

心拍変動バイオフィードバック法の臨床応用

—治療的効果と理論的基礎について—

榊 原 雅 人*

本論文は、心拍変動バイオフィードバック法（以下、HRV-BF法）の臨床応用例を示し、その治療的効果と理論的な作用機序を解説した。具体的に、大うつ病、繊維筋痛症、心的外傷後ストレス障害、不安状態、睡眠障害に対する治療的介入研究を示し、HRV-BF法はこれらの心身医学的問題において典型的ともいえる抑うつ、不安、不眠などに対して効果を発揮していることを指摘した。次に、HRV-BF法の理論的な作用機序について考察するために、心拍変動の特徴、休息機能と心拍変動の関連などについて触れた後、HRV-BF法の手続きを解説した。これらのことから、HRV-BF法は血圧の調節機能（圧受容体反射）の特徴を巧みに利用した技法であり、自律神経機能（交感神経および副交感神経）を刺激しながら、休息機能やホメオスタシス機能を促進させることが示唆された。さらに、HRV-BF法は情動の統制にも影響を及ぼしていることが示された。HRV-BF法ではある特徴的な呼吸統制が重要な役割を担っており、この点を踏まえた今後の基礎的検討課題のあり方を指摘した。

キーワード：心拍変動、バイオフィードバック、呼吸統制、うつ病、繊維筋痛症、心的外傷後ストレス障害、不安、睡眠障害

I. はじめに

心臓の拍動リズムは通常は不整にゆらいでおり、このゆらぎを心拍変動（heart rate variability: HRV）と呼ぶ。心拍変動を引き起こす要因には、0.15～0.4Hzの周波数帯域に存在する高周波（high frequency: HF）成分と0.04～0.15Hz帯域に存在する低周波（low frequency: LF）成分が知られている。前者は、息を吸ったときに心拍数が増加し息を吐いたときに心拍数が低下する呼吸性不整脈（respiratory sinus arrhythmia: RSA）を反映し、後者は血圧の上昇に対して心拍数を減少させ、血圧下降に対して心拍数を増加させることで血圧を一定に保とうとする圧受容体反射（baroreceptor reflex）の働きに関連した成分である。また、心拍変動をコンピュータ画面に提示しながら、これらのゆらぎを増大させる方向へ訓練する手続きを心拍変動バイオフィードバック（heart rate variability biofeedback: 以下、HRV-BF）法と呼ぶ。

近年、HRV-BF法は、喘息（Lehrer et al., 2004）、心疾患（Del Pozo et al., 2004）、繊維筋痛症（Hassett et

al., 2007）、大うつ病（Karavidas et al., 2007）、心的外傷後ストレス障害（Zucker et al., 2009）などにおける症状の改善に成果を上げている。具体的に、喘息では肺機能の改善と投薬量の減少、心疾患は発作後の致死率の低下、繊維筋痛症では痛みの低下や症状に伴ううつ状態と睡眠の改善、大うつ病ではうつ尺度によって評価されたレベルの顕著な低減、心的外傷後ストレス障害ではこれに伴ううつ症状の低下と薬物使用への衝動の低下などが報告されている（Zucker et al., 2009）。このように、HRV-BF法が応用されるさまざまな問題はストレス要因に大きく影響を受けながら生じる病的状態であり、従来、身体的側面に働きかける心理療法（自律訓練法など）の対象となり得たものである（佐々木, 1981）。ただし、HRV-BF法は自律神経機能の反射機能に着目した行動的処置法であり、効果発現の機序についてはいくつかの基礎的検討を経た理論的な説明がなされている。しかしながら、自律訓練法などに比較して新しい技法であるため、本邦におけるHRV-BF法の臨床応用や基礎的研究の報告は少なく、当該学問領域である心身医学や生理心理学の分野において

*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 E-mail: msakaki@dpc.agu.ac.jp

もあまり詳しく知られていない。

そこで、本稿ははじめに最近の HRV-BF 法の応用例（治療的介入研究）を紹介し、次に、HRV-BF 法の基礎的検討から導き出された理論的作用機序について解説することを目的とした。また、これらを通じ、HRV-BF 法における今後の検討課題や臨床応用の展開可能性について考察した。

II. 心拍変動バイオフィードバック法の臨床応用の実際

HRV-BF 法の介入効果を検討した近年の研究は、大うつ病、繊維筋痛症、心的外傷後ストレス障害、不安状態、睡眠障害に対するものである。いずれも発症や増悪因子にストレスが関連すると考えられる臨床的問題である。また、これらに共通する特徴として、抑うつ、不眠、不安などの精神的症状を含み、自律神経機能の不全を示すことが知られている。HRV-BF 法はその方法的特徴から、心血管系の自律神経反射機能に影響することが期待され、上記のような疾病に応用されている。以下に臨床的応用研究の例を紹介する。

1. うつ病への応用

大うつ病性障害 (major depressive disorder) は抑うつ気分や興味・喜びの喪失を特徴とした気分障害である。これまで行われてきた多くの研究から、うつ病患者では圧受容体反射（血圧調節に関わる反射）や心拍変動の低下など自律神経機能の不全が指摘されてきた。

Karavidas et al. (2007) は、うつ病への HRV-BF 法の応用可能性を検討するために、大うつ病と診断された 11 人に対して週に 1 度の訓練を 4 週に渡って実施し、その後 2 回のフォローアップ測定を行った。治療効果の評価のために、ハミルトン抑うつ尺度とベック抑うつ尺度を実施し、心拍変動のいくつかの指標を測定した。その結果、ハミルトン抑うつ尺度とベック抑うつ尺度の得点は第 4 週までに有意に低下し、それと同時に心拍の標準偏差（心電図 RR 間隔の標準偏差で心拍変動の程度を反映する指標）が増加した。治療の最終セッション（第 4 週）とフォローアップ測定では、心拍の標準偏差は治療導入時のレベルに戻ったものの、抑うつ病の臨床的印象は顕著な改善を示した。訓練セッションが進むにつれて、心拍変動 LF 成分は有意に増加した。

HRV-BF 法の手続きによって心拍変動は顕著な変化

を見せるようになるが、そのひとつの現れが心拍変動 LF 成分の増加である。これは HRV-BF 法で指導する緩徐な呼吸統制を行った際に現れる現象であり、Karavidas et al. (2007) が報告した LF 成分増加の結果は HRV-BF 法の実施手続きが正しく行われ、かつ心拍や血圧調節に関連した自律神経活動に効果を及ぼしたことを示している（このような心拍変動の特徴的变化については後に詳しく述べる）。Karavidas (2008) は、さらに、HRV-BF 法において実施される約 6 回/分の頻度の呼吸統制に対し、12 回/分～15 回/分の呼吸統制条件を比較し、6 回/分の呼吸統制が有意に抑うつ症状を低下させることを示した。以上のような結果から、HRV-BF 法はうつ病治療において有用な治療的介入法のひとつとなる可能性が示唆されている。

2. 繊維筋痛症への応用

Hassett et al. (2007) は繊維筋痛症 (fibromyalgia) に対する HRV-BF 法の効果を検討している。繊維筋痛症は全身の疼痛やだるさ、抑うつ、睡眠障害を引き起こす、原因がはっきりと特定されていない障害である。彼らはこのような症候の背景に自律神経障害があることを示唆する研究をもとに、HRV-BF 法の応用を試みた。18 歳～60 歳までの 12 名の繊維筋痛症患者に週に 1 回ずつ 10 回の HRV-BF 法を実施し、訓練期間中は HRV-BF 法で用いられる緩徐な呼吸統制を 1 日に 2 回ずつ行うよう指示した。治療導入時（第 1 週）、第 10 週およびその 3 ヶ月後（フォローアップ）においていくつかの質問紙（繊維筋痛症インパクト尺度、ベック抑うつ尺度、マッギル痛み尺度、ピッツバーグ睡眠尺度）および生理学的データ（心拍変動、血圧変動）を記録した。

