

## バイオフィードバックによる心拍変動の増大が脳波に及ぼす影響

榊原 雅人\*<sup>1)</sup>

本研究はバイオフィードバックによる心拍変動の増大が脳波に及ぼす影響を検討した。大学生14名(男性5名、女性9名)が実験に参加したが脳波測定に不備があったため、10名のデータを分析対象とした(男性4名、女性6名)。5分間の安静状態の測定に続いて、5分間のバイオフィードバック条件(心拍変動の増大を引き起こす条件)または対照条件(心拍変動の増大を生じない条件)を4回実施し、これらにおいて心電図と脳波を測定した。他の検討目的のため、これらの条件前後で反応時間課題を実施した。心拍変動の低周波成分のパワーは対照条件では変化しなかったにもかかわらずバイオフィードバック条件では有意に増大した。脳波アルファ波の相対パワー値は対照条件で漸増したがバイオフィードバック条件ではいったん減少した後に元のレベルに復帰した。これらの結果は、心拍変動バイオフィードバックの手続きが正しく実施されていたことを示唆しているが、心拍変動バイオフィードバックにおける緩徐なペース呼吸は参加者にとってやや難しい課題かもしれない。心拍変動バイオフィードバックについての今後の有効な教示のあり方について考察がなされた。  
キーワード: バイオフィードバック、心拍変動、自律神経活動、脳波

### 1. はじめに

息を吸うと心臓の鼓動は速くなり反対に息を吐くと鼓動は遅くなる。この現象は呼吸性不整脈として知られ、呼吸活動によって生ずる心拍のゆらぎを端的に表している。心拍はこの他にも血圧や体温調節の影響を受けながら常に複雑にゆらいでいる。このような心拍のゆらぎを心拍変動(heart rate variability: HRV)と呼び、これまで自律神経機能を反映した測度としてストレスや疾病との関係が検討されてきた。具体的に、心拍変動の低下(ゆらぎの減少)はさまざまな身体的、心理的ストレスへの暴露<sup>1) 2)</sup>や抑うつ、不安、PTSD<sup>3) 4)</sup>などの精神障害に関連すること、また、心疾患における重要なリスク要因<sup>5) 6)</sup>のひとつと考えられていることから、ストレスや自律神経障害に関わる脆弱性を反映している。反対に、より大きな心拍変動は若年者や有酸素能力の高い者でみられ<sup>7) 8) 9)</sup>、大うつ病やパニック障害に対して薬物療法や認知行動

療法が奏功したときには低下していたHRVが改善することが示唆されている<sup>10) 11) 12) 13)</sup>。加えて、安静時HRVの大きさは情動的な反応の制御の程度と関連することが報告されている<sup>14) 15) 16)</sup>。これらのことから、HRVの増大は身体的、心理的な適応を反映することが指摘されている<sup>17)</sup>。

このような事実を背景に、バイオフィードバックによって心拍変動を増大させる技法(heart rate variability biofeedback: 以下、HRV-BF法)は、喘息、心疾患、繊維筋痛症、大うつ病、PTSD、不眠などストレスに関連する疾患の症状緩和に成果を上げ、特にこれらに共通する抑うつ・不安・不眠の改善に効果を発揮することが示唆されてきた<sup>18)</sup>。一方、HRV-BF法の効果に関する基礎検討は、圧受容体反射に関わる自律神経機能を高めること<sup>19)</sup>、さらに、不安を軽減し<sup>20)</sup>、睡眠中の休息(回復)機能を高めること<sup>21)</sup>などを示してきたが、抑うつの緩和に関わる認知的な側面の効果については未だ不明な点が多い。

近年、抑うつの高い者に特有の認知処理が存在する

\*1) 愛知学院大学心身科学部心理学科

(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 愛知学院大学心身科学部心理学科 E-mail: msakaki\_0507@yahoo.co.jp

