

音刺激が心拍変動に及ぼす影響

長坂 猛*¹ 田中美智子*¹ 須永 清*¹
増田 敦子*² 楊箸 隆哉*³ 佐伯 由香*⁴ 榊原 吉一*⁵

【抄 録】

異なる音源下で起こる生体反応（緊張度）を心拍変動（HRV）によって把握することを試みた。20代の健常者6名を対象とし、仰臥位の被験者にヘッドフォンから音を聞かせた。音源は(1)浜辺の波音、(2)アラーム音、(3)機械騒音（各70db程度）、および(4)無音の4種と設定した。4種の音源から1種ずつ、被験者に聴取させた。心電図（ECG）のデータから心拍数を読みとったのち、自己回帰（AR）モデルを仮定してスペクトル解析し、自律神経の作動バランスを示す指標として低周波成分（LFC：0.04~0.15Hz）と高周波成分（HFC：0.15~0.4Hz）の構成比（LFC/HFC）を計算した。平均心拍数を経時的にみると、全ての音源で減少する傾向にあったが、機械騒音の場合は実験終了時まで減少率が低かった。LFC/HFCの大きさは、波音<アラーム音<無音<機械騒音であり、特に波音は副交感神経系の活性を優位にし、リラクゼーション効果をもたらした。

【キーワード】 音、心拍変動（HRV）、RR間隔（RRI）、自己回帰スペクトル解析

I 序論

病棟・病室内で発生する音は、入院中の患者にとって1つの重要な環境要素である。よりよい環境を設定するためには、アンケートなどによって快適・不快な音源を調査することに加え、音を聞いているときの生体反応を定量的に測定することが重要である。ICUやCCUの一部では苦痛を和らげるために音楽によるリラクゼーションを取り入れている^{1) 2)}。しかし、音が患者の生理的な機能に及ぼす影響を定量的に評価する手法は完全ではないため、臨床で調査をする場合であっても、調査そのものの安全性が完全に保障されているわけではない。そこで本研究では、音源が数種の生体機能に及ぼす影響を調査した中から、心拍変動に及ぼす影響について報告し、将来的に臨床での客観的な指標を与えるという視点から、健常者のデータを用いて基礎的な解析を試みる。

音のようなストレスが存在するとき、動物の生理機能に現れる変化を示す指標として心拍変動（HRV）がある。健常者の心拍時系列に存在する「ゆらぎ」を自律神経系の活動に起因するものとしてモ

デル³⁾をたてるならば、ゆらぎを構成する周波数成分を調べることによって、交感神経と副交感神経の活動バランスを見積もることが可能である。楊箸らはvisual analog scaleと周波数成分を比較し、不快で覚醒状態を引き起こすような音源は副交感神経系の働きを抑制する⁴⁾と報告したが、サンプリング間隔が250Hzであったため、HRV解析の精度⁵⁾を高める必要があった。本研究では、500Hzのサンプル間隔を採用し、異なる音源下で受ける緊張度をHRVによって把握することを試みた。

II 対象と方法

研究の目的と方法を理解し、実験の承諾を得た健常な学生6名（19~22歳、男/女=2/4）を対象とした。気温23~25℃、湿度60%前後の静かな室内（35db）にベッドを設置し、仰臥位安静の被験者にヘッドフォンから音を聞かせた。使用した音は(1)波音：浜辺の波音（Max.69db）、(2)アラーム音：携帯電話呼び出し音（Max.73db）、(3)騒音：空調の機械騒音（Max.70db）、(4)無音の4種とした。4種の音源から

*1 Mou Nagasaka, Michiko Tanaka, Kiyoshi Sunaga：宮崎県立看護大学

*2 Atsuko Masuda：東京医科歯科大学

*3 Ryuya Yanagishashi：信州大学 医療技術短期大学部

*4 Yuka Saeki：長野県立看護大学

*5 Yoshikazu Sakakibara：金沢工業大学

1種を選び、安静（2分）－音（2分）－安静（5分）－音（2分）－安静（5分）の順に被験者に負荷し、これを1回の実験（16分）とした。解析には最少でも120～130回の心拍をモニタする必要があるため、聴音時間を2分に設定した。1セットの実験では被験者1人につき、4種の音源を聴く実験を合計2回、それぞれ別の日に行った。

心電図測定には日本光電社製ポリグラフR-6300を採用し、日本光電社製TR-611Tを用いて呼吸数も同時に測定した。HRVの測定には500Hz以上が必要⁵⁾とされているため、心電図および呼吸センサーからのアナログ信号は、それぞれ1/500秒ごとにA/D変換し、BIOPACK社製MP-100を通して連続的にハードディスクに記録した。