その結果、抑うつと痛みに関わる臨床所見はフォローアップにかけて顕著に低下した。繊維筋痛症インパクト尺度は身体機能や痛み、だるさ、睡眠の質、不安、抑うつなどに関して評価する尺度であるが、第 10 週の時点で有意な低下傾向を見せ、その 3 ヶ月後のフォローアップでは有意に低下していた。ベック抑うつ尺度は第 10 週、フォローアップのいずれの時点においても有意に低下した。マッギル痛み尺度は第 10 週では有意でなかったものの、フォローアップでは有意に減少した。ピッツバーグ睡眠尺度の得点は訓練期間およびフォローアップにおいて変化はみられなかった。一方、血圧の変動は第 1 週からフォローアップにかけて減少したが、心拍変動の総変動量と心拍変動 HF 成分は第 1 週から 10 週にかけて有意に増加した。これ

らの結果から、彼らは HRV-BF 法は心拍変動に関わる自律神経機能に影響を及ぼし、繊維筋痛症に対して有用な処置法のひとつになることを示唆した。

3. 心的外傷後ストレス障害への応用

心的外傷後ストレス障害 (Posttraumatic stress disorder: PTSD) は、外傷 (トラウマ) 体験への暴露に関わる強烈な不安、恐怖、または絶望感などの精神的障害であり、時に慢性化する障害として広く知られている。その症状はトラウマの原因となったものごとへの回避行動や追体験を含んでいる。Zucker et al. (2009) は、ハタヨガ (van der Kolk, 2006)、フルオキセチン (選択的セロトニン再取り込み阻害薬) (Cohen et al., 2000)、眼球運動による脱感作と再処理 (Eye Movement Desensitization and Reprocessing: EMDR) (Sack et al., 2003)、認知行動療法 (Nishith et al., 2003) などによる PTSD の治療において、症状の軽快とともに心拍の変動が増加していくことを指摘し、それまで PTSD に対する HRV-BF 法の臨床応用例がみられなかったことから、この方法の有効性を検討するために対照群を設けた治療的介入研究を実施した。

この研究では、38名の PTSD 患者が HRV-BF 法を実施する群 (N=19) と漸進的筋弛緩法を実施する群 (N=19) に配置された。これらの治療的介入は、実験参加者 (PTSD 患者) が物質使用障害 (アルコールや薬物などの乱用および依存) の指導を家庭で受ける際に同時に行われ、4週間にわたって実施された。介入期間の前後で PTS-T 尺度 (外傷後ストレス障害におけるストレス度得点) と PTSD チェックリスト尺度によるアセスメントが行われた。

結果として、PTSD における抑うつ症状と心拍変動について群と介入期間の交互作用が有意となり、HRV-BF 法を受けた群では抑うつ症状が低下し心拍変動が増加した。また、両群とも PTSD チェックリストの得点が減少し不眠症状が軽減した。さらに、HRV-BF 法では物質使用への衝動の低下傾向が観察された。心拍変動の増加は PTSD 症状の低下と有意な相関関係にあることが見出された。このような結果は PTSD に悩まされている人の心理生理的な改善において HRV-BF 法が有効な処置法のひとつとなることを支持している。

4. 不安状態および睡眠障害に対する効果

榊原ら (2010) は高い特性不安レベルを示す学生 2 例において HRV-BF 法を実施した。携帯型 HRV-BF 装

置 (StressEraser®) を用いて左手人差し指から脈拍を導出し、その変動 (心拍変動) がなるべく大きくなるように訓練した。この機器は、適切な大きさの心拍変動が現れるとマークが表示されるかたちでフィードバック信号を与えるよう設計されており、日常生活において HRV-BF 法の訓練ができるよう工夫されている。

一人の学生 (22歳, 女性) は特性不安尺度の得点 (標準得点) が 57 で、比較的高い不安レベルを示していた。実験室にて週に 1 回の HRV-BF 法訓練を合計 6 回実施し (1 回あたりの訓練は 10 分間として 2 回実施)、この間の日常生活では 1 日あたり合計で 20 分間の練習を継続的に実施するよう教示した。その結果、特性不安得点は 49 に低下し、予め測定した精神健康調査票 (GHQ) の「身体的症状」および「不安と不眠」は「問題あり」とされるレベルから「軽度レベル」へ低下した。さらに、気分プロフィール検査 (POMS) の「怒り一敵意」「疲労」「混乱」は練習後に平均的レベルへ低下し (怒り一敵意は 67 から 54 へ; 疲労は 61 から 48 へ; 混乱は 62 から 48 へそれぞれ低下し)、「活気」は標準得点 39 から 51 へ増加した。

もう一名の学生 (22歳, 女性) の特性不安得点は 73 でかなり高いレベルの不安を示していた。学生との面談により、実験室での訓練指導は行わず 2 週間の HRV-BF 訓練を自宅中心に実施することとした。携帯型 HRV-BF 装置を用いて昼間に約 15 分以上、就寝前に約 15 分以上 HRV-BF 法を継続的に実施した。その結果、特性不安の得点は 58 に低下し、GHQ は「不安と不眠」が 7 から 3 へ低下し、POMS の「混乱」が 65 から 57 へ低下した。さらに、起床時に毎回、状態不安を測定したところ、訓練初期では状態不安尺度の得点が 55 点前後のレベルであったが、訓練 7 日目を過ぎたところから 45 点前後のレベルで推移した。これは起床時の不安レベルが低下し、安定的になることを示していた。

これらの結果から、HRV-BF 法を日常生活において継続的に練習することで、不安レベルが低下し、同時に、疲労や混乱、不眠症状などについても改善する傾向のあることが示唆された。なお、HRV-BF 法の不安軽減効果については、今後、さらに実験的な検討が必要である。

睡眠障害に対して HRV-BF 法を応用した例は Mclay and Spira (2009) によって報告されている。イラクの軍事救急医療施設に勤務するある患者は不安、抑うつ、不眠を訴え、当初、一般的な心理治療を受けた。一定

期間の面接によって、抑うつ症状および不安症状は徐々に低減したものの、不眠症状は持続したため、上述の携帯型装置による HRV-BF 法を実施した。約 1 週間訓練した結果、顕著な不眠の軽減がみられた。

III. 心拍変動バイオフィードバック法の理論的作用機序

これまでみてきたように、HRV-BF 法が応用されてきた疾病はうつ病、繊維筋痛症、心的外傷後ストレス障害、不安状態などの問題であり、これらの背景には多かれ少なかれ自律神経機能の不全がみられた。また、病型はさまざまであれ、HRV-BF 法はそれぞれの疾病にみられる典型的な問題、つまり、抑うつ、不安、不眠などに対して効果を発揮しているように思われる。

ここでは HRV-BF 法の治療的効果の発現に関わるメカニズムを説明するために、はじめに心拍変動の特徴、心身の適応的状態と心拍変動の関係、心肺系休息機能について解説する。その後、HRV-BF 法の実際的な手順を示し、最後に HRV-BF 法の理論的な作用機序や情動の調整に対する影響について考察する。

