

心房細動における収縮期血圧の周波数解析

Spectral Analysis of Systolic Blood Pressure in Atrial Fibrillation

荒居 広明
佐藤 廣^{*1}
山本真千子^{*2}
桐ヶ谷 肇^{*1}
相澤 忠範^{*1}
傅 隆泰^{*1}

Hiroaki ARAI, BS
Hiroshi SATO, MD^{*1}
Machiko YAMAMOTO, PhD^{*2}
Hajime KIRIGAYA, MD^{*1}
Tadanori AIZAWA, MD, FJCC^{*}

Abstract

Objectives. Power spectral analysis was used to analyze fluctuations of systolic blood pressure and heart rate.

Methods. Non-invasive finger plethysmography and electrocardiography were performed in 20 patients with chronic atrial fibrillation and in 10 age-matched healthy subjects with normal sinus rhythm. The impulse train was stored on a personal computer and the power spectrum of R-R interval and systolic blood pressure were obtained by Fourier analysis(0.01 - 0.03 Hz). The power spectrum(log power vs log frequency)characteristically revealed a linear regression as $1/f$.

Results. The R-R interval spectrum during atrial fibrillation showed a white noise-like flat spectrum when plotted as log power against log frequency, whereas the systolic blood pressure spectrum during atrial fibrillation showed a $1/f$ noise-like negative slope linear pattern. The spectrum exponent of systolic blood pressure in patients with atrial fibrillation was significantly lower than that in subjects with normal sinus rhythm(2.3 ± 0.1 vs 1.3 ± 0.1 , $p < 0.0001$).

Conclusions. Systolic blood pressure fluctuation in patients with atrial fibrillation has a fractal component and is more complex than that of healthy subjects with normal sinus rhythm.

J Cardiol 2003 May; 4(5): 235 - 239

Key Words

■Atrial fibrillation

■Spectrum analysis (power)

■Blood pressure (systolic)

はじめに

ヒトの生命維持にとって血圧調整は重要である。血圧調整の因子の一つである心拍は、圧受容器および自律神経を介して制御シグナルが心臓に伝わり、血圧の調整が行われている。自律神経活動を定量的に評価するための分析法の一つに心拍変動の周波数解析がある^{1,2)}。心拍変動は周波数解析によって周期的な調和振動成分と非調和振動成分に分離できる³⁾。非調和振動成分はその周波数とパワーを対数変換すると、負の

直線相関があることを Kobayashi ら⁴⁾が初めて報告した。この $1/f$ 型の周波数は R-R 間隔の時系列が自己相似(フラクタル)性を持つことを意味し、その特徴はスペクトル指数によって決まる⁵⁻⁸⁾。はシステムの複雑性を表し、 1 が 1 に近いほど複雑性が増し、 1 より大きくなるに従い複雑性が減少する。

一方、心拍と密接な関係にある収縮期血圧の変動を周波数解析すると、心拍の周波数と同様に調和振動成分と非調和振動成分に分離される⁹⁾。収縮期血圧の非調和振動成分は、心拍の非調和振動成分がスペクトル

心臓血管研究所付属病院 放射線部, ^{*1}循環器内科: 〒106-0032 東京都港区六本木7-3-10; ^{*2}宮城大学 看護学部, 宮城 Department of Radiology, ^{*1}Division of Cardiology, Cardiovascular Institute Hospital, Tokyo; ^{*2}Department of Nursing, Miyagi University, Miyagi

Address for correspondence: ARAI H, BS, Department of Radiology, Cardiovascular Institute Hospital, Roppongi 7-3-10, Minato-ku, Tokyo 106-0032

Manuscript received December 17, 2002; revised February 10 and 26, 2003; accepted February 26, 2003