心拍という一種の波は洞房結節に起因する一定の波（固有心拍数）と、自律神経系による変動成分（HRV）の合成と考えることができる。ここでSaulのモデル³⁾を仮定すれば、呼吸による副交感神経の活性の影響を受けるRR間隔（RRI）の高周波成分（HFC）と、血圧調整による交感神経ならびに副交感神経の活性に影響を受ける低周波成分（LFC）との比を用いることによって、自律神経系のバランスを定量的に評価できる。そこで得られた心拍データからRRIを抽出し、次式の自己回帰（AR）モデルを仮定してスペクトル解析した。

$$x(t) = \sum_{m=1}^{\infty} a(m)x(t-m) + e(m)$$

式中の文字はそれぞれ、 m ：次数、 t ：時間、 a ：AR係数（重みづけ係数）、 e ：誤差を意味する。ARモデルを用いた解析プログラムは、和田ら⁶⁾が示したものを用い、計算時のAR係数の次数は20とした。RRIのスペクトル帯は、HF：0.15～0.4Hz、LF：0.04～0.15Hzとした。

なお、音種による周波数成分の比較には、一元配置分散分析を用い、各群間の検定にはFisher's Protected Least Significant Difference testを用い、いずれも有意水準は5%とした。

Ⅲ 結果

A. 心拍数の経時変化

心電図から得られたRRIの典型的な時間変化を図1に示す。上から順にアラーム音・無音・波音・騒音であり、このときの実験もこの順番で行った。各音種を比較すると、騒音の場合はRRIが聴音後に大きく変化しているが、アラーム音、波音ともに、聴音時に目立った変化は見られない。

図2は各音種についてRRIの時間変化を1分ごとの平均値で示したものである。縦軸は実験開始時を基準にしたRRIの増加率（%）である。どの音刺激を与えた場合でも、時間の経過とともにRRIは増大（心拍数が減少）する傾向にあったが、音刺激の種類によってRRIの変化率に違いがあった。波音時のRRIは

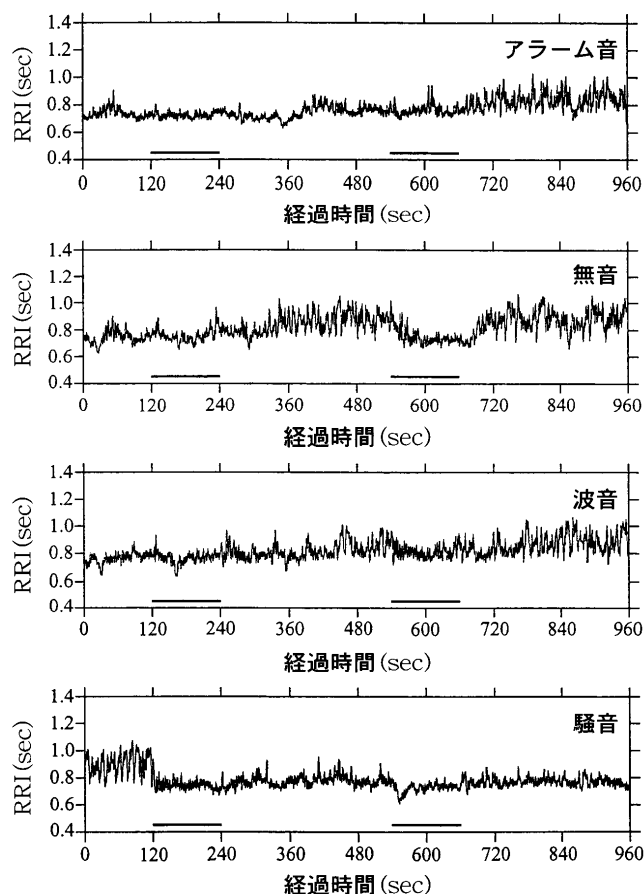


図1 典型的なRRIの経時変化

最上段から順にアラーム音、無音、波音、騒音を示す。図中の線は聴音の時間帯である。

著しく増大しているのに対し、騒音時のRRIにはあまり時間的な変化が見られなかった。

B. 周波数解析

RRIの変化が周期の異なる波形の重ね合わせと仮定し、図1で示した典型的な事例にARモデルによるスペクトル解析を施したものを図3に示す。縦軸はパワースペクトル、横軸は周波数である。全てに0.2~0.3Hzのピークが見られたが、これは呼吸の周波数に一致する。この場合のアラーム音には存在しな