ことが明らかにされている。具体的に、ネガティブな自己形容語に対して高抑うつ者は事象関連電位 P300 成分の振幅が有意に増大し、潜時は短縮することが報告されている<sup>22) 23)</sup>。すなわち、抑うつの高い者は認知におけるネガティブバイアスが顕著で、自己に関連した事象を処理する際、より多くの注意資源（注意努力）を費やしている。ここで、認知のネガティブバイアスや慢性的な脅威の知覚（不安）に対する素地は脳と末梢の統合の障害に起因し、これが心拍変動の低下となって現れることが明らかにされている<sup>24)</sup>。例えば、小さな心拍変動は新奇刺激学習で大きなネガティブバイアスと相関し<sup>25)</sup>、恐怖条件づけ反応の消去を遅らせる<sup>26)</sup>。つまり、抑うつ状態にある者はストレス回復の遅延を反映しながら心拍変動が小さく、環境刺激の自動的処理過程でネガティブバイアスをより生じやすいと考えられる。このような事実から、心拍変動の増大はストレスからの回復を助けるだけでなく、抑うつ的な認知を調整（改善）することが推測されるが、これまでのところ「心拍変動と抑うつ認知処理」の検討について、心拍変動を増大へ導く介入的な検討は行われていない。

本研究は、抑うつ程度の高い者において心拍変動を増大させた場合に、彼らに特有の認知処理が調整（改善）されるか否かを検討することを基本構想としている。この目的のため、実験的な操作として HRV-BF 法を導入して心拍変動を増大させることを試みる。本検討ではバイオフィードバックによる心拍変動の増大が基本的な皮質活動に影響を及ぼしているかどうかを確かめるため、HRV-BF 中の脳波の出現について安静時との間で比較検討することを目的とした。前述の Lehrer et al.<sup>19)</sup> の知見に基づき、HRV-BF が圧受容体反射を刺激していると仮定すると、圧反射の活性化は皮質活動に影響を及ぼしているという知見から<sup>27)</sup>、自発脳波に何らかの変化が生じているのではないかと予想される。Prinsloo et al.<sup>28)</sup> は HRV-BF に関わる脳波の変化を報告していることから、本検討において HRV-BF の操作が効果を発揮しているならば、このような脳波の変化が観察されるのではないかと考えられる。本研究の基本構想では、この仮説の検証を経た上で、その後の検討課題として、HRV-BF の前後でネガティブな自己形容語を瞬間呈示した際の事象関連電位の変化を検討する予定である。したがって、本検討では HRV-BF によって心拍変動の増大が生じる条件と心拍変動の増大を生じない対照条件の脳波の反応性を比較検討することを目的とした。

## II. 方 法

**実験参加者** 大学生 14 名（女性 9 名、男性 5 名）を対象としたが、4 名で脳波測定の不備があったため 10 名のデータを分析対象とした（女性 6 名、男性 4 名、平均年齢 21 歳  $\pm 0.94$  [SD]）。

**装置および測定** 心電図測定はワイヤレス生体センサー（RF-ECG, GMS）を左季肋部（左上腹部）に装着した。センサによって測定された信号はパーソナルコンピュータに取り付けた受信部へ無線送信されるようになっており、これにより 250Hz のサンプリング周波数にて心電図をパーソナルコンピュータ（Endeavor NA601E, Epson）に記録した。

一方、脳波は国際 10–20 法による Fz、Cz、Pz の位置から両耳朶結合を基準電極として単極導出した。実験では自発脳波の他、事象関連電位を測定する目的のため、眼球運動に関わるアーチファクトを監視する目的で右眼窩部下 1 cm の位置から眼電図を記録した。脳波と眼電図の信号は事象関連電位測定のための刺激呈示トリガとともにデータレコーダ（XR-10, TEAC）に 1.5KHz のサンプリング頻度で記録した。

**手続き** 防音シールドルーム内ではじめに座位にて 5 分間の安静状態の測定を行った（baseline）。続いて、事象関連電位を測定する目的で幾何学図形をターゲットとした Go/NoGo 課題を約 10 分間実施した。今回の検討では事象関連電位のデータについては扱わないため、条件の詳細については別に記載する。次に、HRV-BF 条件を 1 試行 5 分間として 4 回実施した。ここでは小型 HRV-BF 機器（Stress Eraser®, Helicor）を用いた。