1. 心拍変動の特徴

心臓の拍動のリズムはある一瞬速くなり遅くなりして常に複雑にゆらいでいる。このゆらぎを心拍変動 (HRV) と呼び、呼吸、血圧調節、体温調節などの要因に影響を受けている (Berntson et al., 1993; Berntson et al., 1997; Task Force, 1996)。図 1 は心電図と心拍変動の関係を示したものである。心電図 R 波

の間隔を順次測定し (上部)、それらを時間軸上に置き換えることで (下部)、心拍変動を視覚的にとらえることができる。

心拍変動を周波数の観点から捉えたものが図 2 である。心拍変動のデータに高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform: FFT) を施してスペクトル分析すると、ある周波数領域に特有のピークを観察することができる。本稿冒頭にも述べたが、0.04~0.15Hz 帯域に存在する成分を LF 成分、0.15~0.4Hz の帯域に存在する成分を HF 成分という。これらの他、心拍変動にはさらに低帯域の成分 (例えば、very low frequency: VLF) が知られている (Berntson et al., 1997; Task Force, 1996)。

HF 成分は先に述べたように呼吸性不整脈 (RSA) を反映している。HF 成分の発生のしくみとして、1) 脳幹における呼吸中枢から心臓血管中枢への干渉、2) 肺の伸展受容体からの心臓血管中枢への入力あげられている (Berntson et al., 1993)。これらにより、心臓への迷走神経 (副交感神経) の出力が息を吸ったときに抑制される。呼吸数を遅くするとその反射が顕著に働き心拍数の増減幅 (すなわち心拍変動) は著しく増大することが知られている (Hirsch & Bishop, 1981; Hayano et al., 1994)。これまでの報告から、HF 成分または呼吸性不整脈は心臓迷走神経 (副交感神経) によって媒介されていることが示され (Pagani et al., 1986; Pomeranz et al., 1985)、その振幅は信頼性の高い迷走神経活動の指標となることが報告されている (Grossman et al., 1991; Hayano, Sakakibara, Yamada et al., 1991)。

一方、LF 成分は動脈血圧の変動周期 (Mayer 波)

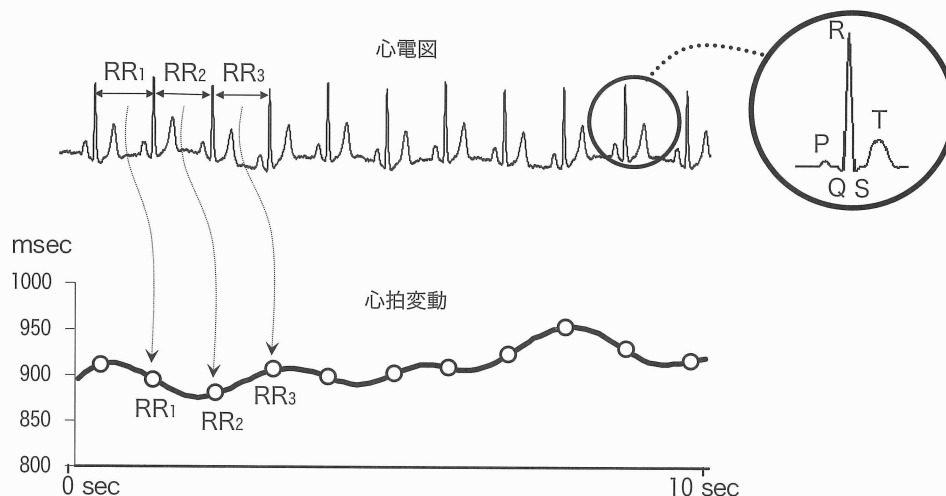


図 1 心電図および心拍変動の関係

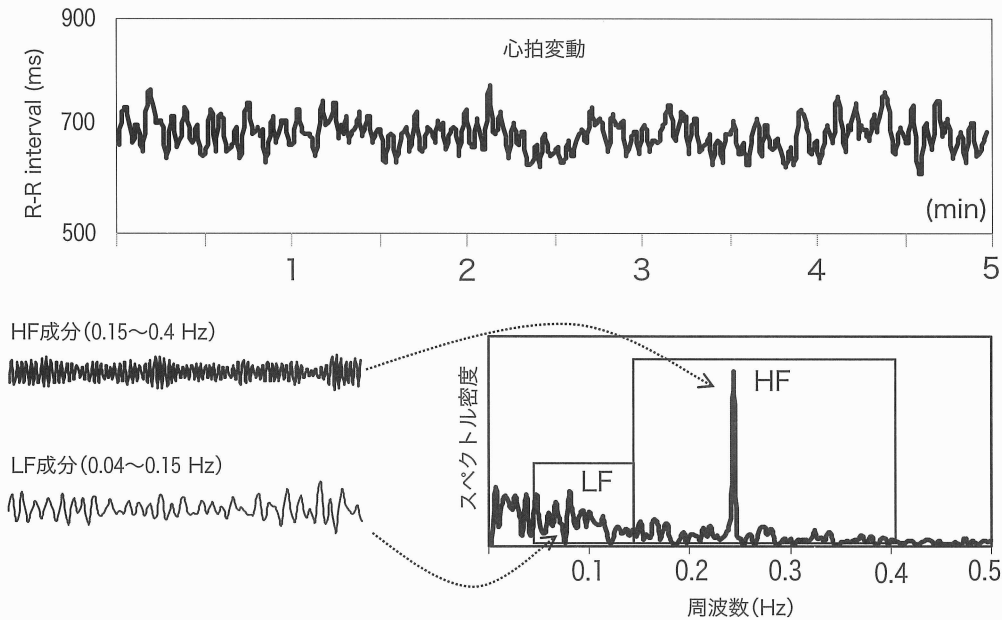


図2 心拍変動のスペクトル分析

(Penaz, 1978) が圧受容体反射 (baroreflex) を介して心拍変動に現れたものと考えられている (Madwed et al., 1989). 圧受容体 (baroreceptor) とは、頸動脈洞と大動脈弓に位置する伸展受容器で血圧の調節に重要な役割を担っている (貴邑・根来, 1996). 血圧が上昇すると、圧受容体反射によって心拍数低下と血管緊張の解放が生じ血圧が低下する (血圧が低下したときはそれらと反対の作用が生じる). 例えば、血圧の下降によって血管運動に関わる交感神経の興奮が起ると、約 5 秒遅れて血管の反応が生じるため、この遅れが血圧調節系に振動を起し、血圧の変動周期は約 10 秒 (約 0.1 Hz) になることがシミュレーションによって明らかにされている (Madwed et al., 1989).

これらの周波数成分に対し、心拍変動にはさらに低帯域 (0.005~0.05 Hz) の超低周波 (VLF) 成分が指摘されている (Berntson et al., 1997; Task Force, 1996). 心拍変動 VLF 成分は主に血管運動の制御を反映し、体温調節に関連することが示唆されている (Fleisher et al., 1996; Taylor et al., 1998).