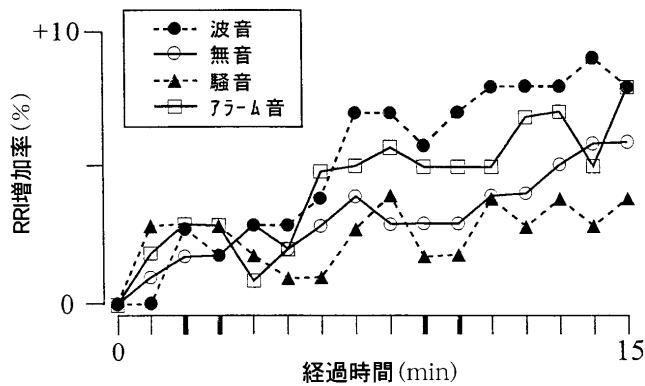


図2 RRIの増加率

1分ごとの平均値を経時的に示したものの。各音種とも測定開始から1分目までを基準にしている。横軸の太い目盛は聴音時である。

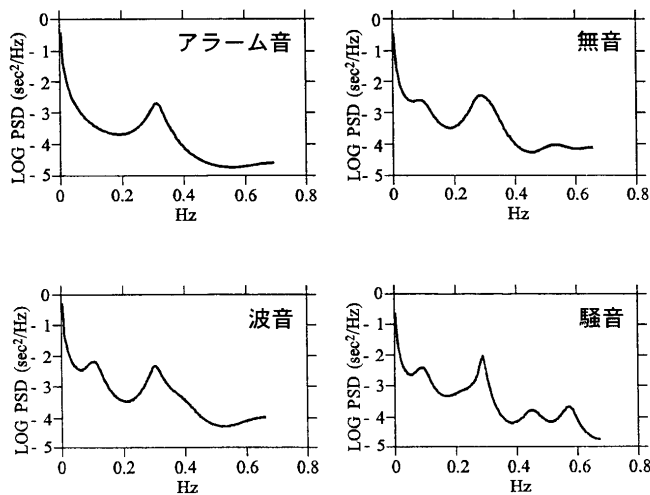


図3 典型的な心拍変動のスペクトル

図1で示した聴音時のRRIを、スペクトル解析したものの。

いが、すべての音種で0.1Hz近辺にピークが現れることが多かった。

LFC/HFC (LFC, HFC:それぞれ低周波帯, 高周波帯のスペクトル積分値)を求め、音種ごとに整理したものが図4である。ヒストグラムは左から聴音前, 聴音時, 聴音後について各2分間の平均LFC/HFCを示し、エラーバーは標準誤差を意味する。各音刺激とも聴音前の状態を見ると、それぞれ0.8程度であり、違いは認められなかった。無音および騒音を聴取した場合は、聴音によってLFC/HFCに際だった変化はないが、アラーム音および波音の場合はLFC/HFCの著しい減少が見られた。聴音時の値に注目すると、波音<アラーム音<無音<騒音であり、統計的な差は表1に示す通りであった。

IV 考察

本研究ではRRIから評価した自律神経の活性バランスをもとに、異なる音源下で起こる生体反応を定量的に示すことを試みた。RRIの時間変化とLFC/HFCは、音種によって違いが見られ、とりわけ波音時は副交感神経が優位に働いていることが明らかになった。拍動は延髄の心臓血管中枢の支配を受けるが、独立的に支配するわけではなく、より高次の脳と関係がある。

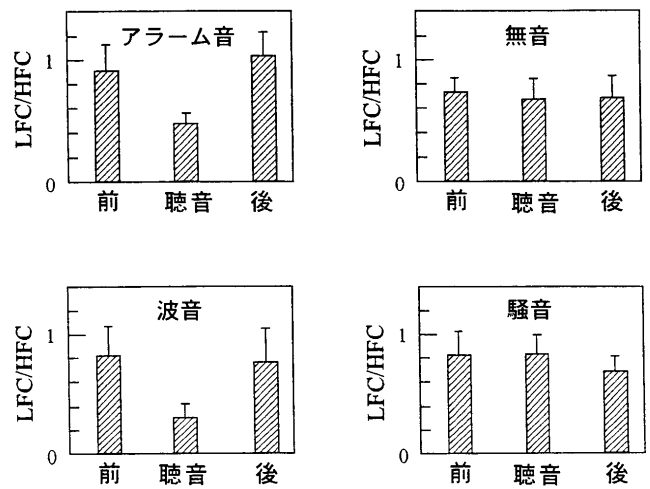


図4 聴音前後のLFC/HFC

各音種とも平均値を表している。エラーバーは標準誤差である。

表 1 LFC/HFCの音種による差違

	無音	波音	騒音	アラーム音	p 値
LFC/HFC	0.66±0.07	0.32±0.07	0.81±0.18	0.47±0.12	p=0.05
	p<0.1		p<0.05	p<0.1	

数字は平均値±標準誤差である。各群間の差はFisher's Protected Least Significant Difference testを用いて検定した。