これは脈波センサに左指尖部を接することで、1 拍毎の脈拍をディスプレイに表示し HRV を増大させるようになっている。それぞれの脈拍間隔のデータは標準的な心電図の測定によって得られたデータと高い相関のあることが報告されている<sup>29)</sup>。HRV-BF 条件では、実験参加者になるべくゆっくりとしたペース呼吸を行うよう指示し、ディスプレイをみながらより大きな波形を実現するよう教示した。機器は一つ一つの波形の下に小さなドットを表示するようになっており、これが呼吸のペースや脈拍の円滑な動きなどの状態を示すようになっている。ドットが 1 つのときは 0 点を与え、さらに呼吸を調整しなければならないことを表している。これに対しドットが 3 つのときは 1 点を与え、ペース呼吸が適切に行われているこ

とを示している。ドットが2つの場合は0.5点となりそれらの中間の状態であることを示す。実験参加者には連続的に1点が出るようにペース呼吸を行うよう教示した。この条件の後、再びGo/NoGo課題を10分間行った。

HRV-BF条件に対する統制条件を測定するため、実験参加者は約2週間程度の期間をあけて再度の実験に参加した。安静とGo/NoGo課題は同様だが、統制条件として実験参加者に小型HRV-BF機器のポイントになるべく0点を連続して出現するように、HRV-BFとは対照的に速い頻度の浅い呼吸を実施するように求めた。この条件も1試行5分間として4試行実施した。なお、HRV-BF条件とControl条件の施行順序は参加者間でカウンタバランスした。

分析 各測定期における心電図RR間隔のデータ(心拍変動データ)はHRV分析ソフトウェア<sup>30)</sup>を用いて平均RR(Mean RR)を求めた後、0.04-0.15 Hz帯域をLF成分、0.15-0.45 Hz帯域をHF成分としてFFTによるスペクトル分析を施し各々のpowerを求めた(R-R interpolation rate: 4 Hz, FFT spectrum window width: 256 S, window overlap: 50%)。

一方、脳波データはデータレコーダに記録されたものをパーソナルコンピュータ(Endeavor NA601E, Epson)に転送し、専用ソフトウェア(Bimutus II, KISSEI COMTEC)を使用して周波数分析を行った。この際、Theta( $\theta$ )帯域を4~7Hz、Alpha( $\alpha$ )波帯域を7~13Hz、Beta( $\beta$ )帯域を15~30HzとしてFFTによるスペクトル分析を施しそれぞれのpowerを求めた。この際、解析ポイントは16384pointとして1分析区間を約10.92秒に設定し、Hanning windowを適用した。この分析によって得られた $\theta$ 波・ $\alpha$ 波・ $\beta$ 波のabsolute power(絶対power値)を合計し、これに対する各々の脳波成分の割合(%)をrelative power(相対power値)として算出した。

統計的分析 HRV-BF条件で予想された心拍変動の増大が生じているかどうかを確かめるために、心拍変動の分析によって算出された指標について、条件(HRV-BF・Control)×試行(baseline・time 1・time 2・time 3・time 4)の分散分析を実施した。続いて、ペース呼吸による脳波の変化を検討するために、各成分のrelative power(%)について同様の分散分析を行った。

### Ⅲ. 結 果

心拍変動データ Mean RRについて、条件(HRV-BF・Control)×試行(baseline・time 1・time 2・time 3・time 4)の二要因分散分析を行った結果、試行の要因に有意差がみられたが( $F(4/36)=5.992$ ,  $p<.001$ )、条件の要因、および条件と試行の交互作用に有意差は認められなかった。図1はHRV-BFとControl条件について試行毎の平均値(および標準誤差)を表したものである。いずれの条件もMean RRデータは徐々に増加しているのがわかる。すなわち、各条件の実施中は心拍が緩徐になったことを示している。

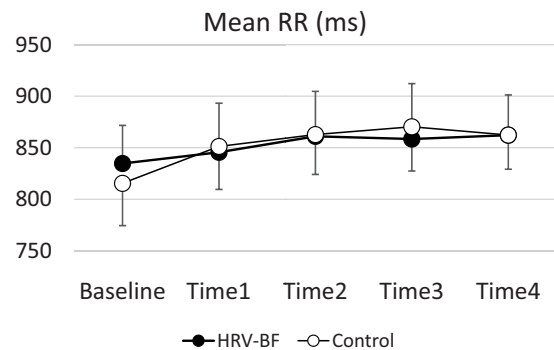


図1 Mean RR の変化

次に、LF powerについて同様に分散分析を施したところ、条件の要因に有意差がみられた( $F(1/9)=33.481$ ,  $p<.001$ )。また、試行にも有意差が認められた( $F(4/36)=10.701$ ,  $p<.001$ )。さらに、条件と試行の交互作用も有意であった( $F(4/36)=13.677$ ,  $p<.001$ )。図2はLF powerの平均値(および標準誤差)について示したものである。Control条件では各試行に変化はみられないがHRV-BF条件ではLF powerの増加が著しかった。HRV-BFのペース呼吸によってLF帯域での心拍変動が確実に生じていることを示している。

