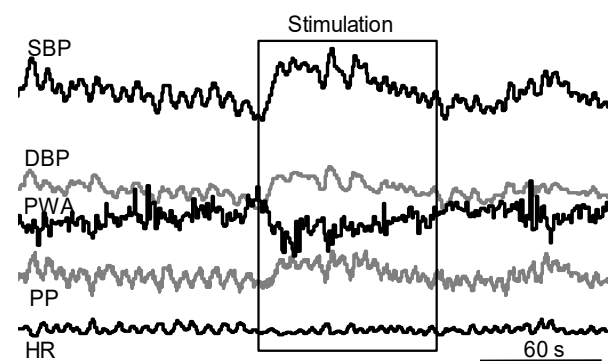


Fig. 2 刺激による生理応答例

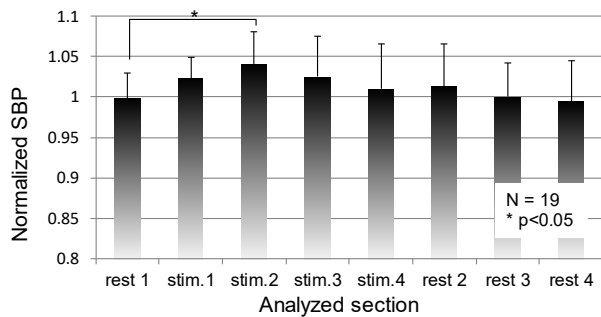


Fig. 3 規格化した収縮期血圧 (SBP) の変化

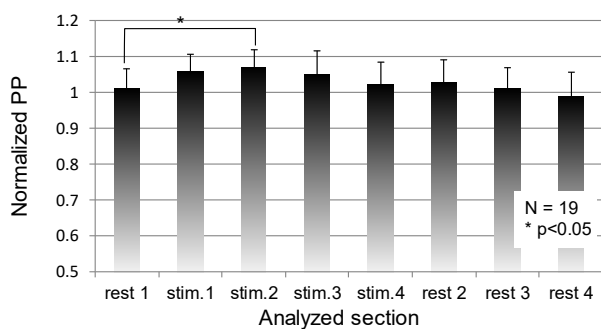


Fig. 4 規格化した脈圧 (PP) の変化

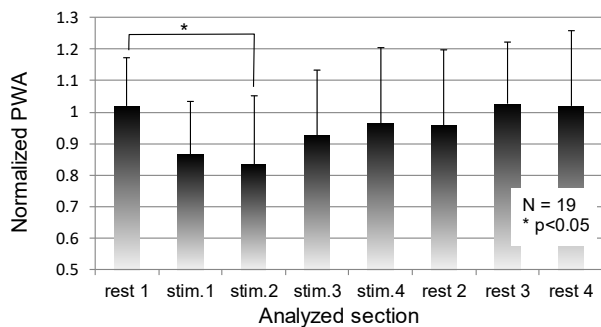


Fig. 5 規格化した脈波振幅 (PWA) の変化

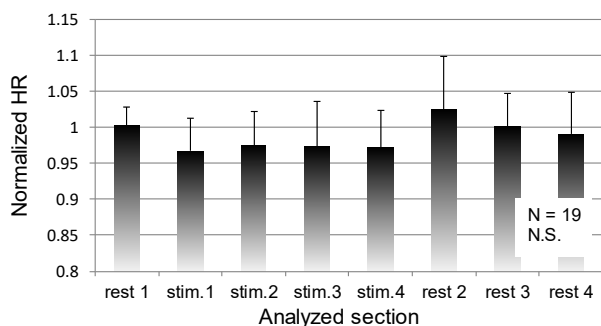


Fig. 6 規格化した心拍率 (HR) の変化

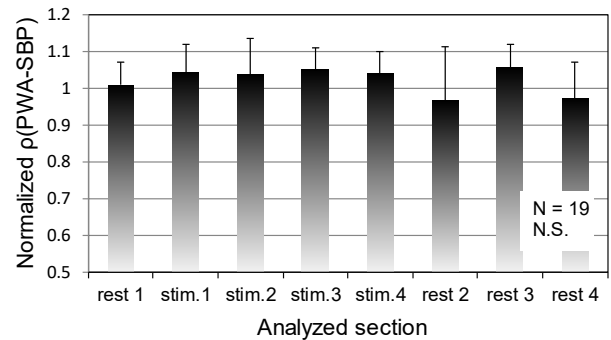
Fig. 7 規格化した  $\rho$  (PWA-SBP) の変化

Fig. 6 に HR の結果を示す. 有意差は無いが, 刺激中は一貫して低下傾向を示した. また, HRV に見られる Mayer 波に有意な変化はないが, 刺激中は一貫して低下傾向を示した. さらに, HRV に見られる RSA に有意な変化はないが, stim. 2 から刺激後まで一貫して増加傾向を示した.

