

## 呼吸法はなぜ健康によいのか？

—— 心拍変動バイオフィードバック法からみた自律神経メカニズムと心理学的効果 ——

Why is the abdominal breathing method good for health?

— an autonomic mechanism related to heart rate variability and psychological effects —

榑 原 雅 人

Masahito SAKAKIBARA

キーワード：腹式呼吸法、緩徐な呼吸コントロール、心拍変動バイオフィードバック法、  
圧受容体反射、自律神経機能

Key words : abdominal breathing method, slow-breathing control, heart rate variability  
biofeedback, baroreceptor reflex, autonomic nervous function

### 要約

明治期、健康への効能をうたった腹式呼吸法が広く普及していた。腹式呼吸とは下腹を意識した緩徐な呼吸のコントロールである。現代においても呼吸法に関する出版が多くなされており、本研究は腹式呼吸法の効能を説明するために、緩徐な呼吸のコントロールの生理心理的效果を検討した。その目的のため、心拍変動バイオフィードバックの説明モデルを利用した。心拍変動は主に高周波成分(呼吸性不整脈)と低周波成分から成り、前者は肺のガス交換効率を助け、その振幅は休息機能の指標となることが示唆されている。後者は交感神経と副交感神経の両者を反映し、圧受容体反射に関連している。より大きな程度的心拍変動は身体の内メオスタシス機能(身体を常に一定に保とうとする反射)を高め、一般に身体の適応的状態の指標となることが示唆されている。約6回/分の緩徐な呼吸のコントロールは高周波と低周波成分の同期を引き起こして大きな振幅の心拍変動を生じさせる。加えて、坐禅などいくつかの瞑想技法においてはこの頻度の呼吸コントロールが行われているとされている。Lehrerら(2003)はこの緩徐な呼吸コントロールによって引き起こされる心拍変動の増大は圧反射機能を活性化させるとする仮説を提案している。圧受容体反射は血圧を調節するとともに、その投射は視床下部を刺激し、身体的全般的な自律神経に関わる内メオスタシス機能に一定の役割を果たしていると示唆されている。腹式呼吸法においてもこれと同様の効果が期待できるかもしれない。論文ではこれらの事実から腹式呼吸法が身体の内健康に及ぼす効能が考察された。

### Abstract

In the Meiji era, several schools of abdominal breathing advocated its effectiveness for maintaining physical health. These included those resulting from improvements in

respiratory function, insomnia, neurasthenia and obesity. The abdominal breathing method involves slowly breathing into the lower abdomen. Recently, there has been renewed interest in abdominal breathing, as is evident by the increase in the number of publications on this topic. This present paper examined the psychophysiological effects of abdominal breathing, in order to identify its effects on health. First, an explanatory model of the effects of heart rate variability biofeedback (HRV-BF) on baroreflex was explicated. HRV has two major components, the 0.15-0.4 Hz high-frequency (HF) fluctuation that reflects respiratory sinus arrhythmia and 0.04-0.15 Hz low-frequency (LF) fluctuations in the cardiovascular system. HF component improves cardiopulmonary gas exchange efficiency and its amplitude provides an index of cardiopulmonary resting function. LF component reflects sympathetic cardiac function with vagal modulation and is associated with baroreflex. The greater amplitude of HRV suggests more active homeostatic reflexes and it may be an index of adaptive capacity. Slow breathing at approximately 6 cycles/min during HRV-BF causes a large increase in HRV, because of the synchronization between HF and LF components at this breathing rate. Additionally, several meditative techniques, such as Zen (Lehrer et al., 1999), rosary prayers and yoga (Bernardi et al., 2001) are associated with breathing at approximately 6 cycles/min and they produce predictably large increases in HRV at that frequency. Lehrer et al. (2003) hypothesized that the increase in HRV resulting from slow breathing has the effect of exercising the baroreflexes. Baroreflex activity modulates blood pressure, and projections from the baroreflexes stimulate the hypothalamus and play a role in general autonomic homeostasis. Abdominal breathing is expected to have a similar effect on the autonomic homeostatic function. Effects of abdominal breathing on physical health are discussed.

### はじめに

私たちはふだんの生活の中で自然に呼吸をしている。しかし、呼吸はある程度の時間なら自らコントロールすることができる。意識的に行う呼吸の作法が「呼吸法」であり、その起源は釈尊の呼吸法にあるとされている（村木, 2001a; 須田, 2006）。今日では坐禅やヨガなどの瞑想過程に呼吸法をみることができるが、一方で私たちの現代生活の中にも健康法としての呼吸法がさまざまに取り上げられ浸透しているように思われる。

本研究は呼吸法が身体の健康に与える効果を主に自律神経機能の面から考察することを目的とした。自律神経は身体のさまざまな反射、調節作用を担い、私たちの健康を支えている。後述す

るように、呼吸と心拍、血圧は自律神経を介して密接な関係にあり、呼吸のあり方が変わることによってこれらの関係が変化し身体機能は大きな影響を受けると考えられる。本稿では、はじめに腹式呼吸法の特徴を概観し、身体の健康の維持・増進に寄与すると思われる要因を指摘する。次に、呼吸、心拍、血圧の関係性を捉えるために心拍変動と自律神経機能について解説した後、心拍変動バイオフィードバック法が自律神経を活性化する理論的な根拠について紹介する。

心拍変動バイオフィードバック法は、近年、ストレスに関わるさまざまな疾病に適用され成果を上げている応用心理生理学の手法である。この方法はゆっくりとした呼吸のコントロールを行うことを特徴とし、それが自律神経機能を活性化させるとする機序を理論的に説明している。これらの点を踏まえ、本稿では、呼吸法においても同様のメカニズムが身体機能に効果を発揮し、いわゆる健康の維持や増進に貢献している可能性のあることを指摘する。すなわち、心拍変動バイオフィードバック法を呼吸法のモデルとして扱うことで、呼吸法が身体の健康に果たす役割について考えてみたい。

