

《原著》

音のテンポが自律神経系機能へ及ぼす影響

百々 尚美

Effects of Sound Tempos on Autonomic Nervous System Functions

Naomi Dodo

Abstract : Different coping with stress stimulation differently affects autonomic function. Here I report the effect of listening to tempo that would need passive coping on autonomic function. Quiet condition and 5 differently paced sounds of metronome were examined. Autonomic function was assessed with R-R interval on echocardiography and following calculation of Lorenz Plot. Cardiac vagal index (CVI), which is an indicator of parasympathetic nerve activity, showed significantly high value at the sound with 100bpm, which caused the strongest psychological stress. However, the 60bpm sound showed CVI similar to that of quiet condition. These results suggest that the stress stimulation by rapid-paced sound needed passive coping and increased parasympathetic nerve activity, whereas the tempo similar to cardiac beat caused slight psychological effect and thus did not increase parasympathetic nerve activity.

Key words : 自律神経機能 (autonomic activity), 心拍変動 (heart rate variability), ローレンツプロット (Lorenz plot), 心理学的ストレス (psychological stress), 音テンポ (sound tempos)

ストレス刺激に対する対処の仕方によって自律神経機能への影響は異なる。本研究では、受動的対処を必要とすると考えられる音テンポ聴取が自律神経機能に及ぼす影響について検討した。安静条件と5種類のテンポが異なるメトロノーム音の聴取条件を比較した。自律神経機能は心電図 R-R 間隔を計測し、ローレンツプロットを算出した。その結果、最も心理的負荷が高かった 100 拍 /min において、副交感神経活動の指標である CVI 成分が有意に高かった。しかしながら、心拍に近い 60 拍 /min では CVI 成分の値は安静状態と変わらなかった。この結果から、速い音テンポを聴取するというストレス刺激は、受動態対処を必要としているため、副交感神経活動が亢進したと考える。また心拍と同程度のテンポを聴取することは、心理的影響が少なかったため、副交感神経活動が亢進しなかったと考えられる。

はじめに

ストレス刺激の質的特徴により自律神経系への影響が異なると指摘されている。ストレス刺激は能動的対処あるいは受動的対処を要するものに分けることができる。暗算や反応時間を競うなどの、自ら積極的に刺激に向かうといった能動的対処を要する場面では、心臓 (β) および血管 (α)

交感神経活動の亢進と副交感神経活動の抑制がみられる。コールドプレッシャーテストなどの、なす術もなくストレス刺激に曝されるという受動的対処を要する場面では、血管 (α) 交感神経活動の亢進は認められるが、心臓 (β) 交感神経活動が抑制され、副交感神経活動は亢進する。能動的対処においてみられる反応はパターン I、受動的対処においてみられる反応はパターン II と区別されている (澤田, 1998)。

自律神経系の活動を測定する指標として心拍 R-R 間隔を定量化する方法が比較的容易で評価可能である。例えば、連続 100 心拍の心周期を

計測し得た変動係数 (coefficient of variation of R-R interval : CVr-r) は糖尿病性の自律神経系機能を評価する方法として臨床検査に応用されている (景山, 1983)。また, 心拍変動に混在している多数の周波数成分を分解し各成分の強さをパワースペクトルとして測定するスペクトル解析も多くの研究で用いられている。スペクトル解析による 0.04 ~ 0.15Hz の LF 成分 (low frequency) は交感神経系の緊張を反映し, それよりも高く呼吸性不整脈 (respiratory sinus arrhythmia : RSA) を含む HF 成分 (High frequency) (0.16 ~ 0.40Hz) は副交感神経の緊張を反映するとされている (稲森, 1998)。しかしながら, RSA は副交感神経興奮とは直接関係のない呼吸の速さと深さに影響されるので (Eckberg, Kifle, & Roberts, 1980 ; 稲盛, 1986), スペクトル解析にて副交感神経活動を推定するには, 心周期データ測定中, 一定のペースと深さに呼吸を統制することが必須である (Grossman, Karemaker, & Wieling, 1991)。また, LF/HF が交感神経活動の指標であることに対し否定的な意見もある。澤田 (1999) は心拍 R-R 間隔のスペクトル解析から心臓 (β) 交感神経活動の反映を追跡するのはあまり適していないと指摘している。

