

# 音のテンポと呼吸数の組み合わせが自律神経系に与える影響

渡辺 謙<sup>†1</sup> 大石 悠貴<sup>†2</sup> 柏野 牧夫<sup>†1 †2 †3</sup>

**概要:** これまで、多くの研究で音楽が人間に与える影響が調べられ、自律神経活動や呼吸が計測されてきた。しかし、音楽の各パラメータがどのように影響を与えるかはまだわかっていない。そこで、本研究では音のパラメータの中でもテンポに着目し、音のテンポと呼吸数の組み合わせが自律神経系に与える影響について調べた。本研究では、二つの実験を行い、それぞれ18名の健常者が参加した。実験条件として、音のテンポは60 BPM、80 BPM、呼吸数は15 CPM、20 CPMの全組み合わせ4条件で各5分間の実験を行った。音刺激は、単純なドラム音を用いて、呼吸はメトロノームを用いて統制した。実験中に、心電図と呼吸を計測し、自律神経活動の指標として平均心拍数と心拍の変動成分を解析した。

結果として、20 CPMで呼吸をしながら、80 BPMのテンポの音を聴く条件のみで、交感神経活動が増加し、平均心拍数の増加が見られた。他の条件では平均心拍数の変化は見られなかった。本研究から、交感神経活動の顕著な増加には、交感神経中枢であるRVLMの一定以上の発火率と、音と呼吸リズムの同期という二つの条件が必要な可能性が示唆された。結論として、音楽が生体の交感神経活動に影響を与えるには、音楽のテンポと呼吸数の組み合わせが重要な要因になると考えられる。

**キーワード:** テンポ、呼吸数、自律神経系、音楽

## 1. はじめに

音楽が人間に与える影響は大きく、これまでも多くの研究でその影響とメカニズムを調べられてきた。しかし、音楽を聴くというのは、非常に複雑な要素が絡まった現象であり、呼吸の変動や、神経活動・内臓機能・感情の変化を引き起こす。

人間は音楽を聴くことで、リラックス・興奮・懐古・寂寥感などを感じることもある。音楽が人間の感情に与える影響は、扁桃体や自律神経の活動を計測することで推定できる。扁桃体には、聴覚系の内側膝状体と聴覚皮質からの神経投射があり、聴覚入力と感情・記憶を結びつける[1]。また、自律神経系は、血液循環・呼吸などの内臓機能を統制する末梢神経系の一部であり、感情とも関係がある。交感神経系のうち血圧を制御する中枢は頭側延髄腹外側野(RVLM: rostral ventrolateral medulla)にあり、扁桃体からの投射があることがわかっている[2, 3]。このように、自律神経系は人間の聴覚と感情に関係があるため、本研究では自律神経系に着目した。

自律神経系の支配を受けている臓器のうち、呼吸系は意識的に変動させることができる数少ない器官である。呼吸系の中核である延髄腹側呼吸柱(VRC: ventral respiratory column)は、延髄内でRVLMと結合していると考えられており、VRCの生み出す呼吸リズムと交感神経活動の変動が同期していることが確認されている[4]。このように、呼吸は交感神経系と深い関係があり、意識的に変化させることができるため、本研究では呼吸にも着目した。

音楽には、テンポ、音色、リズム、音圧など様々なパラメータがあり、どのパラメータがどのように生体に影響を与えているのかまだわかっていない。これらの中でも、テンポは音楽を特徴付ける重要なパラメータで、音楽を聴いた人間の感情にも影響を与える。Bernardiらは、様々な種類の音楽を提示し、その際の実験参加者の心拍・呼吸・脳血流を計測した。その結果、音楽の種類や好みよりも、音楽のテンポが生体活動に影響する主要な要因であった。また、テンポの速い音楽を聴いた際に、呼吸数・心拍数・血圧・交感神経活動の増加が見られた[5]。しかし、この研究では様々な種類の音楽を用いており、この結果がテンポの違いだけによるものかわからない。呼吸数も増加しているため、呼吸系からの交感神経系への影響も含まれている。また、Starkらによって、呼吸数を増加させると心拍数は変化しないが、副交感神経活動が減少するという結果が報告されている[6]。

以上のように、音楽を聴いている際に、音楽のテンポと呼吸がそれぞれ自律神経系に与える影響はまだ詳細にわかっていない。そこで本研究では、音のテンポと呼吸数を個別に統制して、その組み合わせによる自律神経系に与える影響の変化を調べることを目的とした。また、音楽の他のパラメータの影響を除外するために、単純なドラム音を用いて実験を行い、聴覚系へ影響を与えないために、呼吸の統制は視覚刺激のみで行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験参加者