## I. 呼吸法の特徴

### 1. 腹式呼吸法

わが国では明治末頃から大正にかけて「呼吸法」が広く普及していた（高橋，2005；高橋，2006）。代表的なものに、「岡田式呼吸静坐法」、「二木式腹式呼吸法」、「藤田式息心調和法」などがあり、いずれも健康の維持・増進の目的をもって民間に広まったという。当時、日本人の体力は現代に比べ低いレベルにあり、学校への入学の際に重視された身体検査に合格しなかった者や学校教育を受けていない者は民間の健康法に頼らざるを得なかったこと、さらに、結核の予防に体育や深呼吸が北里柴三郎によって奨励されていたという背景のあったことが指摘されている（高橋，2006）。

それ以降、昭和にかけて二木式腹式呼吸法や藤田式息心調和法の流れを汲む「丹田呼吸法」が繰り返し紹介され（高橋，2006；村木，2001a；村木 2001b）、近年においても、呼吸法に関する出版は多数にのぼっている。また、テレビなどのメディアに取り上げられることもしばしばである（NHK，2004；NHK，2005）。

このように、呼吸法に関心が寄せられてきた背景には一般的に健康の維持や増進、あるいはダイエットなどの効用が期待されていたためであろう。実際、上記の呼吸法によって得られる効能には、血液循環の改善、呼吸機能の向上、胃腸運動の改善、神経衰弱や不眠の予防、肥満や痩せの改善などがあげられていた（村木 2001b；高橋，2005；高橋，2006）。また、二木式呼吸法には「心胆を練り大胆の気象を養ふ」とか、岡田式静坐法では「神気を落着け、胆を練り、頭を明快にし、外圍を支配する気魂を養ひ心身を強健にする」などの記述がみられ、身体機能のみならず精神的な効果も強調されていた（高橋，2005）。これらの点は、もともと病弱であった創始者の

岡田虎二郎や二木謙三が白隠禅師（『夜船閑話』）や平田篤胤（『志都能石屋』）の影響を受け（高橋, 2005; 高橋, 2006）、自ら呼吸法を実践して健康を回復していった経験に支えられていたと考えられる。実際、『志都能石屋』には修行中に体調を崩した白隠が丹田（腹式）呼吸で元気を取り戻したことや、篤胤の父が若い頃病身であったがある老人から「臍下に気を練り畳むの修法」（就寝時、臍下を意識しながら呼吸を数える手続き、坐禅の数息観と考えられる）によって長寿を全うしたエピソードが記されている（平田篤胤全集刊行会, 1977）。

## 2. 呼吸法の効果

さて、これらの呼吸法が身体に及ぼす効果を具体的に考えてみよう。上記の呼吸法を含め、今日紹介されている呼吸法を概観すると、特殊なものを除き、その特徴は（意識的に）“腹式の呼吸”を“ゆっくり行うこと”に集約される。腹式の呼吸とは吸気の際に下腹部が膨らみ、呼気ではそれがしぼむ様態の呼吸だが、呼吸運動の仕組み（肋骨と横隔膜の運動によって肺に空気が取り込まれること）からすると、腹式呼吸では能動的に引き起こされる横隔膜の運動が重要な役割を担っていると考えられている。ただし、岡田式の呼吸法は胸式を採り、吸気時に腹部はむしろ萎むとされているが（高橋 2005）、これにおいても横隔膜は活発に運動していると考えられる。村木（2001b）および帯津（2006）は腹式呼吸を介して横隔膜を運動させることにより内臓をマッサージする効果が生まれ、このことが血液循環を良くすると主張している。また、能動的な横隔膜の運動は内臓のマッサージを通して静脈の還流を助け肺に多くの血液を送ることになるため、二酸化炭素と酸素のガス交換の効率を高める（肺機能を向上させる）ことを示唆している。さらに、横隔膜の運動が腹腔神経叢を刺激することで自律神経機能を活性化させ、総じて内臓の働きを助けるのではないかとしている。

一方、“ゆっくり呼吸を行うこと”に関してはどのような効果があるのだろうか。腹部の運動を伴う意識的な呼吸のコントロールは必然的に深い呼吸となり、一回換気量は増加すると考えられる。これにより、呼吸回数を減らして過換気を起こさないようにすることが重要になる。過換気状態は呼気からの二酸化炭素の排出が多くなり、動脈血の二酸化炭素濃度が減少し血液がアルカリ性に傾くことで起こる。この際、症状としては、息苦しさ、胸部の圧迫感や痛み、手足のしびれなどがある。例えば、通常、人の一回の換気は約 450ml で、1 分間あたりの呼吸数をおよそ 12 回とすると（貴邑・根来, 1996）、毎分換気量は 5,400ml となる。腹式呼吸を行うことで仮に一回換気量が 900ml（2 倍）に増えたとすると、1 分あたりの呼吸数は 6 回でよいことになる。実際、一回の呼吸の長さ（呼吸数）について、岡田式は 1 分程度（1 回/分）、二木式は 15 秒（4 回/分）とされている（高橋, 2006）。また、齋藤（2003）は 20 秒（3 回/分：3 秒吸気、2 秒停止、15 秒呼気）を提唱しているが、いずれの呼吸法も 1 回の換気量は増大し、同時にこのような深い呼吸によって横隔膜運動の程度はさらに大きくなるものと考えられる。