上記の指摘をふまえ, 昨今では, 心拍 R-R 間隔を定量化する方法としてローレンツプロット解析が推奨されている。ローレンツプロット解析とは気象学において活用されてきた幾何学的図形解析法である (Lorenz, 1963)。連続測定された心拍 R-R 間隔を I_1, I_2, \dots, I_n と表し, 連続する 1 組 (I_k, I_{k+1}) ($k=1, 2, \dots, n-1$) としてローレンツプロット解析を行うと楕円形の分布を示す (図 1)。この楕円形の分布から, 長軸成分 (L : $I_k=I_{k+1}$ の線に対し水平) と短軸成分 (T : $I_k=I_{k+1}$ の線に対し垂直) を算出し, L と T の比率 (L/T) を交感神経活動の指標 (CSI : cardiac sympathetic index), L と T の面積値である $\text{Log}_{10}(L \times T)$ を副交感神経活動の指標 (CVI : cardiac vagal index) とする (Toichi, Sugiura, Murai, & Sengoku, 1997)。Toichi et al. (1997)

は, β 遮断薬 (プロプラノール : 10mg) 投与による CS I 成分の減少を, また副交感神経遮断薬 (アトロピン : 0.5mg) の投与による CVI 成分の減少を報告しており, ローレンツプロット解析ではスペクトル解析では困難であった交感・副交感神経活動を個別に算出することができると示唆している。また, ローレンツプロット解析では心電図測定時の呼吸統制は必要ではないことも報告されている (Allen, Chambers, & Towers, 2007)。

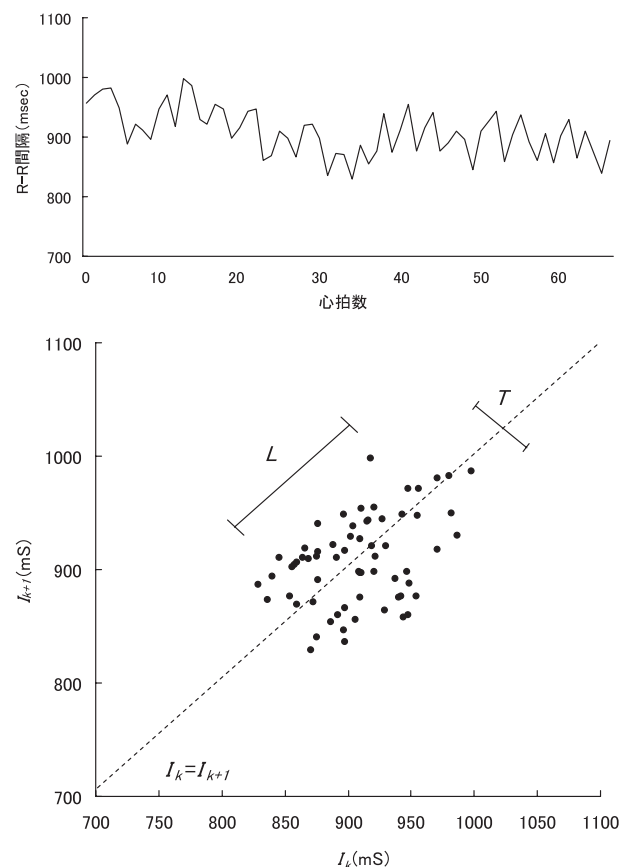


図 1 R-R 間隔のタコグラムとローレンツプロット

実験協力者 1 名 (安静条件) における心拍 R-R 間隔の変動をあらわすタコグラム (上) と, そのローレンツプロット (下) を示す。タコグラムに見られる心拍の変動はローレンツプロット上の点の集合であらわされる。