$\rho_{min}$  については有意な変化はないが, stim. 2 以降安静時まで一貫して増加傾向を示した. さらに, Fig. 7 に  $\rho$  (PWA-SBP) の結果を示す. 有意な変化はないが, 刺激中は一貫して増加傾向を示した.

#### 4.3 質問紙との相関

実験で用いた刺激は主に不快・緊張を示すものであったが, 質問紙による主観的不快度と相関する生理パラメータは見つからなかった. しかし, 主観的緊張度との相関はいくつかの生理パラメータで見られたので, Fig. 8~Fig. 12 に示す. グラフ縦軸の値は規格化生理量の刺激区間平均値を示す. 血圧に関しては, SBP, DBP, PP のすべてが相関した. PWA および相関係数  $\rho$  (PWA-SBP) についても主観的緊張度と相関することがわかった.

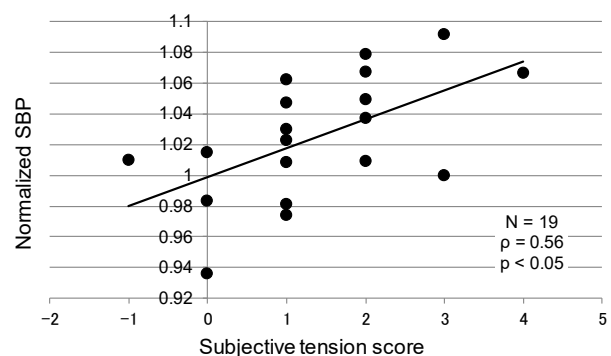


Fig. 8 主観的緊張スコアと規格化収縮期血圧 (SBP) の相関

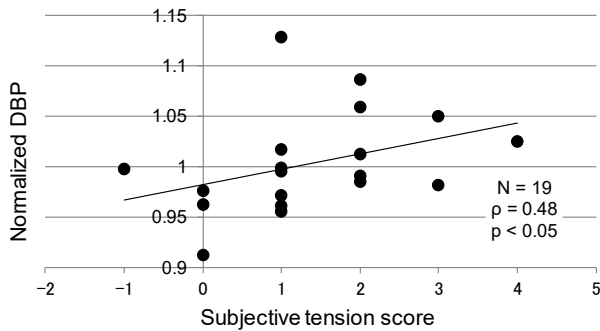


Fig. 9 主観的緊張スコアと規格化拡張期血圧 (DBP) の相関

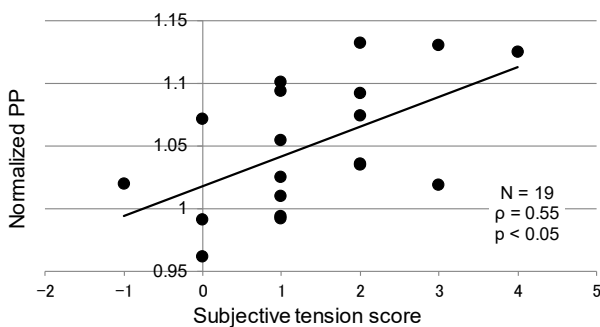


Fig. 10 主観的緊張スコアと規格化脈圧 (PP) の相関

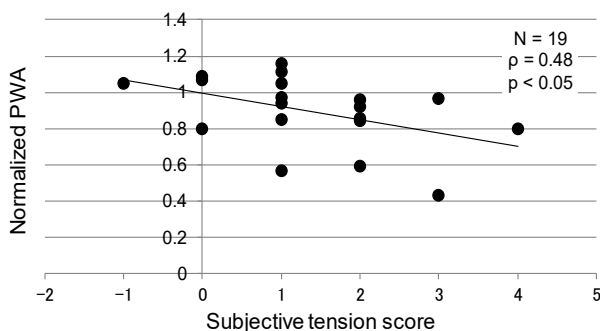


Fig. 11 主観的緊張スコアと規格化脈波振幅 (PWA) の相関

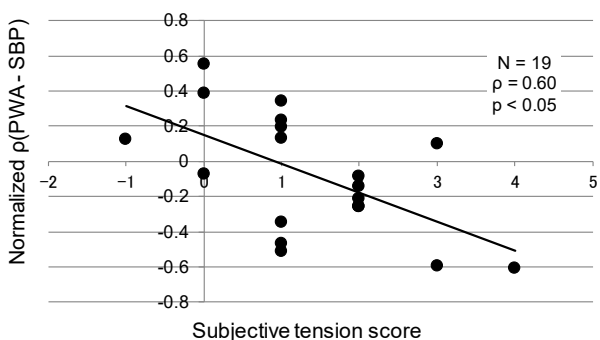


Fig. 12 主観的緊張スコアと規格化 PWA-SBP 相関係数  $\rho$  (PWA-SBP) の相関

## 5. 考察

まず、いくつかの生理応答について考察する。Fig. 3に示す SBP は、刺激により上昇した後、区間 stim. 4 では安静レベル近くまで戻ってしまう結果となったが、これは細動脈収縮を反映する PWA の結果 (Fig. 5) を見ると、stim. 3 から血管収縮が弱まる傾向を示し、SBP は PWA の影響を強く受けるので、被験者が同じような刺激に次第に慣れてしまい、緊張度が減少したことが原因と考えられる。