このように、腹式で行う呼吸が身体機能の維持・増進に関与するであろう要因には、横隔膜運動に起因するいくつかの効果が示唆されている。一方、ゆっくり呼吸を行うことに関しては換気量を一定に保ちつつ大きな横隔膜の運動を支えるために必要な条件であるといえよう。しかしながら、後者についてはこのような補償的・受動的な要因にとどまらず、さらに重要な要因として心拍変動 (heart rate variability) を指摘することができる。心拍変動は心臓の拍動リズムのゆらぎを表す概念であり、これまでの研究から、自律神経機能と密接に関連して身体の適応的狀態 (より健康な状態) を反映する指標になると考えられてきた (Lehrer, 2007)。また、心拍変動バイオフィードバック法は心拍リズムのゆらぎを増大させる技法であるが、この訓練を通して自律神経機能を活性化させるとする理論的な仮説が提出されている (Lehrer, 2007)。本稿では、“ゆっくりと呼吸を行う (コントロールする) こと” が自律神経機能に及ぼす効果について、これら心拍変動および心拍変動バイオフィードバック法の観点から考察していく。

## II. 心拍変動

### 1. 心拍変動とは

私達の心臓の拍動リズムは、ふだんは一定ではなくむしろ不整にゆらいでいる。この不整な拍動リズムは心拍変動と呼ばれ、呼吸活動や血圧調節、体温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)。

心拍変動を少し詳しくみてみよう。図1は心電図と心拍変動の関係を模式的に表したものである。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。

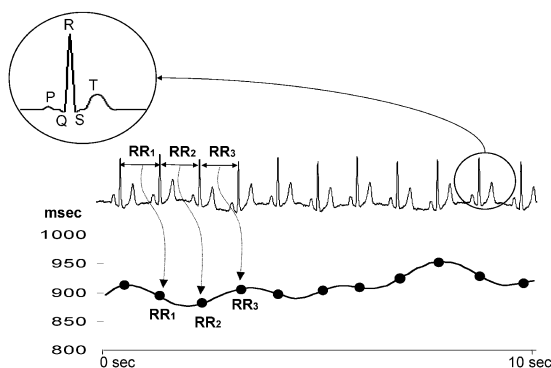


図1 心電図および心拍変動の関係

このような心拍変動を周波数の観点 (単位時間に何回振動するか) から捉えたものが図2である。心拍変動のデータに例えば高速フーリエ変換 (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。通常、

0.15~0.4 Hz の帯域に存在する成分を高周波 (high frequency: HF) 成分、0.04~0.15 Hz 帯域に存在する成分を低周波 (low frequency: LF) 成分という。変動成分にはさらに低帯域 (0.005~0.05Hz) の超低周波 (very low frequency: VLF) 成分などがある (Berntson et al., 1997; Task Force, 1996).

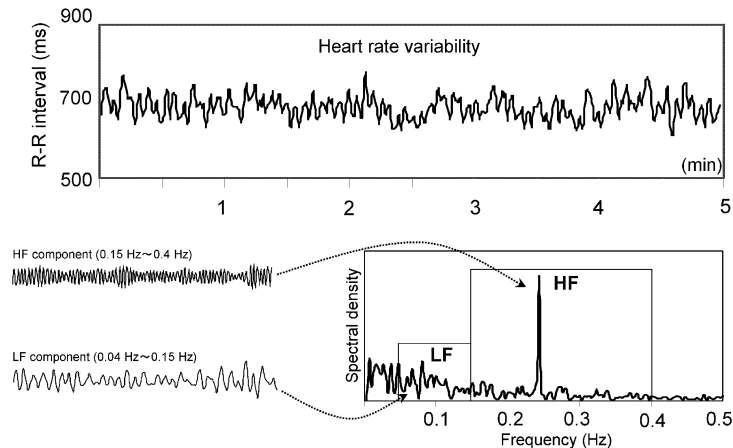


図2 心拍変動のスペクトル分析

高周波成分は呼吸活動に一致した変動で、吸気時に心拍数が上昇し呼気時に心拍数が低下する現象を反映し、呼吸性不整脈 (respiratory sinus arrhythmia: RSA) として知られている。高周波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抑制され、吐いたとき増加する。呼吸数を遅くするとそれによる心拍数の増減幅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、高周波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、低周波成分は動脈血圧の変動周期 (Mayer 波) (Penaz, 1978) が圧受容体反射を介して心拍に現れたものであると考えられている (Madwed et al., 1989)。圧受容体は頸動脈洞と大動脈弓に位置する伸展受容器で、血圧のコントロールにおいて重要な役割を担っている (貴邑・根来, 1996)。血圧が上昇すると、圧受容体の反射により、心拍数低下と血管緊張の低下が引き起こされて血圧が低下する (血圧が低下したときはその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これると、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こし、血圧の変動周期は約 10 秒 (約 0.1Hz) と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、超低周波成分の検討は少ないが、血管活動の制御や体温に関連することが示唆されている (Fleisher et al., 1996; Taylor et al., 1998)。

## 2. 肺におけるガス交換の効率化

Hayano et al. (1996) は肺のガス交換に関わる呼吸性不整脈の役割を検討するため、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を作成し、呼吸に伴って心拍変動が生じない対照モデルと比較したところ、呼吸性不整脈モデルの生理的死腔率 (死腔換気量 / 一回換気量 [VD/VT])・肺内シャント率 (生理的短絡量 / 総心拍出量 [Qsp/Qt]) 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。この事実から、彼らは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。この知見は後にヒトにおいても確認されている (笹野, 2003-2004)。

## 3. 生体の適応的状態の指標

心拍変動は冠動脈硬化 (Hayano, Yamada, Mukai et al., 1991)、心筋梗塞 (Kleiger et al., 1987)、うつ病や不安障害 (Agelink et al., 2002; Yeargani et al., 1995)、ストレス (Grossman et al., 1990) において著しく減少し、反対に、睡眠 (Bonnet & Arand, 1997)、リラクセーション (Sakakibara et al., 1994)、高齢者よりも若年者 (Berntson et al., 1997)、うつ病治療で結果が良好な例 (Balogh et al., 1993; Chambers & Allen, 2002; Khaykin et al., 1998) において増大することが報告されている。これらの事実から、Lehrer (2007) は心拍変動の減少はストレスに対する脆弱性を反映するのに対し、その増大は心身の適応性を表していると考えている。