本研究の目的は, 音テンポ聴取というストレス刺激による自律神経機能の影響を検討することである。本多 (1997) は 42 ~ 100 拍 /min の 5 種類の音テンポ聴取時の自律神経系活動を比較した結果, 75 拍 /min, 100 拍 /min とテンポが速くなると交感神経が興奮すると報告している。しか

しながら、音テンポの聴取とは、受動的対処を要する場面であるので、パターンⅡの反応が惹起され副交感神経活動の亢進がみられると推察される。本多(1997)は、心拍 R-R 間隔へのスペクトル解析によって LF, HF 成分を求め、LH, HF 成分の比率をもとに交感神経系と副交感神経系のバランスを評価していた。このような解析方法では、交感神経活動、副交感神経活動それぞれ個別での比較はできていなかったため、パターンⅡの反応が見いだされなかったと指摘できる。そこで本研究では、本多(1997)の結果を踏まえ、心拍 R-R 間隔へのローレンツプロット解析を用いて交感神経活動、副交感神経活動のそれぞれへの 42 ~ 100 拍/min の 5 種類の音テンポ聴取による影響を比較し、パターンⅡの反応が惹起されるか否かを検討する。

方法

実験協力者 健常な大学生男子 11 名、平均年齢 21.27 歳 (SD = ± 0.75) であった。実験協力者は全員非喫煙者で、聴力に関して過去及び現在において正常であった。

手続き 実験協力者へは実験開始 2 時間前から水以外の飲食、激しい運動は控えるように教示していた。実験手順は、10 分間の安静条件の後、42, 50, 60, 75, 100 拍/min の 5 種類のメトロノーム音をそれぞれ 4 分間ランダムに聴取してもらった。音刺激は 80dB (A) とし、音響振動測定器 (NL-20: リオン社製) を用いて測定し合わせた。音テンポ聴取条件間では毎回 3 分の休憩を挟んだ。安静条件と 5 種類の音テンポ聴取条件はいずれも座位、閉眼状態で行った。

音テンポへの心理評価 音テンポ聴取条件では、毎回 4 分間の音テンポを聴取後、音テンポに対する心理評価 (本多, 1997) への回答を求めた。心理評価では「音テンポを聞いてどのような感じを受けたか」について、「快適な - 不快な」「落ち着いた - 落ち着かない」「良い - 悪い」「心地よい - 心地よくない」「気持ちがよい - 気持ちがよく

ない」「しずか - うるさい」「明るい - 暗い」「親しみやすい - 親しみにくい」「気にならない - 気になる」「軽快な - 重厚な」の 10 項目について 7 件法で回答を求めた。

自律神経機能の解析方法 実験室入室後、心電図電極を実験協力者の胸骨 (上側, 下側), 左肋間下部の 3 箇所装着し、ニホンサンテック株式会社製の携帯型心電図アンプ (Polyam (EGC)) にて測定した。測定された心電図は、インプットモニタープログラム (MPL-IM: ニホンサンテック株式会社製) を用いて AD 変換し、同社製の自律神経解析プログラム (MaP1060) により、心拍 R-R 間隔 (msec) を計測し、ローレンツプロット解析を行い各条件について 1 分ごとの CSI, CVI を算出した。なお、安静状態は心電図の安定した開始 7 分からの 4 分間の心拍 R-R 間隔をもとに算出した。

統計処理 心理評価の各項目得点については、パラメトリックな手法の一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合はパラメトリック多重比較の Bonferroni 検定を行った。平均 R-R 間隔, CSI, CVI 成分については、条件 (安静条件, 5 種類の音テンポ聴取条件) と時間 (4 分) を要因としたパラメトリックな手法を用いた反復測定分散分析を行った。主効果, 交互作用が有意であったときには、パラメトリック多重比較の Bonferroni 検定を行った。いずれも有意水準は 5% で行った。