HF powerについても同様に分散分析を実施したところ、条件の要因に有意傾向がみられ( $F(1/9)=2.125$ ,  $p<.10$ )、その他の要因には有意差は認められなかった。図3はHF powerの平均値(および標準誤差)について示したものである。

準誤差) について示したもののだが、いずれの条件においても power が減少している様子が見える。このことは、HRV-BF 条件では緩徐な呼吸によって心拍変動の生じる帯域が LF へ移行したことで、さらに、Control 条件では頻度の速い浅い呼吸が行われたことによって HF 帯域の心拍変動の程度(振幅)はごく小さなレベルで推移していたことがわかる。LF power の結果も合わせると、HRV-BF 条件ではゆっくりとしたペース呼吸によって HF 帯域外で心拍変動の増大が生じた一方で、Control 条件では HF 帯域内でありながら対照的に小さな心拍変動が起っていたことが確かめられた。

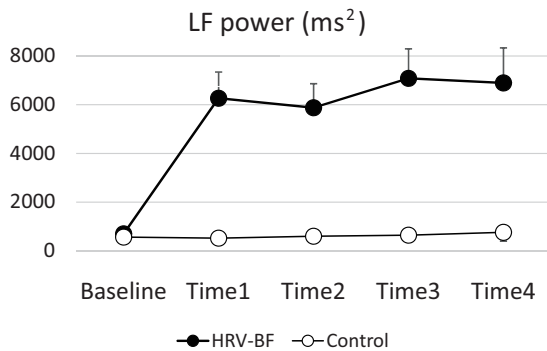


図2 LF power の変化

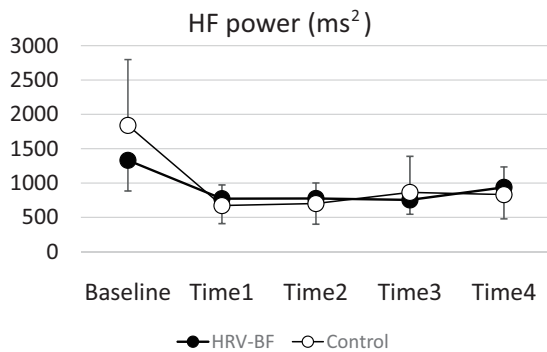


図3 HF power の変化

脳波データ Fz、Cz、Pz における  $\theta$  relative power の変化についてそれぞれ条件 (HRV-BF・Control)

× 試行 (baseline・time 1・time 2・time 3・time 4) の二要因分散分析を行ったところ、Fz と Cz では有意差はみられなかったが、Pz において試行の要因に有意差 ( $F(4/36) = 2.662, p < .05$ ) がみられた。表 1 は脳波  $\theta$  波の relative power の平均値(および標準偏差)について、各電極位置における HRV-BF 条件と Control 条件のデータを試行毎に表したものである。Pz ではいずれの条件も概ね増加する方向へ変化していることがわかる。

次に、 $\alpha$  relative power の変化について、同様に二要因分散分析を行ったところ、Fz と Cz に条件と試行の交互作用がみられた (Fz:  $F(4/36) = 2.668, p < .05$ ; Cz:  $F(4/36) = 3.341, p < .05$ )。表 2 は脳波  $\alpha$  波 relative power の平均値(および標準偏差)についてそれぞれの電極位置における HRV-BF 条件と Control 条件のデータを各試行毎に表したものである。Fz および Cz の  $\alpha$  relative power は、HRV-BF 条件ではいったん減少しながら元のレベルに戻ったが Control でははじめから漸増するパターンをみせた。

$\beta$  relative power の分散分析の結果からは、条件、試行、それらの交互作用に有意な変化は示されなかった。表 3 は脳波  $\beta$  波 relative power について上記と同様に示したものである。