本研究では、音のテンポと呼吸数が自律神経系に与える影響を調べるため、実験1と実験2の二つの実験を行った。

実験には、健常聴力で不整脈の無い、18歳から35歳の男女が参加した。実験参加者は、実験1では18名、実験2

<sup>†1</sup> 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology  
<sup>†2</sup> NTT CS 研  
NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation  
<sup>†3</sup> JST CREST  
JST CREST

では実験 1 とは独立な 18 名とした。

## 2.2 実験環境

実験 1, 2 で聴覚刺激として、一定のテンポの単純なドラム音を用い、音圧レベル (A 特性) は 68.0 dB とした。全実験を通して同様の音を用いており、テンポのみを変化させて実験を行った。音刺激は、オーディオインターフェース UA-5(Roland, Japan) を介して、ヘッドホン HD 650(Sennheiser, Germany)によって再生した。

また本研究では、全実験において呼吸を統制した。実験参加者は、正面のスクリーンに提示された音の鳴らない電子メトロノームに合わせて呼吸を行った。

生体応答の計測には、心電図と呼吸バンドを用いた。心電図は胸部三点にシール電極を取り付け、呼吸は伸縮性のあるバンドを腹部に巻いて、MP150(BIOPAC System, USA)によって計測した。そして AcqKnowledge(BIOPAC System, USA)を用いて、モニターと記録を行った。実験は、静かな部屋で椅子に座って安静にした状態で行われた。

## 2.3 実験手順

実験では、呼吸を一定速度に統制している状態で、一定のテンポの音を提示した。その際に、心拍数と呼吸を計測した。そして、呼吸数と音のテンポの組み合わせを変えて実験を行った。実験を行った各組み合わせを Table 1 に示す。単位は CPM (cycles per minute) と BPM (beats per minute) であり、それぞれ 1 分当たりの呼吸を統制しているメトロノームの往復回数と音の提示回数を表している。

実験 1 では、Table 1 の 4 条件で実験を行い、基準値として呼吸数が 15 CPM で音の提示が無い条件で測定した。方法は、セッション毎にまず基準値を 5 分間測定し、その後 4 条件から 1 つか 2 つ選び、それぞれ 5 分ずつ実験を行った。4 条件からの選び方は無作為に行った。セッション間には 20 分以上の休憩を入れ、一人につき条件を変えて合計 3 セッション行った。

実験 2 では、自律神経活動を詳細に計測するため、実験 1 の結果を加味して条件を絞り、表 1 の条件 3, 4 についてのみ行った。基準値としては、呼吸数が 20 CPM で音の提示が無い条件で測定した。方法は、セッション毎にまず基準値を 5 分間測定し、その後条件 3 か 4 について 5 分間実験を行った。

表 1 実験の各条件

条件番号	呼吸数(CPM)	音のテンポ(BPM)
1	15	60
2	15	80
3	20	60
4	20	80

これは、連続で実験を行うことで、実験参加者の自律神経活動の変化を詳細に観測することが目的である。セッション間には 20 分以上の休憩を入れた。

## 2.4 解析方法

本研究では、心電図と呼吸を計測した。呼吸に関しては、全実験において呼吸の統制を行っていたため、提示したメトロノームの動きに呼吸が同期していることを確かめるために計測を行った。

心電図に関しては、各条件における平均心拍数を計算した。その際に、実験時間 5 分の後半 3 分間のデータを用いて計算した。抽出した区間内で、心電図から各 R 波 (心電図のピークの波) と次の R 波の時間間隔 (RR interval(ms)) を計算し、 $60 / \text{RR interval}$  を心拍数とし、区間平均したものをその条件における平均心拍数とした。

実験 2 において、自律神経活動を評価するために、心拍変動解析 (HRV : heart rate variability) という手法を用いて自律神経活動の指標とした。HRV の解析方法は、[7] に従った。解析の手順として、まず前述の RR interval を実験の経過時間に対してプロットし、三次のスプライン補間を用いてグラフを補間して高速フーリエ変換 (FFT) をし、周波数領域のグラフを得た。その後、特定の周波数領域において、パワーの積分和を計算し、自律神経活動の指標とした。ここで、0.04 - 0.15 Hz の積分和を LF (low frequency) 成分、0.15 - 0.4 Hz の積分和を HF (high frequency) 成分と呼び、HF 成分が副交感神経活動、LF / HF 成分が交感神経活動の指標となる。