結果

心理評価の比較 音テンポに対する心理評価の結果を図 2 へ示す。5 種類の音全てに対し、「やや不快」で、「やや心地よくない」、「やや気持ちがよくない」「かなりうるさい」「やや親しみにくい」という回答を得た。テンポが速くなるにつれ「落ち着きがない」、「うるさい」と評価されていたが有意差は認められなかった。統計処理の結果有意差が認められたのは「明るい - 暗い」と「軽快な - 重厚な」の 2 項目であった (明るい - 暗い:

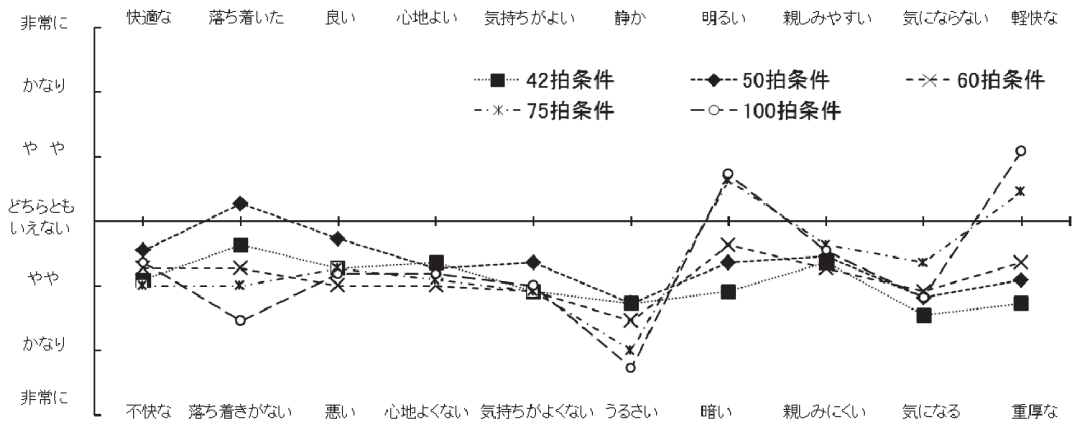


図2 5種類の音テンポ聴取に対する心理評価

図の値は5種類の音刺激に対する心理評価について全被験者の平均結果である。

$F(4,53) = 4.12, p < .05$; 軽快な - 重厚な: $F(4,53) = 4.40, p < .05$ 。Bonferroniによる多重比較の結果、42拍/minよりも75, 100拍/minは有意に明るく、42拍/minよりも100拍/minは有意に軽快であるという結果であった。

各条件間での自律神経活動の比較 心拍R-R間隔の比較: 各条件での1分毎の平均心拍率を図3に示す。統計処理の結果、条件、時間の主効果、交互作用いずれも有意な差は認められなかった。
各条件間でのCSIの比較: 各条件での1分毎のCSI成分を図4に示す。統計処理の結果、有意差が認められたのは時間の主効果のみであった ($F(3,30) = 3.28, p < .05$)。パラメトリック多重比較のBonferroni検定を行ったところ、1分目のCSI成分が最も高く、時間経過とともに低下していたが、多重比較の結果1分目と4分目とに有意差が認められた。