2. 心身の適応状態と心拍変動

これまでの報告から、心拍変動の減少は疾病やストレスに対する脆弱性を反映するのに対し、その増大はストレスや病的状態からの回復やリラクゼーションに関連することが示されている。

具体的に、心拍変動は冠動脈硬化 (Hayano, Yamada,

Mukai et al., 1991), 心筋梗塞 (Kleiger et al., 1987), 抑うつや不安 (Agelink et al., 2002; Yeragani et al., 1995; Yeragani et al., 1999), ストレス (Grossman et al., 1990; 榊原, 1992) において減少することが知られている. 例えば、この中で、Agelink et al. (2002) はうつ病に心疾患を併発した患者に交感神経の亢進や副交感神経の低下がある場合、それらの要因が心疾患による致死に大きく関わっていることを指摘し、大うつ病と診断された 32 名の患者群と 64 名の健常な対照群の心拍変動の指標を検討した. 抑うつ症状の程度を評価するためにハミルトン抑うつ尺度を用い、症状の深刻な者と中程度の者を分けたところ、前者は健常者に比して明らかな心拍数の亢進と迷走神経性心拍変動 (心拍変動 HF 成分) の低下を示した. 一方、うつ症状が中程度の者では心拍変動指標は健常者との差が明確でなかった. さらに、ハミルトン抑うつ尺度の得点と迷走神経性心拍変動 (心拍変動 HF 成分) に有意な負の相関が見出され、抑うつ症状の亢進が心臓副交感神経活動の低下に関連することを示唆した. 他方、不安との関連では Watkins et al. (1998) が 93 名の健常被験者について状態一特性不安尺度 (state-trait anxiety inventory: STAI) によって評価した特性不安と心拍変動の呼吸性不整脈成分 (RSA)・圧受容体反射感度との関係を報告している. 高い特性不安得点を示した者では RSA の大きさが有意に低下し、特性不安得点と RSA および圧受容体反射感度との間に負の相関があること

を見出した。

これらの知見の一方で、心拍変動はリラクゼーション(Sakakibara et al., 1994)、睡眠(Bonnet & Arand, 1997)、高齢者よりも若年者(Berntson et al., 1997)などにおいて増大することが知られている。また、うつ病の治療(薬物や心理療法)では、その結果が良好なものは心拍変動の増加を伴うことが報告されている(Balogh et al., 1993; Chambers & Allen, 2002; Khaykin et al., 1998)。例えば、Balogh et al. (1999)は大うつ病と診断された17名の患者の薬物治療の効果を評価するために、ハミルトン抑うつ尺度の得点と心拍変動指標を検討した。治療によるハミルトン抑うつ尺度の得点の変化は、心拍変動の標準偏差(standard deviation)と心拍の偏差の連続量(mean squared successive difference)の指標と相関を示し、このような連関は薬物に対して高い反応を示した患者において顕著であった。ただし、治療前の心拍変動の程度はうつ病症状の程度や治療に対する反応を予測しなかった。このように、心身における治療的な変化が現れる過程において実際に心拍変動が増大する結果は、認知行動療法と薬物療法を併用したパニック障害の治療においても確かめられている(Prasko et al., 2011)。また、Sakakibara et al. (1994)は自律訓練法によって実験参加者をリラクゼーション状態に誘導し、心拍変動各指標を検討した。5分間の自律訓練法を断続的に3回実施したところ、安静のみを保つコントロール条件と比較して、心拍変動HF成分の振幅は徐々に増加することを見出した。

以上の例にみられるように、心拍変動の減少した状態は疾病を含めたストレスの状態と関連すること、さらに、心拍変動の増大は病的な状態からの回復やリラクゼーション状態において観察される事実から、心拍変動は心身の適応状態を反映する指標であると考えられる。

3. 心肺系の休息機能と呼吸性不整脈(心拍変動HF成分)

心拍変動の増大は、さらに、心肺系の休息機能と関連することが実験的に確かめられている。Hayano et al. (1996)は麻酔イヌを用いて人工的に呼吸性不整脈を起こさせる操作を行った。吸気時に心拍が増加する呼吸性不整脈モデル、吸気時に心拍が減少する逆呼吸性不整脈モデル、呼吸に伴って心拍変動が生じない対照モデルを作成して比較したところ、対照モデルに比べ呼吸性不整脈モデルの生理的死腔率・肺内シャント率は著明に低下し、逆呼吸性不整脈モデルのそれらは

増大したことから、呼吸性不整脈が肺のガス交換効率を改善する効果をもつことを示した。

この事実をもとに、Hayano & Yasuma (2003)は安静時の呼吸性不整脈は心肺系における能動的な休息機能であると主張している。安静時(端的には睡眠中)は酸素需要が低下するので、生体機能は呼吸数と心拍数を減らしてエネルギー消費を抑える方向へ向かう。この際、呼吸性不整脈は吸気によって肺胞気量が増加するときに心拍数を上昇させることで(肺血流を増加させることで)、ガス交換を効率化させている。一方、呼気相(呼吸停止期間がより延長した状態)では、ガス交換に寄与しない不必要な心拍を減らすことで能動的にエネルギーの消費を節約している。このような特徴は安静時においてそのメリットが発揮され、睡眠をはじめとしてリラックスした状態の呼吸性不整脈の程度は心肺系の休息(回復)機能を反映した指標になると考えられている。

以上のようなことから考えると、心拍変動の増大は身体の休息機能を高める方向へ作用し、病的状態からの回復過程に寄与しているのかもしれない。

4. 心拍変動バイオフィードバック法の手続き

これまで心拍変動が心身の適応状態を反映し、心拍変動の増大が身体の休息(回復)機能に関連していることをみてきた。ここでは、HRV-BF法の具体的な手続きについて解説する。

バイオフィードバック(biofeedback)とは、生体情報をコンピュータ画面などにリアルタイム表示することによって、自ら身体の状態を確かめながら望ましい方向へ変化させようとする技法の総称である。皮膚温、筋電図、脳波をはじめとしてさまざまな生理的パラメータを利用したバイオフィードバック法が開発され、臨床的にも多くの応用がなされている(e.g. Schwartz & Andrasik, 2003)。HRV-BF法は心拍変動と呼吸曲線をコンピュータ画面上に捉え、刻一刻と変化する両者の対応関係を見ながら心拍変動を増大させる方向へ訓練する技法である。具体的に、心拍変動の振る舞い(心拍数の増加と減少)を自ら確認しながら、ゆっくりした呼吸統制を行う。この際、心拍変動が呼吸に応じて大きくなることが予想されるが、無理なく呼吸を統制できる範囲で、心拍変動の振幅が最も大きくなるポイント(呼吸の頻度[呼吸の長さ])を探りながら実施することになる。

図3はパーソナルコンピュータを利用したHRV-BF法の訓練画面を表している(安静条件)。図の上側に

は経時的な心拍数の変化（心拍変動）（dot を線で結んだもの）と呼吸曲線（dot のないもの）が表示されている。呼吸性不整脈の働きによって呼吸と心拍が同期している様子がわかる。また、図の下側は刻々と表示される心拍変動のスペクトル分析結果を示している。約0.25Hz 付近にスペクトルのピークがあり、約15回/分の頻度で心拍変動が生じていることを表している。

図4はHRV-BF法を実施した際の心拍と呼吸の変化を表している。安静時（図3）と比べ緩徐で比較的大きな振幅を呈しているのがわかる。HRV-BF法の訓練では、心拍変動（dot 線）の直下に呼吸の長さを統制するための pacer が表示され、この上を移動していく光点に呼吸を合わせるようになっている。図下側のスペクトルはちょうど0.1Hzのところにてピークを形成していることから、呼吸統制が6回/分の頻度で行われ、