## 2.5 統計解析

実験 1 では、実験参加者 18 名の内 2 名が計測した呼吸と、提示したメトロノームの同期が確認出来なかったため、残りの 16 名について解析を行った。本実験では、主に個人内の変化を見るため、各条件での平均心拍数を、個人毎の平均心拍数の基準値で規格化した。データは、*t* 検定による基準値との比較と、呼吸数と音のテンポの 2 要因分散分析 (ANOVA: analysis of variance) によって解析した。その後、ANOVA で有意な変化が見られた際に、下位検定として、単純主効果検定によって各条件を比較した。

実験 2 では、実験参加者 18 名の内 1 名が計測した呼吸と、提示したメトロノームの同期が確認出来なかったため、残りの 17 名について解析を行った。統計解析においては、セッションの各条件 5 分間の内、後半 4 分間のデータを使用した。HRV のデータは、Wilcoxon の符号付順位和検定によって解析した。

有意水準は、全ての解析において  $p < .05$  とした。

### 3. 結果

#### 3.1 実験 1

実験 1 における条件 1 から条件 4 の平均心拍数の全参加者平均は図 1 のようになった。横軸は、条件番号および呼吸数 (CPM)・音のテンポ (BPM) となっている。縦軸は基準値で規格化した平均心拍数であり、平均±標準誤差 (SEM) で表されている。基準値との比較において、条件 1, 2, 3 では変化が見られず、条件 4 のみで平均心拍数な有意な増加が見られた ( $t(15) = 3.10, p < .01$ )。

全条件を音のテンポと呼吸数の 2 要因 ANOVA で解析した結果、交互作用に有意な変化が見られた ( $F(1, 15) = 9.79, p < .01$ )。

交互作用が平均心拍数に有意に影響していると考えられるため、下位検定として単純主効果検定を行った結果、条件 4 の平均心拍数が、条件 2 と条件 3 より有意に増加していることがわかった (条件 2:  $p < .01$ , 条件 3:  $p < .001$ )。

以上の解析結果をまとめると、音のテンポもしくは呼吸数の各要因のみでは平均心拍数に影響を与えず、20 CPM で呼吸している際に、テンポが 80 BPM の音を聴くときのみに平均心拍数が有意に増加した。

#### 3.2 実験 2

実験 2 では、実験 1 で平均心拍数が増加した条件 4 における自律神経活動の変化を計測するため、呼吸数が 20 CPM である条件 3, 4 について実験を行った。実験 2 の二つのセッションにおける HRV の LF/HF と ln HF を図 2 と図 3 に示す。横軸は条件番号および呼吸数・音のテンポで、縦軸は HRV の LF/HF および ln HF であり、平均±SEM で表されている。

各セッションにおいて Wilcoxon の符号付順位和検定を行った結果、条件 4 のセッションの HRV の LF/HF に関してのみ基準値からの有意な増加が見られた ( $T(17) = 33, p < .05$ )。

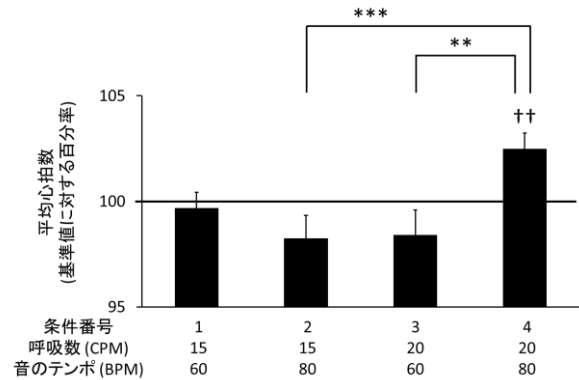


図 1 各条件における平均心拍数  
 (条件間の比較 \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$   
 基準値との比較 †† $p < .01$ )

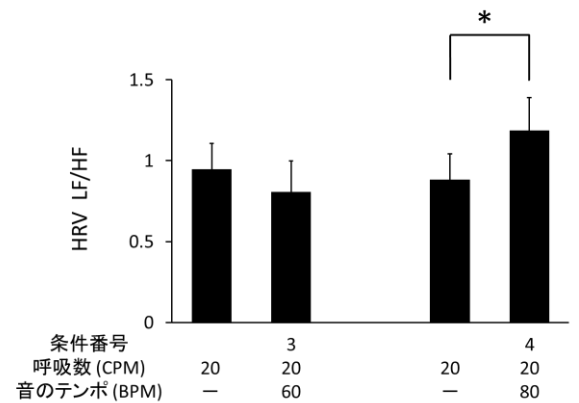


図 2 各セッションにおける HRV の LF/HF (\* $p < .05$ )