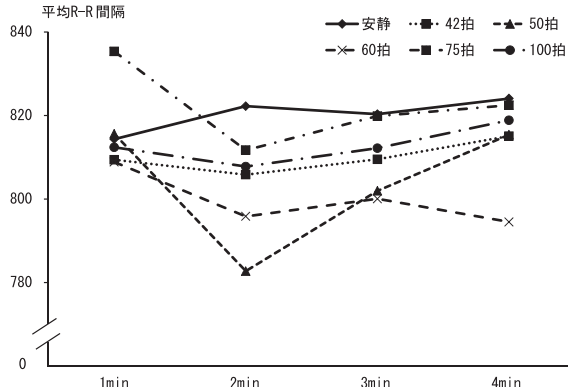


図3 各条件での1分ごとの平均R-R間隔の変化
図の値は、全被験者について各条件での1分ごとの平均R-R間隔を算出し平均したものである。

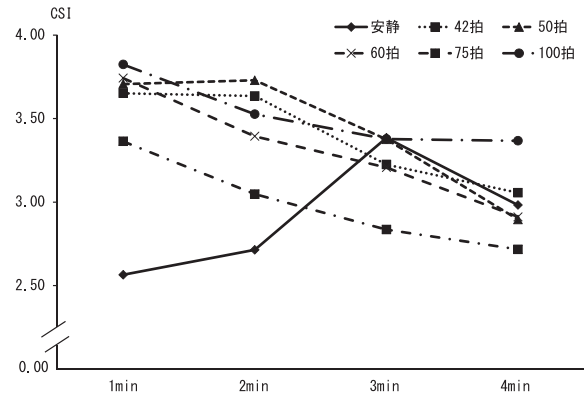


図4 各条件での1分ごとのCSIの変化

図の値は、全被験者について各条件での1分ごとのCSIを算出し平均したものである。

各条件間でのCVIの比較: 各条件での1分毎のCVI成分を図5に示す。統計処理の結果、条件及び時間の主効果が認められた (条件: $F(5,50) = 2.86, p < .05$; 時間: $F(3,30) = 10.64, p < .05$)。42拍, 50拍, 75拍, 100拍/min条件が、安静条件と60拍/min条件よりもCVI成分が高かったが、Bonferroniによる多重比較の結果、100拍/min条件と、安静条件, 60拍/min条件において有意差が認められた。時間については、1分目のCVI成分が最も高く時間経過とともに低下しており、Bonferroniによる多重比較の結果においても1分目は2, 3, 4分目に対し有意差が認められた。

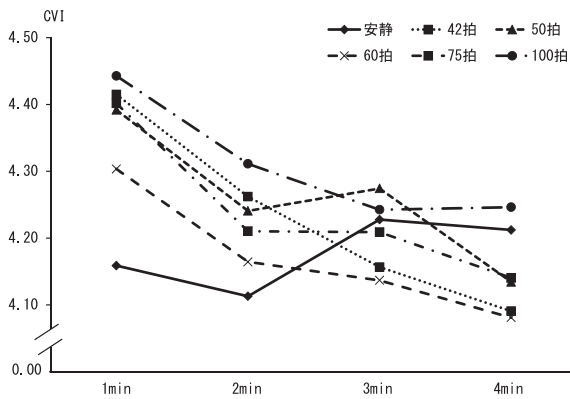


図5 各条件での1分ごとのCSIの変化

図の値は、全被験者について各条件での1分ごとのCSIを算出し平均したものである。

考察

本研究で用いた5種類の音テンポの音圧は80dB (A)であったが、この値は騒々しい工場内に相当する騒音レベルである(小野測器, 2009)。音テンポに対する心理評価の結果においても、5種類全ての音テンポに対しうるさいと感じており、不快で、心地も気持ちもよくないとネガティブな評価であった。本多(1997)は75拍、100拍/minとテンポが速くなるに従い不快感が増加すると報告している。本研究においても、統計的な有意差は見いだされなかったが、テンポが速くなるにしたがい、うるさく、落ち着きがなくなるという回答を得た。特に100拍/minは非常にうるさく、かなり落ち着きがないと評価されていた。一方でテンポが速い75拍、100拍/minでは、他のテンポよりもやや明るく、やや軽快であるというポジティブな評価もあった。本研究において、5種類の音テンポはいずれも不快な刺激であり、特に100拍/minは他の音テンポと比べ、ネガティブ、ポジティブのいずれにしても心理的負荷が大きい刺激であったと考える。

自律神経機能への影響について検討したところ、60拍/minを除いた他の音テンポのCVI成分が安静条件よりも高かった。統計的にも安静状態と100拍/min条件において有意差が認められた。心理評価の結果から、4分間80dB (A)の