また、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 (特に睡眠中) 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る。

### Ⅲ. 心拍変動バイオフィードバック法

#### 1. 心拍変動バイオフィードバック法とは

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にリアルタイム表示することによって、自らの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知られ、臨床的にも多くの応用がなされている (e.g. Schwartz & Andrasik, 2003)。心拍変動バイオフィードバック法 (heart rate variability biofeedback) 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、呼吸ガイドに合わせて約6回/分のゆっくりとした呼吸コントロールを行う。

図3は心拍変動バイオフィードバック訓練用に作られたソフトウェア画面である。図の中央上には心拍変動 (心拍数の増減) が表示されている。被験者もしくは患者はその右下にある呼吸ペーサーを見ながらゆっくりと移動する光点に合わせて呼吸をコントロールすることになる。訓練マニュアル (Lehrer, 2007) では練習の初期に心拍変動が最も大きくなる呼吸周波数を特定し、次いで、腹式呼吸の要領を学ぶようになっている。この際、

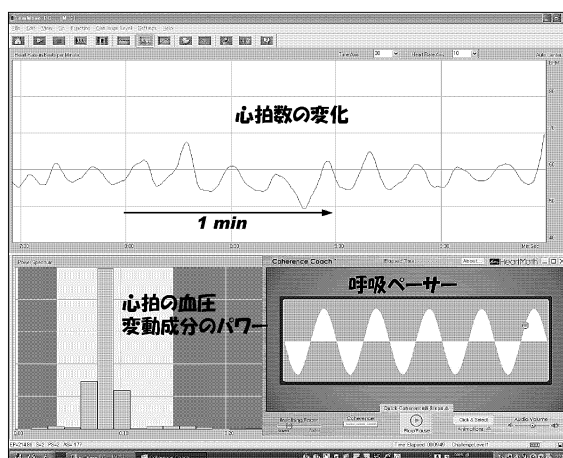


図3 心拍変動バイオフィードバック法のPC提示画面  
注意しなければならないのは過呼吸であり、少しでもその傾向が認められた場合は呼吸を浅くすることが教示される。

図4はある被験者の心拍変動データを示したものである。図の左側は安静時のデータ、右側は心拍変動バイオフィードバック時のそれを示している。小さくかつ不規則な心拍変動 (左) は練習によって滑らかで大きな振幅を特徴とする心拍変動 (右) に変化しているのがわかる。

近年、この手続きは、喘息、高血圧、心疾患、繊維筋痛症、大うつ病、心的外傷後ストレス障害などに適用され、これらストレス要因が強く影響すると考えられる疾病の改善に一定の成果を上げている。すなわち、喘息への適用では肺機能の改善と投薬量の減少が報告され (Lehrer et al., 2004)、高血圧は低下の傾向が見出されている (McCarty et al., 2003)。また、心疾患は致死率の低下が示唆されている (Del Pozo et al., 2004)。繊維筋痛症 (Hassett et al., 2007) では痛みの低下およびうつ状態と睡眠状態の改善が認められ、大うつ病への適用はうつ状態が50%



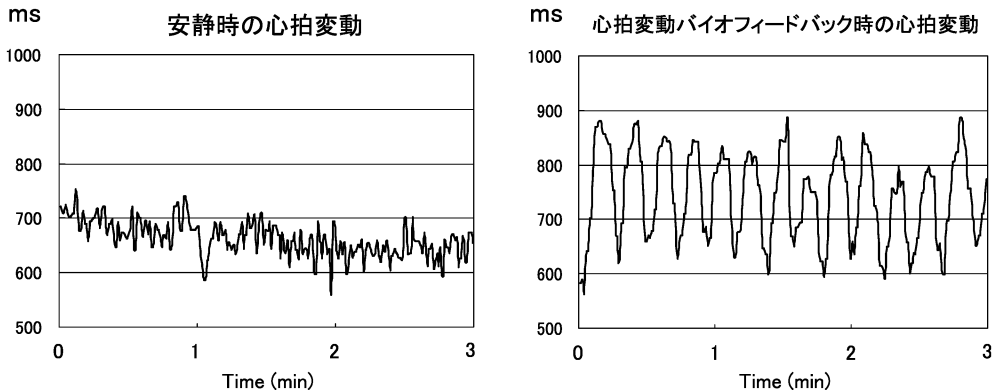


図4 安静時およびバイオフィードバック訓練時の心拍変動

以上低減したと報告されている (Karavidas et al., 2007)。さらに、心的外傷後ストレス障害ではうつ症状の低下と薬物使用への衝動の低下が示されている (Zucker et al., 2009)。

## 2. 心拍変動バイオフィードバック法が自律神経機能に及ぼす効果 (理論的仮説)

心拍変動バイオフィードバックは、約6回/分の頻度で呼吸を行うことによって心拍変動 (呼吸性不整脈) をより増大させようとする一連の手続きである (図4の心拍変動も約5回/分の心拍変動を確認することができる)。この頻度は上述した心拍変動低周波成分、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にちょうど一致する。Vaschillo et al. (2004) は、さまざまな頻度の呼吸コントロールにおいて、心拍変動と血圧の変動の関係を実験的に調べた。その結果、約6回/分 (概ね5秒吸気、5秒呼気) で呼吸をした場合に、呼吸性不整脈 (心拍数の変化) は呼吸に追従するように (同時に) 生じる一方で、血圧の反応は約5秒の遅れを保って心拍と正反対の振る舞いを示したことを報告している。この事実から心拍変動に関わるシステムと血圧変動に関わるシステムに共鳴が生じ、心拍変動の程度はこのとき最大になると指摘されている。及川 & Lehrer (2008) はこのような共鳴を次のように説明している。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、お互いは共振して振幅を大きくする。例えば、除夜の鐘の梵鐘と撞木 (鐘を叩く木棒) の関係、ブランコが頂点に達した際に一定の力で押すと振幅を大きくし揺れが持続する例がこれにあたる。