#### IV. 考 察

本検討は、HRV-BF によって心拍変動の増大を生じる条件に対して心拍変動の増大を生じない対照条件を設定し、自発脳波の反応を比較検討することを目的とした。ここでははじめに心拍変動データの変化から、HRV-BF および Control 条件の実験操作の妥当性について考察し、次にそれらの条件における自発脳波の変化について検討する。

結果にみられたように、Mean RR (図 1) は HRV-BF と Control 条件のいずれにおいても徐々に増加した。これは心拍が緩徐となったことを示し、いずれの条件も副交感神経活動が高まる傾向にあったことがうかがわれる。Control は呼吸頻度が速いことから参加者に息苦しい状態を誘発することが懸念されたが、おそらく一回換気量を小さくすることで 1 試行(5 分間)を比較的安定的に実施したものと思われた。Mean RR の増加傾向の結果から HRV-BF と Control 条件のいずれも参加者にストレスを生じさせることはなかったと考えられた。

次に、LF power の結果に交互作用がみられた。



これは Control 条件における LF power は各試行で変化しなかったが HRV-BF のそれは著しく増加したことを示している。これは小型機器を利用しながら一定の緩徐な呼吸を行ったことによって、呼吸性の心拍変動が LF 周波数帯域で生じ、HRV-BF 条件の操作が明確に実施されていたことを意味している。図 2 にみ

られるように、HRV-BF 条件における LF power の数値は著しいレベルにあった。LF 帯域ではもともと血圧の変動成分 (Mayer wave) の存在が指摘されている<sup>31)</sup>。HRV-BF の緩徐なペース呼吸はこの帯域で生じるために、呼吸・心拍・血圧のそれぞれのリズムが一致して共鳴を生じ、結果的に LF power は著

表 1  $\theta$  relative power (%) の変化

|    |         | Baseline   | Time1      | Time2      | Time3      | Time4      |
|----|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Fz | HRV-BF  | 43.1(10.2) | 47.1(10.6) | 46.7(12.3) | 46.8(12.8) | 44.7(11.4) |
|    | Control | 48.0(14.6) | 49.4(12.7) | 46.6(14.0) | 47.6(14.4) | 48.4(15.8) |
| Cz | HRV-BF  | 34.9(11.3) | 37.8(10.8) | 38.1(10.8) | 37.7(9.50) | 37.1(8.60) |
|    | Control | 38.5(13.2) | 40.5(10.4) | 38.8(11.1) | 40.0(11.9) | 39.2(12.6) |
| Pz | HRV-BF  | 30.1(11.8) | 33.7(10.9) | 40.8(22.2) | 33.0(9.80) | 34.3(10.3) |
|    | Control | 24.1(15.5) | 34.2(11.3) | 33.4(11.5) | 34.4(12.5) | 33.0(13.4) |

表 2  $\alpha$  relative power (%) の変化

|    |         | Baseline   | Time1      | Time2      | Time3      | Time4      |
|----|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Fz | HRV-BF  | 36.4(9.70) | 34.4(8.70) | 32.2(7.81) | 34.3(9.42) | 36.1(10.4) |
|    | Control | 31.8(8.72) | 32.7(8.28) | 34.8(9.78) | 33.5(8.46) | 33.8(11.2) |
| Cz | HRV-BF  | 42.2(11.2) | 41.1(10.4) | 38.1(9.32) | 40.8(8.74) | 41.8(10.0) |
|    | Control | 37.8(9.47) | 38.4(7.37) | 40.0(9.12) | 38.4(8.43) | 40.1(9.90) |
| Pz | HRV-BF  | 51.2(14.6) | 44.8(11.2) | 38.2(16.4) | 45.2(10.1) | 48.5(11.0) |
|    | Control | 51.9(19.4) | 43.3(9.83) | 44.2(11.8) | 43.3(10.8) | 45.0(12.3) |