SBP が stim. 1 ですぐに上昇するのは、収縮期には動脈血管内血液量が多く圧力が高いため、細動脈収縮による血管抵抗の増加による血圧上昇に直結しやすいことが考えられる。それに対して DBP は stim. 1 で上昇しない。DBP は動脈内の残留血液による低い圧力によるので、血液量が少ない分、一過性の末梢血管抵抗増加の影響が圧力上昇に結び付きにくいことによると考えられる。従って、SBP, DBP 両者に影響する心拍出量の効果を除外して末梢血管抵抗の影響を捉えやすくするには、両者の影響ファクタが差分される PP が適する可能性が SBP よりも大きく反応する結果 (Fig. 4) から窺える。

Fig. 5 に示す PWA は細動脈や毛細血管に流入する血液量を反映すると考えられ、皮膚交感神経活動上昇による細動脈収縮を反映して低下する。従って、刺激時には皮膚交感神経活動上昇による細動脈収縮が起きているものと考えられる。

主観評価では、SBP, DBP, PP, PWA,  $\rho$  (PWA-SBP) が主観的緊張度と相関し、不快度と相関する生理パラメータは無かった。今回使用した刺激は、心理的評価としては不快・緊張が主であるが、不快度は調査した自律神経パラメータでは応答せず、主として精神的緊張度に対応した生理応答であったことが窺える。

PWA は血圧上昇に最も影響する総末梢抵抗を反映し、皮膚交感神経活動の上昇によって細動脈収縮を通して現れる現象なので、精神的緊張の強さに対応して皮膚交感神経活動の上昇をもたらす、結果として各血圧応答が生じたことが推定される。

文献によれば、暗算ストレスによって筋交感神経活動 (MSNA) は変化しないが、皮膚交感神経活動 (SSNA) は増加する<sup>(13, 14)</sup>。また、大音量でびっくりさせる覚醒刺激に SSNA は応答するが MSNA は応答せず、静的運動の開始時に SSNA は MSNA が活性化する前から活性化<sup>(15)</sup>などの結果から、緊張時には扁桃体や視床下部などの上位中枢から延髄吻腹外

側部 (RVLM) の皮膚血管収縮神経 (CVC) を通して、皮膚血管の収縮をもたらすことが推察される<sup>(16)</sup>。

次に、緊張時の特徴が HRV に関する解析パラメータに現れなかったことについて考えてみる。緊張刺激と考えられる裁決質問時の虚偽応答による HRV を検討した文献<sup>(17)</sup>によれば、HR は低下傾向を示し、Mayer 波成分は低下傾向、RSA 成分は増加傾向を示すが、両者は個人差があり一貫しないものであった。本研究でも同様に HR は低下傾向を示し、Mayer 波は低下傾向、RSA は増加傾向を示した。