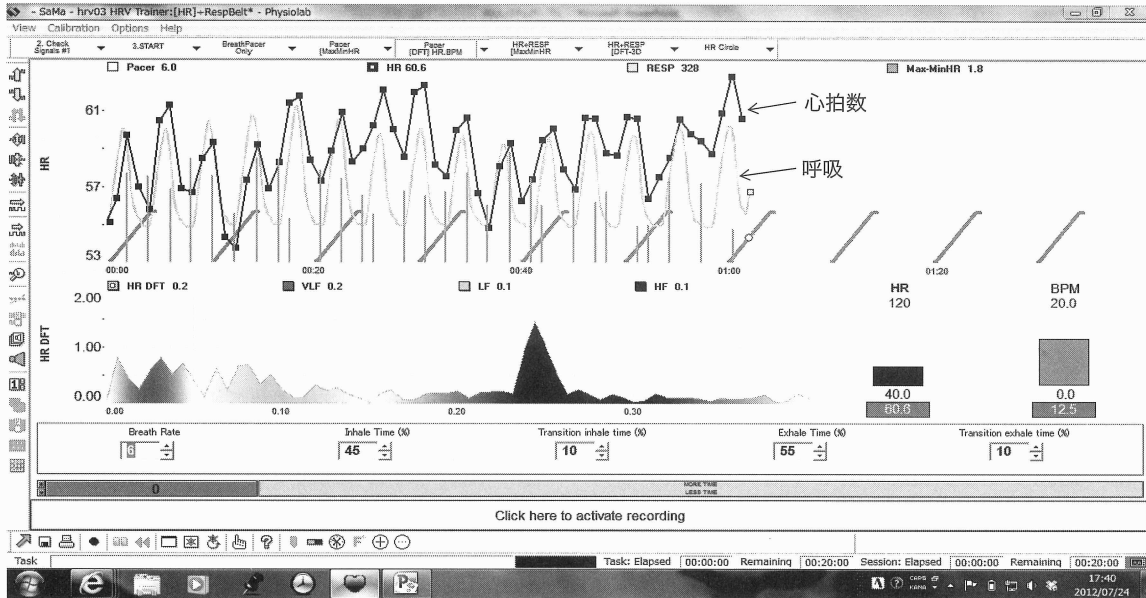


図3 安静時の心拍変動と呼吸曲線

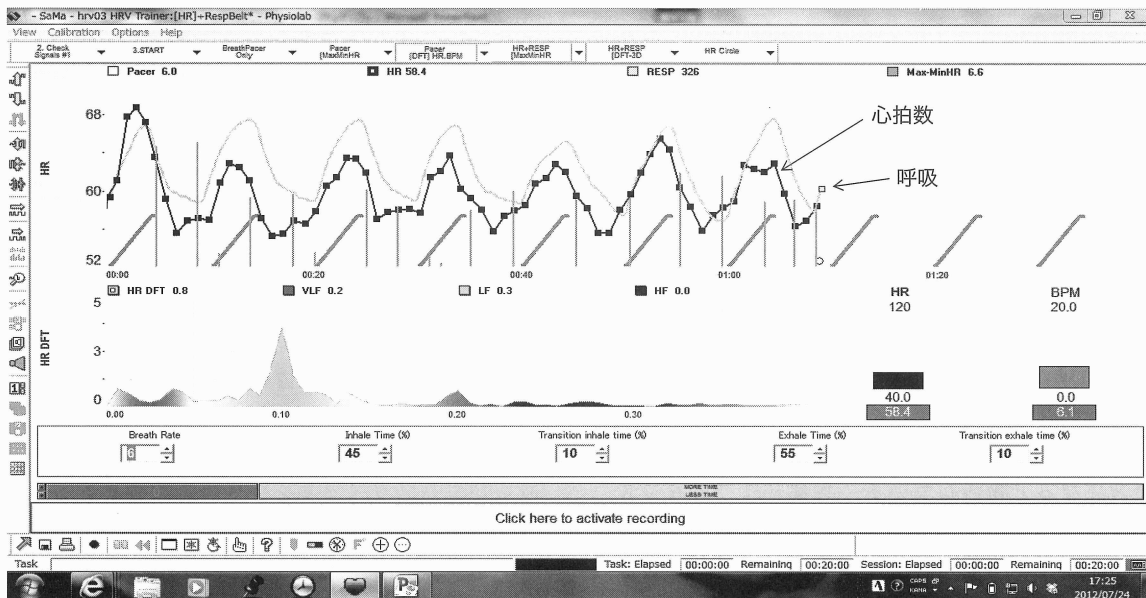


図4 心拍変動バイオフィードバック訓練中の心拍変動と呼吸曲線

それに伴う心拍変動 (RSA) の振幅が顕著になっている様子がわかる。

訓練マニュアル (Lehrer, 2007) では、最初の訓練セッション (第1週) において、試験的に6.5回/分、6回/分、5.5回/分、5回/分、4.5回/分の頻度の呼吸統制を pacer によって誘導し、心拍変動が最も大きくなる頻度を特定する。次のセッション (第2週) では、呼吸統制が無理なく行えるよう腹式呼吸の要領を学ぶようになっている。この際、注意しなければならないのは過呼吸であり、少しでもその傾向 (めまいなど) が認められた場合は呼吸を浅くすることが教示される。これらのセッションの後、自宅で1日に合計で20分の呼吸統制を練習するよう求められる。第3週以降のセッションでは自宅練習の過程で生じた疑問に答え、もし、参加者が誤った手続きを理解しているならば、それを修正することになっている。基本的に、実験室における訓練セッションでは心拍変動データの測定や心理質問紙の実施を行う。

5. 心拍変動バイオフィードバック法の理論的作用機序

これまで、心拍変動の特徴と HRV-BF 法の手順を示し、訓練の過程では心拍変動が著しく増大する様子を見てきた。ここでは、このような手続きが自律神経機能に及ぼす機序について具体的に考えていく。

HRV-BF 法では、はじめに参加者 (あるいは患者) の心拍変動の振幅が最も大きくなるような呼吸の頻度 (呼吸の長さ) が特定されると、それが当該参加者の訓練すべき呼吸ペースとなる。これまでの実験的検討では、概ね約6回/分 (約0.1Hz) の呼吸になることが多いが、厳密には身長や性によって異なることが知られている (Vaschillo et al., 2002)。

実際に、この頻度で呼吸を統制すると呼吸性不整脈の働きによって心拍も同様の頻度で変動する。このとき、呼吸性の心拍変動は LF 成分と重なり合うことになり、すなわち圧受容体反射を介した血圧調節に関わるリズムと合致する。Vaschillo et al. (2004) は、このリズムで呼吸をした時、それによって起こる心拍数変化 (呼吸性不整脈) は 0° の位相で追従する一方、血圧は 180° の位相をもって反応することから、これらの間に“共鳴 (resonance)” が生じ、心拍変動の大きさはこのとき最大になると報告している。共鳴とは、あるシステムの振動 A (ここでは約10秒周期の血圧変動) に対し、副次的なシステムの振動 B (ここでは呼吸性の心拍変動: 呼吸性不整脈) が A に固有な振動数に近い値で与えられると、お互いが共振して振幅を大き

くする現象をいう。例えば、揺れているブランコが頂点に達した際に適切なリズムで力を加えてやると、ブランコの揺れ幅が大きくなり、揺れが持続する場合はこれにあたる。

具体的に、このようなリズムで呼吸を行った際の心拍、血圧の変化を考えてみよう。図5はこれらの関係を模式的に示したものである。図の上段が呼吸、中段が心拍数、下段が血圧をそれぞれ表している。息を吸うとそれに伴って心拍数は直ちに増加する (図中 A)。これに対し、(血管収縮に関わる交感神経が働いて) 血圧が上昇するまでに約5秒の遅れを生じる (図中 B)。次に、この血圧上昇に対して圧受容体反射が働くため、(副交感神経の働きによって) 心拍数は直ちに低下する。さらに、この時点では息を吐く相になって呼吸性不整脈による心拍数低下が生じており、ちょうど圧受容体反射による心拍数低下のタイミングと一致することになる。次に起こる血圧の低下 (図中 C) に圧受容体反射が働いて心拍数が増加すると、今度は吸気に伴う心拍数増加が重なることになる。このようなタイミングの一致によって心拍変動 (心拍数の増減の幅) がより大きなものになると考えられている。実際の HRV-BF 法の訓練セッションでは、各パラメータの位相関係を確認することはないため、ゆっくりとした呼吸を行うことによって呼吸性不整脈を惹起させ、その振幅が最大となる呼吸周波数において共鳴が生じているものとする。ただし、先に述べたように、共鳴が生じる周波数には個人差があり、4.5回/分~6.5回/分の範囲で最も効率のよい (呼吸性不整脈が最大となる) リズムを探すことになる。