表 3  $\beta$  relative power (%) の変化

|    |         | Baseline   | Time1      | Time2      | Time3      | Time4      |
|----|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Fz | HRV-BF  | 20.4(8.91) | 18.6(9.20) | 21.1(10.9) | 18.9(9.33) | 19.2(9.74) |
|    | Control | 20.2(10.1) | 18.0(9.07) | 18.6(9.84) | 18.9(10.4) | 17.9(9.64) |
| Cz | HRV-BF  | 22.9(11.2) | 21.2(10.7) | 23.8(12.4) | 21.5(8.75) | 21.2(9.53) |
|    | Control | 23.6(10.5) | 21.2(9.01) | 21.2(9.33) | 21.6(9.58) | 20.7(9.57) |
| Pz | HRV-BF  | 18.7(11.4) | 21.6(9.05) | 21.0(12.9) | 21.8(7.97) | 17.2(7.71) |
|    | Control | 24.0(12.1) | 22.5(8.95) | 22.4(9.55) | 22.3(9.59) | 22.1(10.0) |

しく増大することが指摘されている (Lehrer et al., 2003)<sup>19)</sup>。

これに対し、HF power はいずれの条件においても減少した (図 3)。このことは、HRV-BF の緩徐な呼吸によって生じる心拍変動がより低周波帯域 (LF 帯域) へ移行したためであると考えることができる。一方、Control 条件は頻度の速い呼吸を維持するために条件を通して浅い呼吸が続けられたことが HF power の低下を引き起こしたと考えられる。すなわち、浅い呼吸によって生じる心拍の変動の程度が小さかったといえる。

自発脳波のデータについて、HRV-BF 条件と Control 条件ではいずれも  $\theta$  波の割合 (relative power) が徐々に増加したことから (Pz)、今回の検討で実施した呼吸条件は覚醒レベルをやや下げようとした可能性があり、5 分間の呼吸条件 (4 回試行) は参加者にとっていずれも単調な課題であったかもしれない。

しかしながら、結果に示されたように  $\alpha$  波については HRV-BF 条件と Control 条件の変化パターンに差がみられた。具体的に、HRV-BF 条件では安静 baseline から緩徐な呼吸を実施した際に  $\alpha$  relative power はやや低下しながら試行後半にかけて元の水準に復帰したのに対し、Control では安静 baseline から一貫して漸増するパターンをみせた。このような交互作用は Fz と Cz において観察され、HRV-BF 条件において参加者は当初慣れない緩徐なペース呼吸課題にやや努力を要した可能性がある。一方、Control 条件は速い頻度の呼吸をしなければならないにもかかわらず深い呼吸になることはなく (過換気状態には至らず)、4 回の試行を通して平静を保ちながら実施されていたことがうかがわれる。一方、 $\beta$  波の relative power (Fz・Cz・Pz) については HRV-BF と Control 条件の差は明らかでなかった。

これまで HRV-BF の実施によって一過性の不安感 (状態不安) が有意に低下することが報告されているが<sup>20) 32)</sup>、本検討における脳波についての結果は、特に HRV-BF 条件が明確なリラクセーション反応を引き起こしていなかったことを示している。Prinsloo et al.<sup>28)</sup> は本研究と同様の小型バイオフィードバック機器を用いて HRV-BF を誘導する条件と同機器のディスプレイを観察するのみとする対照条件を設定し、脳波を測定している。その結果、対照条件に比較して HRV-BF 条件では  $\theta$  relative power が増加し、反対に  $\beta$  relative power は低下することを報告している。

彼らはこの結果から HRV-BF においてリラクセーション状態と不安の軽減が生じることを示唆している。本実験においては、全体の測定時間に Go/NoGo 課題を含み、時間的制約からペース呼吸について詳しい教示を実施しなかった。心拍変動 LF 成分の変化には HRV-BF 条件の実施による反応が明確に観察され方法的な妥当性は保たれていたと考えられるが、反面で参加者が心理生理的リラクセーションの状態に積極的に至る要素はあまりなかったかもしれない。

最近では、マインドフルネスの催眠的要素を取り入れた HRV-BF の教示が注目されており<sup>33)</sup>、今後の検討においては HRV-BF の教示に工夫を加えることが重要であるかもしれない。