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は約6回/分 (1回の呼吸が10秒) の呼吸コントロールを行った際の呼吸曲線、心拍変動、血圧変動を模式的に示したものである。息を吸うと、心拍数は直ちに増加するが血圧の上昇は約5秒後に生じる。この血圧上昇に対して圧反射が働くため心拍数が低下する (血圧低下は約5秒後に生ずる)。この時点で呼吸活動は息を吐く相となって呼吸性不整脈による心拍数低下が生じ、ちょう

ど圧反射による心拍数低下と一致することになる。そして、次に起こる血圧低下に圧反射が働いて心拍数が増加すると、今度は吸気に伴う（呼吸性不整脈による）心拍数増加が重なることになる。このような働きによって、心拍変動（心拍数の増減の幅）はより大きなものになると考えられている。

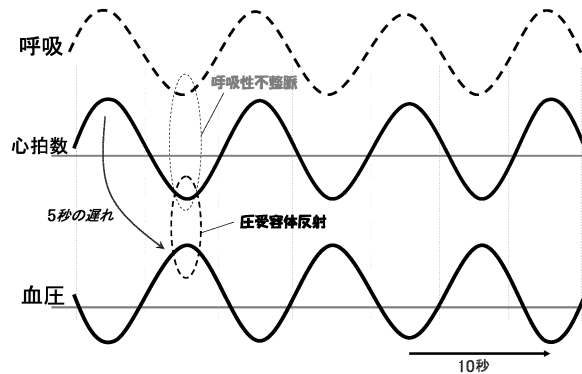


図5 心拍変動バイオフィードバックにおける心拍と血圧の共鳴モデル

実際の心拍変動バイオフィードバックの訓練では、各指標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することによって呼吸性不整脈を引き起こし、その振れ幅が最大になる呼吸周波数において上記のような共鳴が生じているものとする。ただし、共鳴が生じる周波数は厳密には個人で異なっており（Vaschillo et al., 2002）、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をリズムカルにかつ頻回に刺激することになるため、より効率的に反射を起こさせる訓練となる。さらに、心拍変動バイオフィードバックを日常的に練習することによって圧受容体反射が刺激され、直接的、間接的にさまざまなレベルの自律神経（調節）機能を活性化することに役立つと考えられている（Lehrer, 2007）。

### 3. 心理学的効果

心拍変動バイオフィードバック法は自律神経機能に関わるさまざまな疾患に適用されるとともに、最近ではうつ病など気分障害の問題にも適用されている。Karavidas et al. (2007) は、大うつ病と診断された11人に対して心拍変動バイオフィードバックを行ったところ、Beck Depression Inventory (BDI-II) および Hamilton Depression Scale (HAM-D) によって評価されたうつ症状が著明に改善したことを報告している。さらに、心拍変動バイオフィードバックによる身体的症状の低減や気分改善効果は、12回/分～15回/分で呼吸統制する（偽の）バイオフィードバック訓練と比較しても明確であったことから、約6回/分の呼吸の心拍変動バイオフィードバック法がもたらす共鳴効果に依拠するところが大きいと考えられている。

また、筆者ら（2010）は高い特性不安レベルを示す学生2例において心拍変動バイオフィード

バック訓練を実施した結果を報告している。特性不安尺度の得点（標準得点）が57だった学生Aは6日間の練習（1回の訓練は10分として2回実施、および、日常生活においても1日あたり20分の練習を実施）を行った結果、同得点は49に低下し、精神健康調査票（General Health Questionnaire: 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（Profile of Mood States: POMS）の「怒り-敵意」「疲労」「混乱」は練習後に平均レベルへ低下し（怒り-敵意：67から54へ；疲労：61から48へ；混乱：62から48へ）、「活気」は標準得点39から51へ増加した。一方、学生BはHRV-BF法を自宅で約2週間練習し（昼間に約15分程度、就寝前に15分程度）、特性不安の標準得点が73から58に低下した。GHQの値は「不安と不眠」が7から3へ低下し、POMSの「混乱」は65から57へ低下した。

これらのことから、HRV-BF法を1回あたり15分～20分（かつ、1日に2回程度）練習し、約1週間以上続けることで不安が低下し、不眠症状も改善することが示唆された。

### Ⅲ. 考察

はじめに述べたように、呼吸法に期待される効能には血液循環の改善、呼吸機能の向上、胃腸運動の改善、神経衰弱や不眠の予防、肥満や痩せの改善などがあった（村木 2001b; 高橋, 2005; 高橋, 2006）。これらは当時の練習者たちが体験した実際的な効果であったに違いない。本研究は呼吸法が身体の健康に与える効果を主に自律神経機能の面から考察することを目的としてきたが、緩徐な呼吸コントロールはガス交換効率を向上させる可能性のあることから、上記効能の呼吸機能の改善に寄与しているかもしれない。また、心拍変動バイオフィードバック法は心理学的に評価した不安や不眠レベルを低下させる可能性があることから、緩徐な呼吸の効果として不眠についてもなんらかの改善が期待できよう。

さらに、横隔膜運動の要因を含め総合的にみたととき、呼吸のコントロールは血液循環や胃腸運動にも影響しているかもしれない。ただし、肥満や痩せの改善について筆者はいまのところ妥当なメカニズムを見出していない。神経衰弱については呼吸コントロールによる不安軽減効果が関係するかもしれない。ただし、これについては後に述べるセロトニン分泌に関連するのではないかと考えている。以下、緩徐な呼吸コントロールが自律神経機能に及ぼす影響について考察し、併せて中枢への影響性についても指摘することとする。