音テンポを聴取するという実験事態では、実験協力者はなす術もなくただ音テンポに曝されるという状態であったと推察される。心理評価の結果からも100拍/minは他の音テンポよりも心理的負荷が大きかったことが明らかとなっている。そのため、受動的対処においてみられるパターンIIの反応が他の音テンポよりも100拍/minにおいて、より一層惹起され、副交感神経活動の亢進が有意に認められたものと考えられる。

なお、武中・岡井・小原・井上(2005)は安静時の心拍に近いテンポ、平均64.6拍(SD=8.9)のテンポを聴取するとリラックス感を得ると報告している。本研究では騒々しい80dB(A)の音であったため、心拍に近いテンポである60拍/min条件であっても、他の音テンポと同様にうるさく、不快だというネガティブな心理評価であった。しかしながら、60拍/min条件のCVI成分は安静状態の値と変わりなく、他の音テンポよりも低かった。統計的にも100拍/min条件よりも有意に低かった。この結果から、心拍に近い音テンポの聴取は武中他(2005)の指摘するようなリラックス感を得るまでには至らなかったが、他の音テンポとは異なりパターンIIの反応である副交感神経活動の亢進が見られなかったと考える。

また、自律神経機能の時間推移を見てみると、CSI成分は最も1分目が高く、漸次下がり4分目には有意に減衰していた。これは、音テンポ条件で毎回新奇な音刺激が与えられたことによる定位反応を反映した結果であると推察される。どのような種類の刺激であっても環境条件が変化することで定位反応(OR: orienting response)は生じ、刺激の反復提示により減衰するが(道広・三橋, 1997)、刺激強度が強い場合は交感神経活動が亢進する(Graham, 1979)。本研究の音テンポの音圧は80dB (A)と強い刺激強度であった。そのため音テンポ聴取開始の1分目のCSI成分が高かった。しかしながら時間経過とともに慣れが生じ低下したと推察される。CVI成分も1分目においても最も高く、2分目以降有意に減衰していた。音テンポ聴取開始の1分目の高いCVI成

分は、新奇な音テンポに対し注意を向け受動的対処を行ったことによる副交感神経活動の亢進を反映したものと言える。CSI成分とCVI成分とでは減衰速度が異なるが、この点については副交感神経の方が交感神経よりも変化が早いのではないだろうか。統計的な有意差は見いだされなかったが、音テンポという刺激のない安静状態では、1分目のCSI成分は低かった。CVI成分においても1分目から4分目まで大きな変化は見られなかった。

なお、Lacy & Lacy (1978) は刺激に注意を向けるなどの「環境の取り入れ」を要する受動的対処を行う場合では心拍は減少するとしているが、本研究での平均R-R間隔は条件間での有意な差は認められなかった。この結果は、上で述べたように、最も心理的負荷の大きかった100拍/minにおいてパターンIIの反応である副交感神経活動の亢進は見られたが、聴取時間の経過とともに減衰した。刺激強度の強い音テンポ聴取直後に定位反応である交感神経活動が亢進したが、時間経過とともに刺激に対し慣れが生じ、減衰した。副交感神経が交感神経よりも早く変化すること、つまり両者の働きに時間のずれがあること。この3点の結果、交感神経活動と副交感神経活動の両者が影響する平均R-R間隔には有意な差は見いだせなかったのではないだろうか。

本研究の目的は、受動的対処を必要とする音テンポ聴取条件での自律神経機能への影響を検討することである。本多(1997)は心拍R-R間隔のスペクトル解析による分析結果から、75拍/min、100拍/minと速い音テンポに対しLF成分が増加しHF成分は減少したと、交感神経の亢進を報告している。しかしながら本研究で用いたローレンツプロット解析では交感神経活動を反映するCSI成分において条件間での有意差は認められなかった。澤田(1999)は、LF/HFは心臓における交感-副交感神経活動のバランスを表わしているに過ぎず、LF成分、HF成分いずれも副交感神経活動の影響を受けやすいことを示唆している。本多(1997)の結果は、LF、HF成分