## 引用文献

- 1) Arai Y., Saul J.P., Albrecht P., Hartley L.H., Lilly L.S., Cohen R.J., Colucci W.S. (1989) Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American Journal of Physiology*, 256, H132-H141.
- 2) Grossman, P., Stemmler, G., & Meinhardt, E. (1990) . Paced respiratory sinus arrhythmia as an index of cardiac parasympathetic tone during varying behavioral tasks. *Psychophysiology*, 27, 404-416.
- 3) Wang, Y., Zhao, X., O'Neil, A., Turner, A., Liu, X., & Berk, M. (2013) . Altered cardiac autonomic nervous function in depression. *BMC Psychiatry*, 13, 187.
- 4) Chalmers, J.A., Quintana, D.S., Abbott, M.J., & Kemp, A.H. (2014) . Anxiety disorders are associated with reduced heart rate variability: a meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 5, 80.
- 5) Routledge, F.S., Campbell, T.S., McFetridge-Durdle, J.A., & Bacon, S.L. (2010) . Improvements in heart rate variability with exercise therapy. *The Canadian Journal of Cardiology*, 26, 303-312.
- 6) Villareal, R.P., Liu, B.C., & Massumi, A. (2002) . Heart rate variability and cardiovascular mortality. *Current atherosclerosis reports*, 4, 120-127.
- 7) Shannon, D. C., Carley, D. W., & Benson, H. (1987) . Aging of modulation of heart rate. *American Journal of physiology*, 253, H874-H877.
- 8) Kuo, T. B. J., Lin, T., Yang, C. C. H., Li, C. L., Chen, C. F., & Chou, P. (1999) Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. *American journal of physiology*, 277, H2233-H2239.

- 9) Boutcher, S.H., Nugent, F.W., McLaren, P.F., & Weltman, A.L. (1998) . Heart period variability of trained and untrained men at rest and during mental challenge. *Psychophysiology*, 35, 16–22.
- 10) Balogh, S., Fitzpatrick, D. F., Hendricks, S. E., & Paige, S.R. (1993) . Increases in heart rate variability with successful treatment in patients with major depressive disorder. *Psychopharmacology Bulletin*, 29, 201–206.
- 11) Carney, R. M., Freedland, K. E., Stein, P. K., Skala, J. A., Hoffman, P., Jaffe, A. S. (2000) . Change in heart rate and heart rate variability during treatment for depression in patients with coronary heart disease. *Psychosomatic Medicine*, 62, 639–647.
- 12) Chambers, A.S., & Allen, J.J. (2002) . Vagal tone as an indicator of treatment response in major depression. *Psychophysiology*, 39, 861–864.
- 13) Prasko, J., Latalova, K., Diveky, T., Grambal, A., Kamaradova, D., Velartova, H., Salinger, J., Opavsky, J., & Silhan P. (2011) .Panic disorder, autonomic nervous system and dissociation - changes during therapy. *Neuroendocrinology Letters*, 32, 641–651.
- 14) Park, G., Vasey, M. W., Van Bavel, J. J., & Thayer, J.F. (2014) . When tonic cardiac vagal tone predicts changes in phasic vagal tone: the role of fear and perceptual load. *Psychophysiology*, 51, 419–426.
- 15) Pappens, M., Schroijen, M., Sutterlin, S., Smets, E., Van den Bergh, O., Thayer, J. F., & Van Diest, I. (2014) . Resting heart rate variability predicts safety learning and fear extinction in an interoceptive fear conditioning paradigm. *PLoS One*, 9, e105054.
- 16) Krygier, J.R., Heathers, J.A., Gross, J.J., Kemp, A.H. & Abbott, M.J. (2013) . Emotion Regulation and Heart Rate Variability: Effect of emotion reappraisal on subjective and cardiovascular responses to pleasant and unpleasant pictures. *Frontiers in Human Neuroscience Conference Abstract: ASP2013 - 23rd Annual meeting of the Australasian Society for Psychophysiology*. doi: 10.3389/conf.fnhum.2013.213.00044
- 17) Lehrer, P. (2007) . Biofeedback training to increase heart rate variability. In Lehrer, P.M., Woolfolk, R.L., & Sime, W.E. (Eds.) , *Principles and Practice of Stress Management* (pp. 227–248) .New York : Guilford Press.
- 18) 榎原雅人 . (2012) . 心拍変動バイオフィードバック法の臨床応用－治療の効果と理論的基礎について－ . 愛知学院大学論叢心身科学部紀要 , 8, 59–72.
- 19) Lehrer, P.M., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lu, S.E., Eckberg, D.L., Edelberg, R., Shih, W.J., Lin, Y., Kuusela, T.A., Tahvanainen, K.U., Hamer, R.M. (2003) . Heart rate variability biofeedback increases baroreflex gain and peak expiratory flow. *Psychosomatic Medicine*, 65, 796–805.
- 20) 榎原雅人 (2010) . 心拍変動バイオフィードバック法による不安軽減効果の可能性－特性不安の高い学生の訓練効果から－ . 第39回日本バイオフィードバック学会学術総会 .
- 21) Sakakibara, M., Hayano, J., Oikawa, L. O., Katsamanis, M., & Lehrer, P. (2013) . Heart rate variability biofeedback improves cardiorespiratory resting function during sleep. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38, 265–271.
- 22) Ohira, H. (1996) . Accessibility of negative constructs in depression: an event-related brain potential and reaction time analysis. *Japanese Journal of Experimental Social Psychology*, 35, 304–316.
- 23) 清水英樹・齋藤洋典・沖田庸嵩 (2001) . 抑うつ者における人物形容語の処理特性－事象関連電位による検討－ . 電子情報通信学会技術研究報告 . HIP, ヒューマン情報処理 , Vol. 101, 1–9.
- 24) Thayer, J. F., Ahs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., 3rd, Wager, T. D. (2012) . A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36, 747–756.
- 25) Shook, N.J., Fazio, R.H., Vasey, M.W., 2007b. Negativity bias in attitude learning: a possible indicator of vulnerability to emotional disorders? *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 38, 144–155.
- 26) Smets, E., Pappens, M., Thayer, J.F., van den Bergh, O., van Diest, I. (2011) . Interindividual differences in inhibitory control predict extinction of interoceptive fear. *Psychophysiology* 4, 8.
- 27) Duschek, S., Werner, N.S., & del Paso, G.A.R. (2013) . The behavioral impact of baroreflex function: a review. *Psychophysiology*, 50, 1183–1193.
- 28) Prinsloo, G.E., Rauch, H.G., Karpul, D., & Derman, W.E. (2013) . The effect of a single session of short duration heart rate variability biofeedback on EEG: a pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38, 45–56.
- 29) Heilman, K. J., Handelsman, M., Lewis, G., & Porges, S.W. (2008) . Accuracy of the StressEraser in the detection of cardiac rhythms. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 33, 83–89.
- 30) Tarvainen, M.P., Niskanen, J.P., Lipponen, J.A., Ranta-