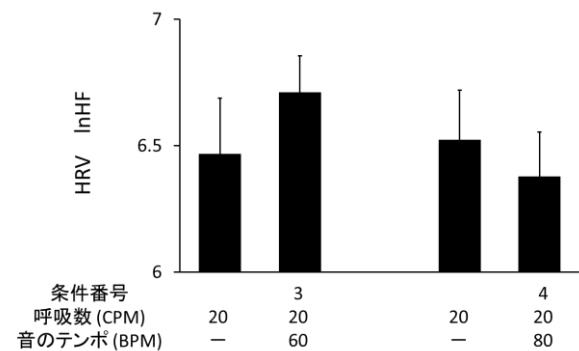


図 3 各セッションにおける HRV の ln HF

#### 4. 考察

図1に記されているように、実験1では条件4においてのみ、平均心拍数が有意に増加した。また、図2に記されているように、実験2では条件4において交感神経活動の指標となるHRVのLF/HFが増加したが、条件3では有意な変化が見られなかった。

この結果から、条件4において交感神経活動が増加し、その結果として平均心拍数の増加が見られたと考えられる。また、他の条件では自律神経活動が変化していないか、その変化が微小なものであると考えられる。

実験1で呼吸数を15 CPMに統制した際には、音のテンポを変化させても平均心拍数が変わらなかったため、音楽を聴く際の呼吸の重要性が示唆される。また、60 BPMのテンポの音を聴いている際に、呼吸数を変化させても平均心拍数が変わらなかった。

この結果が得られた神経メカニズムについて考察する。前述の通り、聴覚系および呼吸系は自律神経系と関係があり、交感神経系の中核であるRVLMに、それぞれの系から神経投射が確認されている。そのため、音のテンポの増加や、呼吸数の増加によってRVLMが活性化し、交感神経活動が増加すると考えられるが、今回音のテンポおよび呼吸数を独立に変化させても平均心拍数が変化しなかった。

このことから、交感神経活動の顕著な増加には、RVLMの一定以上の発火率と、音と呼吸リズムの同期という二つの条件が必要な可能性が示唆される。条件4においては、音と呼吸リズムが同期しており、かつ聴覚入力・呼吸によるRVLMの発火率が一定以上になるため、交感神経活動が増加し平均心拍数が増加した。

以上の結果から、呼吸数と音のテンポはそれぞれ独立では自律神経活動に与える影響は小さく、その組み合わせによって大きな影響を与えられられる。

#### 5. 結論

本研究では、音のテンポと呼吸数の組み合わせが、人間の自律神経系に与える影響について調べた。その結果、20 CPMと速い速度で呼吸しながら、80 BPMの音を聴いているときにのみ、交感神経活動の増加による平均心拍数の増加が見られた。呼吸数や音のテンポが異なる他の各条件において、平均心拍数の変化が見られなかったため、交感神経活動の顕著な増加には、RVLMの一定以上の発火率と、音と呼吸リズムの同期という二つの条件が必要な可能性が示唆された。

結論として、音楽が交感神経活動及び心拍数に影響を与えるには、音楽のテンポと呼吸数の組み合わせが重要な要因になると考えられる。

1. Kraus, K.S. and B. Canlon, Neuronal connectivity and interactions between the auditory and limbic systems. Effects of noise and tinnitus. *Hear Res*, 2012. **288**(1-2): p. 34-46.
2. Saha, S., Role of the central nucleus of the amygdala in the control of blood pressure: descending pathways to medullary cardiovascular nuclei. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 2005. **32**(5-6): p. 450-6.
3. Saha, S., et al., Central nucleus of amygdala projections to rostral ventrolateral medulla neurons activated by decreased blood pressure. *Eur J Neurosci*, 2005. **21**(7): p. 1921-30.
4. Baekkey, D.M., et al., Effect of baroreceptor stimulation on the respiratory pattern: insights into respiratory-sympathetic interactions. *Respir Physiol Neurobiol*, 2010. **174**(1-2): p. 135-45.
5. Bernardi, L., C. Porta, and P. Sleight, Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: the importance of silence. *Heart*, 2006. **92**(4): p. 445-52.
6. Stark, R., et al., Effects of paced respiration on heart period and heart period variability. *Psychophysiology*, 2000. **37**(3): p. 302-9.
7. Force, H.T., Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*, 1996. **17**(3): p. 354-81.