このような手続きは、圧受容体反射と呼吸性不整脈の過程を頻回に刺激することになるため、より効率的に反射を生じさせる訓練になると考えることができる。実際、HRV-BF 法の定期的な訓練は健常者および慢性心臓疾患患者の安静時の圧反射感度を高めることが見出されている (Lehrer et al., 2003; Bernardi et al., 2002)。また、先に述べたように、呼吸性の心拍変動の増大はガス交換効率の向上や不必要な心拍の抑制をもたらすことから、身体はより休息 (回復) の方向へシフトしていくことが考えられる。事実、共鳴周波数 (resonant frequency) において呼吸統制を行うことが最も効率的にガス交換を行う可能性のあることが指摘されている (Vaschillo et al., 2004)。

以上のような点から、日常における継続的な HRV-BF 法の練習は、さまざまなレベルの自律神経調節機能を刺激し、休息機能の向上に寄与していると考えら

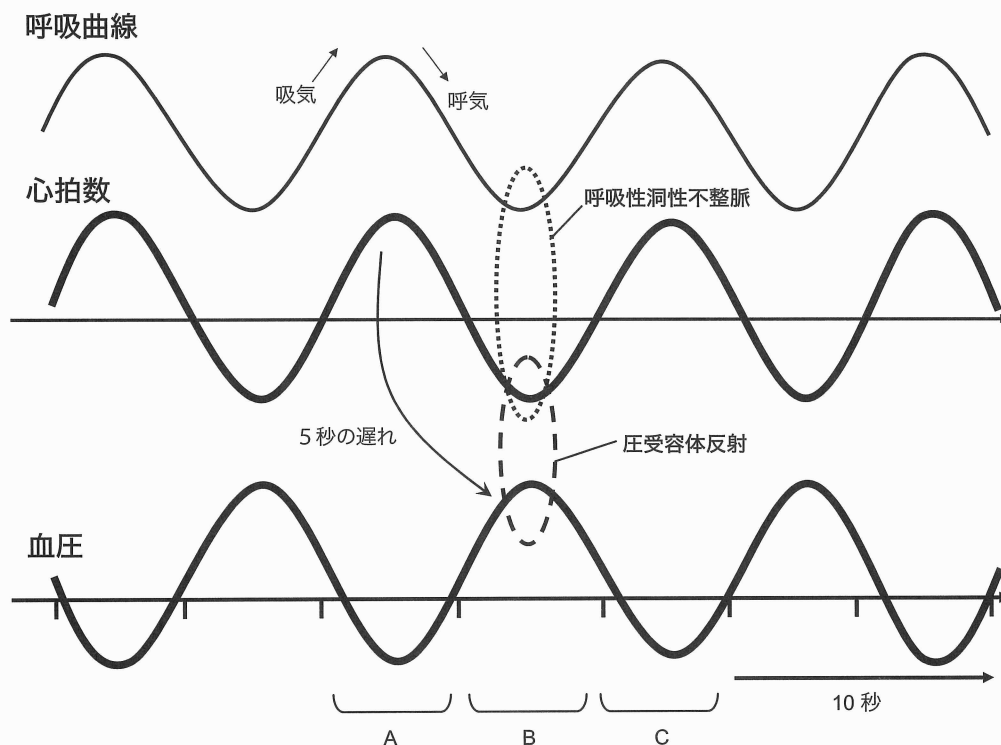


図5 心拍変動バイオフィードバックにおける心拍と血圧の共鳴モデル

れる。総合的に、HRV-BF法はこれらの過程を経て身体の内平衡（身体の状態を常に一定に保とうとする働き）を活性化させ、病的な状態からの回復に貢献しているのかもしれない（Lehrer, 2007）。

6. 情動の調整に対する影響

情動の調整にHRV-BF法はどのように影響しているのだろうか。これまでみてきたように、HRV-BF法は圧受容体反射を刺激し、その感度を高めることが指摘された。興味深いことに、圧受容体反射の高まった状態では、ネガティブな感情が抑えられることが報告されている。Mini et al. (1995)は、PRES（phase related external suction）という方法によって人為的に圧受容体反射を引き起こしながら、実験参加者に快、不快、中性的な感情を喚起するスライドを呈示した。スライドに対する主観的な痛み評価（ネガティブな感情の評価）、体性誘発電位（somatic evoked potential）、皮膚抵抗反応（skin conductance response）を測定したところ、PRESによって圧受容体反射が高められた条件では、それが低められた条件に比較して、不快な情動刺激（スライド）に対する痛み評価の低下、体性誘発電位によって評価された皮質活動の抑制傾向、皮膚抵抗反応の

低下がみられたことを報告した。圧受容体反射の機構は血圧調節だけでなく視床下部にも投射していることから（Mini et al., 1995）、Lehrer et al. (1999)は、HRV-BF法は自律神経機能のみならず大脳辺縁系（情動制御に関わる脳内機構）を含んだより大きな調節系に影響を及ぼしているのではないかと推測している。

ところで、緩徐な呼吸の統制は中枢活動に影響を及ぼしていることが指摘されている。Fumoto et al. (2004)は3～4回/分のゆっくりとした腹式呼吸を閉眼で行った際、測定当初から出現していた（閉眼に伴う）脳波 α 波（8～10Hz）は徐々に減少し、それに代わるように、次第に速い周波数の α 波（10～13Hz）が増加することを報告した。このような呼吸の統制の後、気分プロフィール検査（POMS）の「活気」が増加し「緊張—不安」が低下することを見出した。この実験において、呼吸統制を行わない条件で観察された閉眼安静時の8～10Hzの範囲の α 波は時間経過とともに θ 波や δ 波に移行し、この際、参加者は眼気を催した。これらの事実から、呼吸統制を実施した際の10～13Hzの範囲の α 波は抗不安・活気増加に関連すること、さらに、実験では尿中のセロトニン量が増加していたことから、緩徐な呼吸統制によってセロトニン神

経が活性化されることを示唆した。セロトニン神経の活性化は抑うつ改善に関連することが知られているが（有田，2003），緩徐な呼吸統制を行う HRV-BF 法が当該効果をもたらしている可能性も考えられよう。この点に関しては，いずれにしても，緩徐な呼吸統制を含め，HRV-BF 法に関する基礎的な検討がさらに必要となるだろう。