- Aho, P.O., & Karjalainen, P.A. (2014) . Kubios HRV—heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113, 210-220.
- 31) Julien, C. (2006) . The enigma of Mayer waves : facts and models. *Cardiovascular Research*, 70, 12–21.
- 32) 榊原雅人・早野順一郎 . (2015) . 就寝前の心拍変動バイオフィードバック訓練が睡眠中の心肺系休息機能に及ぼす影響 . *バイオフィードバック研究* , 42, 47–56.
- 33) Khazan, I. (2015) . Mindfulness, acceptance, and compassion in biofeedback practice. *Biofeedback*, 43, 101–103.

(平成28年1月6日 受理)

## 付 記

本研究は平成26–27年度科学研究費(No.26590168)の助成を受けた。



## Effect of increasing heart rate variability by biofeedback on electroencephalogram

Masahito SAKAKIBARA

### **Abstract**

The purpose of this study was to examine effect of the heart rate variability biofeedback (HRV–BF) on electroencephalogram. Although 14 healthy university students (5 men and 9 women) participated in this study, data from 10 students were analyzed due to loss of data. Electrocardiograms (ECG) and electroencephalograms (EEG) were recorded during a 5-min baseline period followed by 4 successive 5-min sessions of the HRV–BF condition for increasing HRV or by the same periods of Control condition not to increase HRV. Reaction time tasks were conducted before and after these conditions for another objective of this study. Although the power of low frequency (LF) component of HRV significantly increased during HRV–BF condition, no consistent change in the LF power was observed during Control condition. The relative power of alpha in EEG immediately decreased and returned to base level during HRV–BF condition, while the alpha relative power gradually increased during Control condition. These results suggest that a valid procedure for increasing HRV was conducted in this study; however, in part, it may be difficult to perform a slow paced breathing during HRV–BF. Implications for further useful research of HRV–BF were discussed.

Key words: biofeedback, heart rate variability, autonomic nervous activity, electroencephalograms