聴覚器で受容された音刺激とそれに起因する情動等の情報は、高次の脳で統合され、延髄の心臓血管中枢へと伝達される。心臓血管中枢による心拍の制御は自律神経系、およびそのフィードバックシステムにもとづいて行われる。Saulのモデル³⁾は、HRVの周波数成分を用いてストレスによる緊張度が計測できることを示唆している。モデルがシンプルであるため、周波数解析から心拍を促進させる交感神経系の活性を示すことは難しい。しかし、今回の実験結果で見られた波音とアラーム音の聴音にともなうLFC/HFCの変動は、心拍を効率的に抑制する傾向にあり、このことは副交感神経系が交感神経系に対して優位に働き、聴音によって緊張度の緩和（リラクゼーション効果）がもたらされたことは明らかである。聴音前を基準として、聴音時の値を比較すると波音<アラーム音<無音<騒音であり（図4）、被験者の緊張度がこの順で高いと考えるならば、図2で見られたRRIの増加率と同様の傾向にあることがわかる。

楊箸らは小鳥のさえずり音、シンセサイザ音、機械騒音の3種を用いて、HRVとvisual analog scaleによる快・不快感とを比較し、不快感の強い機械騒音を聴いた場合は、小鳥のさえずりやシンセサイザ音に比べて副交感神経系が抑制されることを示した⁴⁾。今回、機械騒音時に比べて波音時に副交感神経系が優位に働いたことは、楊箸らの結果とも一致している。

医療現場での音刺激は定常的なものであるとは限らないため、長時間もしくは短時間の音刺激が聴音後の心拍にどの程度の影響を及ぼすのかという測定も今後は必要となる。今回の実験では聴音後のLFC/HFCはアラーム音、波音ともに聴音前のレベルに

ただちに戻っており、これらの音種の場合は2分程度の音刺激を与えても自律神経系への影響は持続しない傾向にあった。しかし、騒音の場合は、LFC/HFC値が減少傾向にあったため、音種によって聴音後に緊張度が変化する可能性もあり、今後の調査が必要となろう。

本研究は、平成11、12年度宮崎県看護学術振興財団の助成を受けた研究結果の一部である。

文献

- 1) 久保美紀, 安宅敬子, 成田伊紀, 松田直樹, 笠貫 宏, 野村 忍, 細田瑛一: CCUにおける音楽療法の効果, 日本バイオミュージック学会誌, vol 13 (2), 126-131, 1996.
- 2) Biowerk L.: Effects of relaxing music on state anxiety in myocardial infarction patients., Crit. Care Nurse, 13 (2), 63-72, 1993.
- 3) Saul J. P.: Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow., News Physiol. Sci., vol.5, 32-37, 1990.
- 4) Yanagihashi R., Ohira M., Kimura T. and Fujiwara T.: Physiological and psychological assessment of sound, J. Biometeorol, 157-161, 1997.
- 5) 早野順一郎: 自律神経機能検査 (第2版), 日本自律神経学会編, 文光堂, 57-64, 1995.
- 6) 和田孝雄: 生体のゆらぎとリズム, 赤池弘次監修, 110-162, 講談社, 1997.

Effects of Different Sound on Heart Rate Variability

Mou Nagasaka*¹ Michiko Tanaka*¹ Kiyoshi Sunaga*¹

Atsuko Masuda*² Ryuya Yanagihashi*³ Yuka Saeki*⁴ Yoshikazu Sakakibara*⁵

【Abstract】

The analysis of R-R interval of electrocardiogram (ECG) was performed to investigate the physical responses under the condition of four different sounds in 6 normal adult subjects.

Recordings were made for 16 min during supine position through a headphone under the condition of four different sounds; (1) a ripple, (2) alarm (telephone), (3) noise (broken air conditioning), (4) silence. Amount of each spectral component was analyzed by computer system of autoregressive spectral analysis. Low-frequency component (LFC; 0.04 ~ 0.15Hz) and high-frequency component (HFC; 0.15 ~ 0.4Hz) components in the HRV were assessed by the frequency analysis of time-series data obtained from R-R intervals in the ECG; the LFC/HFC ratio was also calculated.

Heart rate of all conditions tended to decrease with the passage of time. However, the decrement of HR in noise condition was less than that in other conditions. LFC/HFC ratio of noise condition was higher than that of other conditions, especially, the ripple.

We conclude that the ripple have the effect of sedation and relaxation due to increased parasympathetic activity.

【Key Words】 Autoregressive spectral analysis, Heart rate variability (HRV), RR interval (RRI), Sound

-
- * 1 Mou Nagasaka, Michiko Tanaka, Kiyoshi Sunaga : Miyazaki Prefectural Nursing University
 - * 2 Atsuko Masuda : Tokyo Medical and Dental University
 - * 3 Ryuya Yanagihashi : School of Allid Medical Sciences, Shinshu University
 - * 4 Yuka Saeki : Nagano College of Nursing
 - * 5 Yoshikazu Sakakibara : Kanazawa institute of Technology