いずれにも副交感神経活動の影響があったのではないかと示唆できる。しかしながら本研究ではローレンツプロット解析による交感神経活動、副交感神経活動をそれぞれ個別に検討したところ、100拍/min条件において副交感神経活動の有意な亢進が明らかとなった。本研究結果から、100拍/minという音テンポは最も心理的負荷が高く、実験協力者はなす術もなくただ4分間音テンポに曝されるという受動的対応を要する刺激であったため、パターンIIの反応が惹起したと考える。この研究結果をもとに、本研究で用いたストレス刺激のみならずその他の刺激による自律神経機能の影響について、ローレンツプロット解析を用いて詳細に検討することが必要である。

(本研究の実施にあたりご協力いただいた実験協力者の皆様に感謝いたします。本研究の一部は、平成20年度大阪人間科学大学人間科学部健康心理学科に提出された卒業論文を加筆・修正したものです。本研究実施へご協力いただいた堅次祐樹さんに深謝いたします。)

引用文献

- Allen, J. J., Chambers, A. S., & Towers, D. N. (2007). The many metrics of cardiac chronotropy: a pragmatic primer and a brief comparison of metrics. *Biological Psychology*, 74, 243-262.
- Eckberg, D. L., Kifle, Y. T., & Roberts, V. L. (1980). Phase relationship between normal human respiration and baroreflex responsiveness. *Journal of Physiology*, 304, 489-502.
- 本多薫 (1997). 音のテンポが心拍変動と快適感に与える影響 日本生理人類学会誌, 2, 33-38.
- 稲森義雄 (1986). 心拍率水準および心拍率変動制に及ぼす呼吸の影響 バイオフィードバック研究, 13, 5-11.

- 稲森義雄 (1998). 心拍の計測と処理 宮田洋監修 新生理心理学 第1巻 生理心理学の基礎 第9章 北大路書房 Pp.158-169.
- Graham, F. K. (1979). Distinguishing among orienting, defensive, and startle response. In H. D. Kimmel, E. H. van Olst & J. F. Orlebeke (Eds) The orienting reflex in humans. New York: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 137-1167.
- 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.
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of Atmospheric sciences*, 20, 130-141.
- 景山茂 (1983). 心電図 R-R 間隔の変動と自律神経系：生理学的意義と糖尿病性自律神経障害への応用 神経内科, 19, 119-126.
- Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1978). Two-way communication between the heart and the brain: Significance of time within the cardiac cycle. *American Psychologist*, 33, 99-113.
- 道広和美・三橋美典 (1997). 定位反応と慣れ 宮田洋監修 新生理心理学 第2巻 生理心理学の基礎 第4章 北大路書房 Pp.28-39.
- 小野測器 (2009). 騒音計とは 小野測器技術レポート 2009年 <http://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/noise/NewSoundLevelMeter.pdf><http://www.neurology-jp.org/guideline/dementia/3-02c02.html>> (2012年10月31日)
- 澤田幸展 (1998). 血行力学的反応 宮田洋監修 新生理心理学 第1巻 生理心理学の基礎 第10章 北大路書房 Pp.172-195.
- 澤田幸展 (1999). 心拍変動性：それは心理生理学において利用可能か？ バイオフィードバック研究, 26, 8-13.
- 武中美佳子・岡井沙智子・小原依子・井上健 (2005). 心拍を基準としたテンポのリズム聴取による生理反応に関する研究 臨床教育心理学研究, 31, 43-55.
- Toichi, M., Sugiura, T., Murai, T., & Sengoku, A (1997). A new method of assessing cardiac autonomic function and its comparison with spectral analysis and coefficient of variation of R-R interval. *Autonomic Nervous System*, 62, 79-84.