#### 1. 肺のガス交換効率、休息機能、身体の適応状態

緩徐な呼吸のコントロールに着目したとき、はじめに呼吸性不整脈（呼吸性の心拍変動）が増大することを示した。先に述べたように、呼吸性不整脈は副交感神経活動の指標となるが、これ

は心臓への副交感神経の活動量そのものが増加するのではなく（平均心拍数を低下させることはなく）、呼吸活動に伴う副交感神経性の心拍調節の程度が顕著になった結果である。つまり、呼吸性の心拍変動は大きくなるが副交感神経のトーンには影響を及ぼさない（平均心拍数は変化しない）ことが示されている（Hayano et al., 1994）。

一方、Lehrer（2007）は約6回／分の呼吸頻度において呼吸と心拍が完全に対応する事実から、人々がこの速さで呼吸を行ったとき（吸気では）肺胞中の酸素濃度が最も高くなるときに心拍数は最も速くなり、肺のガス交換の効率を高めると指摘している（Lehrer et al., 2003）。さらに、坐禅やヨガにおける呼吸によって身体のエネルギー代謝は節約される方向へ向かうことから（宮村, 2003; Sugi et al., 1968）、呼吸法を実施することによる呼吸性不整脈の増大は肺のガス交換効率を高め、心身の休息・回復機能として貢献している可能性がある。

他方、心拍変動の増大は、病気からの回復期やリラクゼーション状態において発現する事実から、呼吸によって心拍変動の増大した状態を発現、維持できるように訓練するならば、身体をより適応的な状態に導びく可能性のあることが示唆される。これについては、呼吸法の訓練過程で心拍変動のあり方を観察し、その推移を検討していく必要がある。

## 2. 圧受容体反射の刺激と自律神経（調節）機能の活性化

本論文では心拍変動バイオフィードバック法の約6回／分の呼吸コントロールにおいて、血圧変動の系と心拍変動の系が互いに共鳴し合うことで結果的に心拍変動が増大することを示した。上に述べたように、心拍変動の高周波成分はガス交換効率の向上や身体の休息（回復）機能に関わり、低周波成分は圧受容体反射を通じた血圧調節に関連することから、約6回／分の呼吸によって心拍変動の振る舞いが全体的に大きくなると、高周波および低周波成分に関わるそれぞれの機能が刺激され、結果的にホメオスタシス機能（身体の状態を常に一定に保とうとする調節機能）が活性化されるのではないかと考えられている（Lehrer, 2007）。

実際、心拍変動バイオフィードバックの定期的な訓練は健康者および慢性心臓疾患患者の安静時の圧反射感度を強めることが見出されている（Lehrer et al., 2003; Bernardi et al., 2002）。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）、仮に呼吸法によって圧反射が刺激されるならば、自律神経調節のみならず大脳辺縁系を含んだより大きな調節系の活性化が起こるのではないかと推測されている（Lehrer et al., 1999）。

ところで、本稿では0.1Hz（約6回／分）の周波数において心拍変動と血圧変動が共鳴を起こすことを指摘した。しかし、正確には個人の特徴（性、身長）の違いにより4.5回／～7回／分の範囲にあることが知られている（Vaschillo et al., 2002）。また、呼吸法によってはそれぞれ呼吸のペースが異なっているため、必ずしも共鳴を引き起こす周波数に一致しているとは限らない。Lehrer et al（1999）は坐禅（曹洞禅および臨済禅）における呼吸コントロールと心拍変動の関

係を検討したところ、ほとんどの例で坐禅中の呼吸性不整脈の周波数が0.1Hz付近（約6回/分）となり、その大きさは坐禅前安静時の3倍に達したことを報告している。さらに、経験の長い僧の坐禅中の呼吸性不整脈の周波数は超低周波領域（0.005～0.05Hz）を示し、心拍変動も著しく増大していた（坐禅前の13倍）。興味深いことに、この実験は冬期に実施され、ほとんど窓が開放された僧堂での坐禅にもかかわらず、超低周波帯の心拍変動を示した僧は身体の温感を報告した。それは非常に緩徐な呼吸（約1回/分）が超低周波領域の体温制御に関わる自律神経機能を刺激していたためではないかと考察されている。これらの例から、坐禅の呼吸法では心拍変動低周波または超低周波において共鳴が生じている可能性が示唆されている。他方、カトリック教徒（rosary prayer）の祈祷やヨガのマントラ暗唱の際の呼吸数は約6回/分となり、これが低周波の血圧リズムに一致し、より大きな心拍変動を引き起こしていることが報告されている（Bernardi et al., 2001）。

以上の事実から、おそらく瞑想における呼吸周波数が共鳴を引き起こしやすい特徴をもっているのではないかと推測される。また、完全に共鳴周波数に一致することがなくても、このようなゆっくりとしたペースで行われる呼吸によって持続的な心拍変動の増大が生じ、自律神経系に関わる調節機能が刺激されるのではないかと考える。今後、共鳴周波数の効果を検証するために、バイオフィードバックしながら呼吸を約6回/分に統制する条件、呼吸法の手続きで呼吸を緩徐にコントロールする条件（バイオフィードバックなし）、明らかに共鳴が生じないと考えられる速さで呼吸統制を行う条件などの心拍と血圧反応を比較することが必要であろう。

### 3. 呼吸法とセロトニン神経

緩徐な呼吸のコントロールが中枢活動に及ぼす影響も調べられている（有田, 2003; Fumoto et al., 2004; 玄侑ら, 2008; 有田ら, 2002）。例えば、Fumotoら（2004）は3～4回/分の腹式呼吸を閉眼で行った際、当初出現していた（閉眼に伴う）脳波 $\alpha$ 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 $\alpha$ 波（10～13Hz）が増加することを報告した。これに伴い、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、閉眼安静時の遅い周波数の $\alpha$ 波は時間の経過とともに $\theta$ 波や $\delta$ 波に移行し、参加者は眠気を催した事実から、彼らは速い周波数の $\alpha$ 波は遅いものとは性質を異にして、抗不安・活気増加に関連することを示唆している。さらに、実験では尿中のセロトニン量が増加していた事実から、呼吸法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。