IV. まとめ（今後の課題）

本論文は，はじめに HRV-BF 法における治療的介入研究および臨床的な応用例を紹介した。大うつ病，繊維筋痛症，心的外傷後ストレス障害，不安・不眠などに適用された HRV-BF 法は，多くの心身医学的問題において典型的ともいえる抑うつ，不安，不眠などに対して特に効果を発揮しているように思われた。次に，HRV-BF 法の基礎的検討から導き出された理論的作用機序について解説するために，心拍変動の特徴，休息機能と心拍変動の関連性などについて触れた後，HRV-BF 法の手続きを概観した。その結果，HRV-BF 法は血圧の調節機能（圧受容体反射）の特徴を巧みに利用した方法であり，この調節機能に関わる交感神経および副交感神経の活性化を引き起こすだけでなく，休息機能やホメオスタシス機能の促進を引き起こすことが示唆された。さらに，HRV-BF 法は中枢神経系にも作用する可能性のあることが示された。HRV-BF 法の根幹をなす緩徐な呼吸統制を含め，今後さらなる基礎的検討の重要性が指摘された。

具体的に，HRV-BF 法の作用機序において指摘された“共鳴（resonance）”は圧受容体反射の時間的特性，すなわち心拍変動 LF 成分の周波数特性に着目した現象であった。心拍変動にはさらに血管運動（あるいは体温の制御）に関わるとされる超低周波成分（VLF）が知られており，Vaschillo et al. (2009) はこの成分の共鳴の可能性について議論している。例えば，バイオフィードバックを使って呼吸を統制し，心拍変動 VLF 成分との間に共鳴を起こさせるようにすると，体温に関わるなんらかの変化がみられるかもしれない。これに関し，Lehrer et al. (1999) は興味深い知見を報告している。彼は坐禅を行った際の心拍変動を分析し，修行経験の長い僧ではこの成分に近い頻度（周波数）で呼吸を統制していることを見出した。実験は冬期に実施されたにも関わらず，禅堂の窓を開放した状態で坐禅が行われ，何人かの僧は身体の温かささえ感じたという。このような例は，坐禅の呼吸法が心拍

変動 VLF 成分に近い特徴を有し，瞑想中，共鳴が生じていた可能性を示唆している。今後，このような特殊な呼吸統制の条件において圧受容体感受性や体温感覚の変化などを検討する必要があるだろう。

また，先に述べたように HRV-BF 法では呼吸性の心拍変動の増大によって休息機能が高められる可能性についても示した。特に，心拍変動は睡眠中において増大する事実から，我々が日常のストレスに対処する上で（ストレスから回復する上で），睡眠中の心拍変動は重要な意義をもっている（Sakakibara et al., 2008）。このことから，Sakakibara et al. (2011) は就寝前に HRV-BF 法を実施した際の睡眠中の休息機能（心拍変動 HF 成分）の変化を分析している。進行中の検討ではあるものの，仮に HRV-BF 法によって睡眠中の休息機能が増加するならば，HRV-BF 法による不眠改善の機序の一端を示すことができるかもしれない。さらに，睡眠中の休息機能を確実に起こさせるように HRV-BF 法の手順を洗練することで，抑うつや不安の軽減をさらに効率的に発揮させることができるかもしれない。

HRV-BF 法の臨床効果を下支えするために，いずれの課題についてもより多角的な検討のされ方が重要であると考えられる。今後，さまざまな基礎的検討によってもたらされる知見（あるいはその整理）は，将来，本邦において HRV-BF 法を臨床的に適用する際に大いに役立つだろう。なお，実際の適用にあたっては，はじめに健常者の範疇でストレス症状を強く感じる者において実践し，次に臨床群で検討するといった段階的なアプローチを踏むことも大切である。

心理学領域における伝統的な治療（心理療法）は，さまざまな理論モデルを通してクライアント（または患者）に認知的な安定をもたらす，環境への再適応を促してきた。これに対し，HRV-BF 法はむしろ身体的な安定をもたらすように作用している。HRV-BF 法によって症状の軽減（病的状態からの回復）をはかることで，心理療法過程における認知的な問題解決をいっそう促進させることができるのではないかと考える。このことはすなわち心身両面からのアプローチの重要性を表している。

引用文献

- Agelink, M. W., Boz, C., Ullrich, H., & Andrich, J. (2002). Relationship between major depression and heart rate variability. Clinical consequences and implications for antidepressive treatment. *Psychiatry Research*, 113, 139–149.