これは、緊張により CVC を通して細動脈収縮がおこり血圧が上昇したことで圧受容器反射として迷走神経活動が強まった結果、心臓交感神経活動が抑制されて HR が減少するが、圧受容器反射は CVC に影響を及ぼさないで血管は収縮し続け、迷走神経活動が優位に活動する結果、Mayer 波に関与する心臓交感神経活動が増加する力を弱めたことによるのではないかと推察される。従って、HRV 解析では緊張による応答を捉えにくいことがわかる。

## 6. おわりに

客観的に感情の状態を評価するため、感情 3 軸モデルの基軸感情である不快あるいは緊張を喚起する刺激として低周波ノイズ音と感情喚起画像を用いて生理応答と主観的評価値の相関関係を調査した。その結果、HR や Mayer 波等については変化せず、主観的緊張度に対応して、SBP, PP, PWA など細動脈収縮に基づく脈管系の応答が対応することがわかった。これらは皮膚交感神経活動に基づくものであることから、精神的緊張の客観的評価には皮膚交感神経活動に基づく指標を検討すべきことが明らかにされた。

## 利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反関係は無い。

## 謝辞

本研究は科研費の助成を一部受けたものである。

## 参考文献

- (1) 今田寛：情動研究の最近の動向を探る，感情心理学研究，Vol. 9, No. 1, pp. 1-22, 2002.
- (2) D. Evans: The effectiveness of music as an intervention for hospital patients: a systematic review, J Advanced Nursing, Vol.37, No.1, pp.8-18, 2002.
- (3) 齋藤ゆみ，羅越，笹山哲，齋藤邦明，豊川博己：好みの単色採光による感情刺激効果—心理学のおよび生化学的指標の評価から—，日本補完代替医療学会誌，Vol. 7, No. 2, pp. 103-111, 2010.
- (4) S. D. Kreibitz: Autonomic nervous system activity in emotion: A review, Biological Psychology, 84, pp.394-421, 2010.
- (5) Wilhelm Max Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1910.
- (6) 濱治世，鈴木直人，濱保久：感情心理学への招待，サイエンス社，東京，2001.
- (7) 立崎斉，清水久恵，三澤顕次，山下政司：興奮刺激に応答する血液循環動態解析，信学技報，MBE2006-122, pp. 17-20, 2007.
- (8) 長澤竜馬，清水久恵，三澤顕次，山下政司：RSA 抽出心拍変動-呼吸波の遅れ時間を考慮した相互相関係数—興奮指標の提案—，生体医工学，Vol. 48, No. 2, pp. 181-188, 2010.
- (9) 山下政司：怒り刺激に対する血液循環応答と心拍変動解析，生体医工学，Vol. 49, No. 6, pp. 843-849, 2011.
- (10) M. Yamashita: Experimental Verification of Psychophysiological Index of Excitement, International Journal of Affective Engineering, 14(1), pp.65-71, 2015.
- (11) J. A. Russell: A circumplex model of affect, Journal of Personality and Social Psychology, 39, pp.1161-1178, 1980.
- (12) 早野順一郎：肺ガス交換と心臓迷走神経活動，呼吸性洞性不整脈を介する心肺相関，自律神経，Vol. 40, No. 3, pp. 254-259, 2003.
- (13) 宇尾野公義，入来正躬：最新自律神経学，新興医学出版社，東京，pp. 37-45, 2007.
- (14) 間野忠明，岩瀬敏，松川俊義：ニューログラムと交感神経活動，東女医大誌，Vol. 63, No. 1, pp. 75-87, 1993.
- (15) M. J. Joyner, N. Charkoudian and B. G. Wallin: Sympathetic Nervous System and Blood Pressure in Humans: Individualized patterns of regulation and their implications, Hypertension, Vol.56, pp.10-16, 2010.
- (16) 久保孝夫：高血圧症の中枢性機序に関する研究，YAKUGAKU ZASSHI, Vol. 126, No. 9, pp. 695-709, 2006.
- (17) 廣田昭久，横田賀英子，和田純一郎，渡辺昭一，高澤則美：虚偽返答時の心拍数および心拍変動，鑑識科学，Vol. 5, No. 1, pp. 33-53, 2000.