有田（2003）は、呼吸法の他、ガム噛み、自転車こぎなどでも尿中または血中セロトニン量が有意に増加したことから、いわゆるリズム性の運動がセロトニン神経を活性化させるのではないかと推測している。また、高田（2008）は呼吸法によって血中の二酸化炭素濃度が増加し、これがセロトニン分泌を促すことを示唆している。いずれにせよ、呼吸法によってセロトニン分泌が

促され、その効果として精神の安定や平静に繋がることが指摘されている。

また、麓（2008）は、近赤外分光法（near-infrared spectroscopy : NIRS）を用いて呼吸法を実施した際の変化を検討し、前頭前野の血流が徐々に増加することを報告している。前頭前野はワーキングメモリ（舟橋, 2005）、注意（Liston et al., 2009; 加藤, 2010）、意欲（小野ら, 2005）などの機能と関連することから、呼吸法が認知機能にも影響を及ぼしていることを示唆している。

以上、呼吸法（あるいは緩徐な呼吸のコントロール）はセロトニン神経を活性化して、活気の増加や不安軽減など心理学的効果を発揮するだけでなく、認知的な機能にも影響を及ぼしている可能性が考えられた。本稿のはじめに述べたように、二木式呼吸法には「心胆を練り大胆の気象を養ふ」とか、岡田式静坐法の「神気を落ち着け、胆を練り、頭を明快にし、外囲を支配する気魂を養ひ心身を強健にする」などの記載があるとされ（高橋, 2005）、これらの点はセロトニン神経や前頭前野機能の活性化を体験的なレベルで表現したものなのかもしれない。いずれにしても、呼吸法が心身の健康に及ぼす効果については心理生理学的な観点から今後さらに検討を重ねることが必要であろう。

## まとめ

本研究は心拍変動バイオフィードバック法の緩徐な呼吸コントロールをモデルとして、呼吸法が心身に及ぼす効果の可能性について考察した。また、これにより、呼吸法が健康を維持・増進させるメカニズムについて主に自律神経機能の刺激・活性化という観点から解説した。一方、呼吸法の認知的な効果の可能性についても触れた。

齋藤（2003）は、「日本人は呼吸というものに関してははっきりとした運用スタイル、呼吸の文化をもっていた」と主張している。このことは、日本の伝統芸能が禅文化に深く影響を受け、また、武道や格闘技の伝統においても姿勢や呼吸に重要な意味が見出されていたこととして理解することができよう（山折, 2010）。しかしながら、明治の時代から現代において「呼吸法」のテーマが繰り返し取り上げられてきた背景には、私たちの心のどこかに呼吸のスタイルを再確認し、常に自らの心を“平静に保ちたい”、“見極めたい”という無意識的な要求があるからではないだろうか。このことも含め、呼吸法の効果は、実験的な検討のみならず実践的な経験の中で真に理解することができるのかもしれない。

今後、個人のレベルのみならず社会のレベル、例えば教育の分野などで呼吸法が認知され、実践されるようになったならば、それはすなわち私たちがかつてもっていた呼吸のスタイルを再構築することにつながるのかもしれない。

## 引用文献

- Agelink MW, 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・高橋玄朴 2002 ここ一番に強くなるセロトニン呼吸法 地湧社
- 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
- Balogh S, Fitzpatrick DF, Hendricks SE, & Paige SR 1993 Increases in heart rate variability with successful treatment in patients with major depressive disorder. *Psychopharmacology Bulletin*, 29, 201-206.
- Bernardi L, Sleight P, Bandinelli G, Cencetti S, Fattorini L, Wdowczyk-Szulc J, & Lagi A 2001 Effect of rosary prayer and yoga mantras on autonomic cardiovascular rhythms, comparative study. *British Medical Journal*, 323, 1446-1449.
- Bernardi L, Porta C, Spicuzza L, Bellwon J, Spadacini G, Frey AW, Yeung LY, Sanderson JE, Pedretti R, & Tramarin R 2002 Slow breathing increases arterial baroreflex sensitivity in patients with chronic heart failure. *Circulation*, 105, 143-145.
- Berntson GG, Bigger JT Jr, Eckberg DL, Grossman P, Kaufmann PG, Malik M. et al 1997 Heart rate variability, origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623-648.
- Berntson GG, Cacioppo JT, & Quigley KS 1993 Respiratory sinus arrhythmia, autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications. *Psychophysiology*, 30, 183-196.
- Bonnet MH & Arand DL 1997 Heart rate variability, sleep stage, time of night, and arousal influences. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102:390-396.
- Chambers AS & Allen JJ 2002 Vagal tone as an indicator of treatment response in major depression. *Psychophysiology*, 39, 861-864.
- Del Pozo JM, Gevirtz RN, Scher B & Guarneri E 2004 Biofeedback treatment increases heart rate variability in patients with known coronary artery disease. *American Heart Journal*, 147, E11.
- Fleisher LA, Frank SM, Sessler DI, Cheng C, Matsukawa T, & Vannier CA 1996 Thermoregulation and heart rate variability. *Clinical Science*, 90, 97-103.
- 麓正樹 2008 呼吸法と力の入れ方. *体育の科学*, 58, 14-20.
- 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.
- 舟橋新太郎 2005 前頭前野とワーキングメモリ. *Clinical Neuroscience*, 23, 619-622.
- 玄侑宗久・有田秀穂 2008 脳のちから禅のこころ ―坐禅とセロトニンの科学― だいわ文庫
- 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 AL, Radvanski DC, Vaschillo EG, Vaschillo B, Sigal LH, Karavidas MK. et al. 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, Sakakibara Y, Yamada A, Yamada M, Mukai S, Fujinami T. et al 1991 Accuracy of assessment of cardiac vagal tone by heart rate variability in normal subjects. *American Journal of Cardiology*, 67, 199-204.
- 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 & Yasuma F 2003 Hypothesis, respiratory sinus arrhythmia is an intrinsic resting function of cardiopulmonary system. *Cardiovascular Research*, 58, 1-9.
- 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.
- 平田篤胤全集刊行会編 1977 新修平田篤胤全集第十四巻. pp423-506.
- Hirsch JA & 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 MK, Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Marin H, Buyske S. et al 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.
- 加藤元一郎 2010 高次脳機能障害の注意障害と遂行機能障害（特集高次脳機能障害をめぐって）. *精神医学*, 52, 967-976.
- 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.
- Kleiger RE, Miller JP, Bigger JT Jr & Moss AJ 1987 Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*, 59, 256-262.
- 貴邑富久子・根来英雄 1996 シンプル生理学 南江堂：東京
- Lehrer PM, 2007. Chapter 10, Biofeedback training to increase heart rate variability. In *Principles and Practices of Stress management (3rd ed.)* edited by Lehrer PM. Woolfolk RL. and Sime WE. Guilford Press. pp227-248.
- Lehrer P, Sasaki Y, & Saito Y 1999 Zazen and cardiac variability. *Psychosomatic Medicine*, 61, 812-