- 有田秀穂 (2003). セロトニン欠乏脳—キレル脳・鬱の脳をきたえ直す—. NHK 出版 (生活人新書).
- 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.
- Bernardi, L., Porta, C., Spicuzza, L., Bellwon, J., Spadacini, G., Frey, A. W., Yeung, L. Y., Sanderson, J. E., Pedretti, R., Tramarin, R. (2002). Slow breathing increases arterial baroreflex sensitivity in patients with chronic heart failure. *Circulation*, 105, 143–5.
- Berntson, G. G., Bigger, J. T. Jr., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M. (1997). Heart rate variability, origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623–648.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Quigley, K. S. (1993). Respiratory sinus arrhythmia, autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications. *Psychophysiology*, 30, 183–196.
- Bonnet, M. H. & Arand, D. L. (1997). Heart rate variability, sleep stage, time of night, and arousal influences. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102, 390–396.
- Cohen, H., Kotler, M., Matar, M., & Kaplan, Z. (2000). Normalization of heart rate variability in post-traumatic stress disorder patients following fluoxetine treatment: Preliminary results. *The Israel Medical Association Journal*, 2, 296–301.
- Chambers, A. S. & Allen, J. J. (2002). Vagal tone as an indicator of treatment response in major depression. *Psychophysiology*, 39, 861–864.
- Del Pozo, J. M., Gevirtz, R. N., Scher, B. & Guarneri, E. (2004). Biofeedback treatment increases heart rate variability in patients with known coronary artery disease. *American Heart Journal*, 147, E11.
- Fleisher, L. A., Frank, S. M., Sessler, D. I., Cheng, C., Matsukawa, T., & Vannier, C. A. (1996). Thermoregulation and heart rate variability. *Clinical Science*, 90, 97–103.
- Fumoto, M., Sato-Suzuki, I., Seki, Y., Mohri, Y., Arita, H. (2004). Appearance of high-frequency alpha band with disappearance of low-frequency alpha band in EEG is produced during voluntary abdominal breathing in an eyes-closed condition. *Neuroscience Research*, 50, 307–317.
- Grossman, P., Karemaker, J. & Wieling, W. (1991). Prediction of tonic parasympathetic cardiac control using respiratory sinus arrhythmia, the need for respiratory control. *Psychophysiology*, 28, 201–216.
- 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.
- Hassett, A. L., Radvanski, D. C., Vaschillo, E. G., Vaschillo, B., Sigal, L. H., Karavidas, M. K. (2007). A pilot study of the efficacy of heart rate variability (HRV) biofeedback in patients with fibromyalgia. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 32, 1–10.
- Hayano, J., Mukai, S., Sakakibara, M., Okada, A., Takata, K., & Fujinami, T. (1994). Effects of respiratory interval on vagal modulation of heart rate. *American Journal of Physiology*, 267, H33–40.
- Hayano, J., Sakakibara, Y., Yamada, A., Yamada, M., Mukai, S., Fujinami, T. (1991). Accuracy of assessment of cardiac vagal tone by heart rate variability in normal subjects. *American Journal of Cardiology*, 67, 199–204.
- Hayano, J., Yamada, A., Mukai, S., Sakakibara, Y., Yamada, M., Ohte, N., Hashimoto, T., Fujinami, T., & Takata, K. (1991). Severity of coronary atherosclerosis correlates with the respiratory component of heart rate variability. *American Heart Journal*, 121, 1070–1079.
- Hayano, J., Yasuma, F., Okada, A., Mukai, S. & Fujinami, T. (1996). Respiratory sinus arrhythmia. A phenomenon improving pulmonary gas exchange and circulatory efficiency. *Circulation*, 94, 842–847.
- Hayano, J., & Yasuma, F. (2003). Hypothesis, respiratory sinus arrhythmia is an intrinsic resting function of cardiopulmonary system. *Cardiovascular Research*, 58, 1–9.
- Hirsch, J. A., & Bishop, B. (1981). Respiratory sinus arrhythmia in humans, how breathing pattern modulates heart rate. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology*, 241, H620–H629.
- Karavidas, M. K., Lehrer, P. M., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Marin, H., Buyske, S. (2007). Preliminary results of an open label study of heart rate variability biofeedback for the treatment of major depression. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 32, 19–30.
- Karavidas, M. (2008). Heart rate variability biofeedback for major depression. *Biofeedback*, 36, 18–21.
- 貴邑富久子・根来英雄 (1996). シンプル生理学. 南江堂：東京.
- Kleiger, R. E., Miller, J. P., Bigger, J. T. Jr. & Moss, A. J. (1987). Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*, 59, 256–262.
- Khaykin, Y., Dorian, P., Baker, B., Shapiro, C., Sandor, P., Mironov, D., Irvine, J., Newman, D. (1998). Autonomic correlates of antidepressant treatment using heart-rate variability analysis. *Canadian Journal of Psychiatry*, 43, 183–186.
- Lehrer, P. M., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lu, S. E., Scardella, A., Siddique, M. (2004). Biofeedback treatment for asthma. *Chest*, 126, 352–61.
- 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.
- 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.
- Lehrer, P., Sasaki, Y., Saito, Y. (1999). Zazen and cardiac variability. *Psychosomatic Medicine*, 61, 812–821.
- Madwed, J. B., Albrecht, P., Mark, R. G., & Cohen, R. J. (1989). Low-frequency oscillations in arterial pressure and heart rate, a simple computer model. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology*, 256, H1573–H1579.
- Mini, A., Rau, H., Montoya, P., Palomba, D., Birbaumer, N. (1995). Baroreceptor cortical effects, emotions and pain. *International Journal of Psychophysiology*, 19, 67–77.
- Nishith, P., Duntley, S. P., Domitrovich, P. P., Uhles, M. L., Cook, B. J., & Stein, P. K. (2003). Effect of cognitive behavioral therapy on heart rate variability during REM sleep in female rape victims with PTSD. *Journal of Traumatic Stress*, 16, 247–250.
- McLay, R. N., & Spira, J. L. (2009). Use of a portable biofeedback device to improve insomnia in a combat zone, a case report. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 34, 319–321.
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan, R., Pizzinelli, P. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and conscious dog. *Circulation Research*, 59, 178–193.
- Penaz, J. (1978). Mayer waves; history and methodology. *Automedica*, 2, 135–141.
- Pomeranz, B., Macaulay, R. J. B., Caudill, M. A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D. (1985). Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology*, 248, H151–H153.
- 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. *Neuro Endocrinology Letters*, 32, 641–651.
- Sack, M., Nickel, L., Lempa, W., & Lamprecht, F. (2003). Psychophysiologische regulation bei patienten mit PTSD: Veränderungen nach EMDR-behandlung = psychophysiologische regulation in patients with PTSD: Improvement after EMDR-treatment. *Zeitschrift für Psychotraumatologie und Psychologische Medizin*, 1, 47–57.
- 佐々木雄二 (1981). 自律訓練法の実際. 創元社: 東京.
- 榊原雅人 (1992). 心拍変動のスペクトル分析による自律神経機能の評価 —鏡映描写課題における検討—. *心理学研究*, 63, 123–127.
- 榊原雅人 (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.
- Sakakibara, M., Takeuchi, S., & Hayano, J. (1994). Effect of relaxation training on cardiac parasympathetic tone. *Psychophysiology*, 31, 223–228.
- Sakakibara, M., Kanematsu, T., Yasuma, F., & Hayano, J. (2008). Impact of real-world stress on cardiorespiratory resting function during sleep in daily life. *Psychophysiology*, 45, 667–670.
- Sakakibara, M., Hayano, J., Leo, O. Oikawa, Katsamanis, M., & Lehrer, P. (2011). HRV biofeedback improves cardiorespiratory resting function during sleep. AAPB 2011 annual meeting: San Diego, California.
- Schwartz, M. S. & Andrasik, F. (Eds.) (2003). *Biofeedback: A practitioner's guide* (3rd edition). The Guilford Press, New York.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability, standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93, 1043–1065.
- Taylor, J. A., Carr, D. L., Myers, C. W., & Eckberg, D. L. (1998). Mechanisms underlying very-low-frequency RR-interval oscillations in humans. *Circulation*, 98, 547–55.
- van der Kolk, B. A. (2006). Clinical implications of neuroscience research in PTSD. In Yehuda (Ed.), *Psychobiology of posttraumatic stress disorders: A decade of progress* (pp. 277–293). Oxford: Blackwell Publishing.
- Vaschillo, E., Lehrer, P., Rishé, N., Konstantinov, M. (2002). Heart rate variability biofeedback as a method for assessing baroreflex function: a preliminary study of resonance in the cardiovascular system. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27, 1–27.
- Vaschillo, E., Vaschillo, B. & Lehrer, P. (2004). Heartbeat synchronizes with respiratory rhythm only under specific circumstances. *Chest*, 126, 1385–1386.
- Vaschillo, E., Vaschillo, B., & Lehrer, P. (2009). Resonance in heart rate variability in the very low frequency range. AAPB 2010 annual meeting: Albuquerque, New Mexico.
- Watkins, L. L., Grossman, P., Krishnan, R., Sherwood, A. (1998). Anxiety and vagal control of heart rate. *Psychosomatic Medicine*, 60, 498–502.
- Yeragani, V. K., Balon, R., Pohl, R., & Ramesh, C. (1995). Depression and heart rate variability. *Biological Psychiatry*, 38, 768–70.
- Yeragani, V. K., Jampala, V. C., Sobelowski, E., Kay, J., Igel, G. (1999). Effects of paroxetine on heart period variability in patients with panic disorder: a study of holter ECG records. *Neuropsychobiology*, 40, 124–128.
- Zucker, T. L., Samuelson, K. W., Muench, F., Greenberg, M. A.,

& Gevirtz, R. N. (2009). The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and

posttraumatic stress disorder symptoms, a pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 34, 135–143.

最終版平成23年8月6日受理

Clinical Application of Heart Rate Variability Biofeedback: Therapeutic Effectiveness and Theoretical Foundations

Masahito SAKAKIBARA

Abstract

Heart rate variability (HRV) biofeedback refers to a technique for increasing overall heart rate variability. A number of HRV biofeedback studies have demonstrated that the technique used with paced breathing at a rate of about 0.1 Hz has clinical utility for the treatments of physical and mental disorders that involve autonomic nervous system dysregulation. This paper introduced clinical applications of HRV biofeedback for patients with major depression, fibromyalgia, post-traumatic stress disorder, anxiety state, and sleep disturbance. Additionally, an explanatory model of the effects of HRV biofeedback on baroreflex mechanism was explicated, in which HRV biofeedback is accompanied by the paced breathing at a 0.1 Hz, directly stimulates resonance properties of the cardiovascular system in the low frequency range of HRV. Finally, the present paper proposed that further study will be needed to support the therapeutic effectiveness of HRV biofeedback. The importance of basic research for clinical application of HRV biofeedback was discussed.

Keywords: heart rate variability, biofeedback, breathing control, depression, fibromyalgia, post-traumatic stress disorder, anxiety, sleep disturbance