821.

- Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Lu SE, Eckberg DL, Edelberg R, Shih WJ, Lin Y, Kuusela TA, Tahvanainen KU, & Hamer RM 2003 Heart rate variability biofeedback increases baroreflex gain and peak expiratory flow. *Psychosomatic Medicine*, 65, 796-805.
- Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Lu SE, Scardella A, Siddique M. et al 2004 Biofeedback treatment for asthma. *Chest*, 126, 352-61.
- Liston C, McEwen BS, & Casey BJ 2009 Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 912-917.
- Madwed JB, Albrecht P, Mark RG, & Cohen RJ 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.
- McCarty R, Atkinson M, & Tomasino D 2003 Impact of a workplace stress reduction program on blood pressure and emotional health in hypertensive employees. *Journal of Complementary and Alternative Medicine*, 9, 355-369.
- Mini A, Rau H, Montoya P, Palomba D, & Birbaumer N 1995 Baroreceptor cortical effects, emotions and pain. *International Journal of Psychophysiology*, 19, 67-77.
- 宮村實晴 2003 生理学からみた東洋の呼吸法. *体育の科学*, 53, 404-409.
- 村木弘昌 2001a 釈尊の呼吸法 –大安般守意経に学ぶ–. 春秋社：東京.
- 村木弘昌 2001b 万病を癒す丹田呼吸法. 春秋社：東京.
- NHK 生活ほっとモーニング 2004 坐禅に学ぶ呼吸法.
- NHK ためしてガッテン 2005 呼吸法！ホントの健康パワー.
- 及川歌・Lehrer P 2008 Heart rate variability (心拍変動)バイオフィードバックの臨床適応. *バイオフィードバック研究*, 35, 59-64.
- 帯津良一 2006 丹田呼吸法. *大法輪*, 平成 18 年 3 月号, 108-112.
- 小野武年ら 2005 前頭前野と情動発現. *Clinical Neuroscience*, 23, 636-639.
- Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P. et al 1986 Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal 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 RJB, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D. et al 1985 Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology*, 248, H151-H153.
- 榊原雅人、松永昌宏、金子宏、竹内聡 2010 心拍変動バイオフィードバック技法の紹介と適用例 –特性不安の高い学生の訓練過程から–. 第 66 回日本心身医学会中部地方会.
- Sakakibara M, Takeuchi S, & Hayano J 1994 Effect of relaxation training on cardiac parasympathetic tone. *Psychophysiology*, 31, 223-228.

- 笹野寛 2003-2004 人における呼吸性洞性不整脈が肺ガス交換能に及ぼす影響の検討. 科学研究費補助金, 研究課題番号: 15591653.
- Schwartz, M.S. & Andrasik, F (Eds.) 2003 Biofeedback, A practitioner's guide (3rd edition). The Guilford Press: New York.
- 齋藤孝 2003 呼吸入門. 角川書店: 東京.
- Sugi, Y., & Akutsu, K 1968 Studies on respiration and energy-metabolism during sitting in Zazen. Research Journal of Physical Education, 12, 190-206.
- 須田道輝 2006 釈尊の呼吸法 —『大安般守意経』に学ぶ(特集 心と体をととのえる 仏教の呼吸法)—, 大法輪, 73, 56-60.
- 高橋英恵 2005 岡田式呼吸静坐法について: 技法の分析. 体育学研究, 50, 175-188.
- 高橋英恵 2006 二木式腹式呼吸法について. 体育学研究, 51, 315-324.
- 高田明和 2008 仏教の呼吸法の効用. 大法輪, 2008 年号, 114-119.
- 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 JA, Carr DL, Myers CW, & Eckberg DL 1998 Mechanisms underlying very-low-frequency RR-interval oscillations in humans. Circulation, 98, 547-55.
- Vaschillo E, Lehrer P, Rishe 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.
- 山折哲雄 2010 いま、こころを育むとは—本当の豊かさを求めて— 小学館: 東京
- Yeragani VK, Balon R, Pohl R, & Ramesh C 1995 Depression and heart rate variability. Biological Psychiatry, 38, 768-70.
- Zucker TL, Samuelson KW, Muench F, Greenberg MA, & Gevirtz RN 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.

## 謝辞

本研究をまとめるにあたり、宮村實晴先生に貴重なご教示を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。