BS = bachelor of science

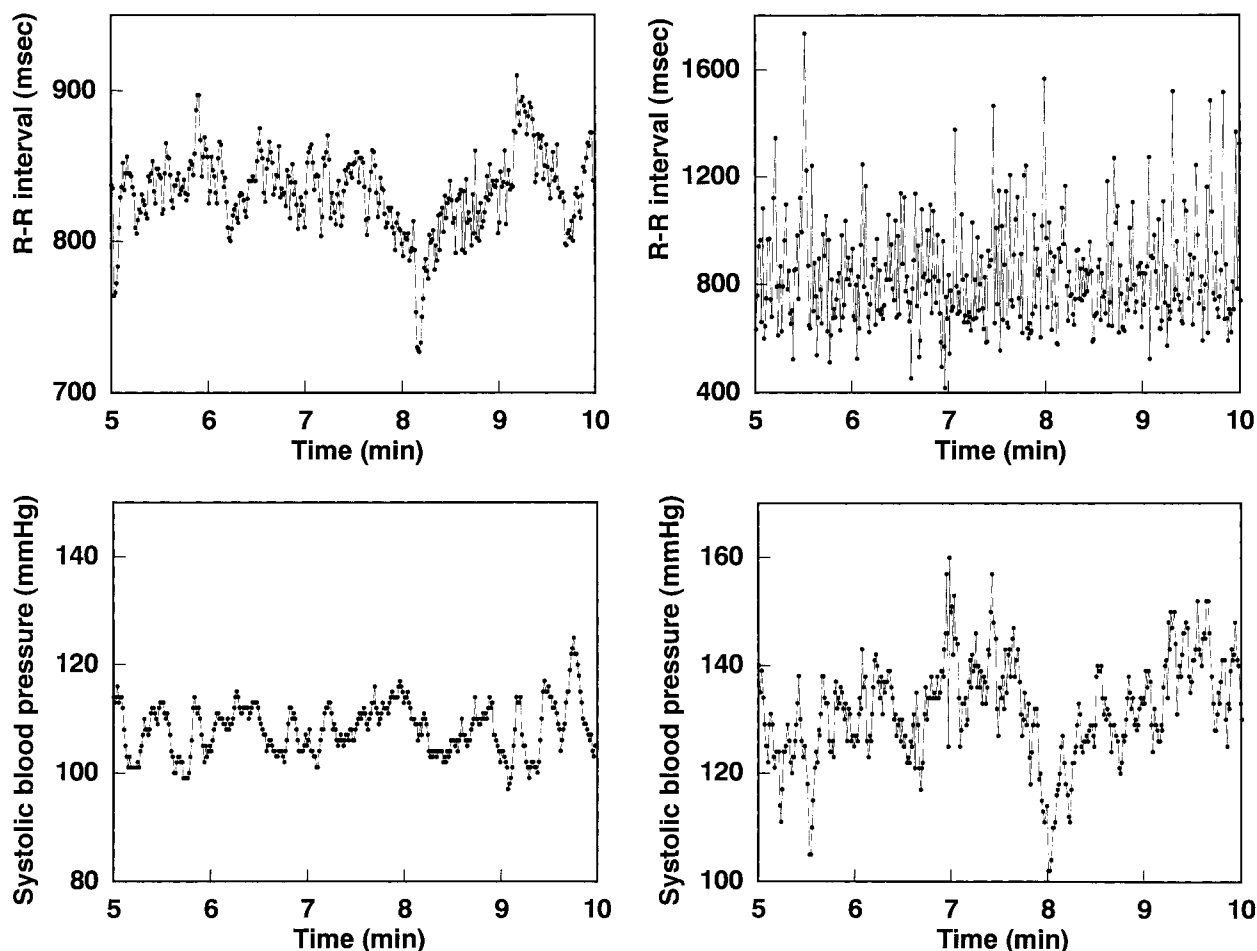


Fig. 1 Fluctuation of R-R interval (upper row) and systolic blood pressure (lower row) in a healthy man with normal sinus rhythm (left column) and in a patient with chronic atrial fibrillation (right column)

指数で特徴づけられるのと同じように、スペクトル指数で特徴づけられる。心拍のスペクトル指数は変化するが、収縮期血圧変動のスペクトル指数は下半身陰圧負荷¹⁾、起立負荷試験⁵⁾などの身体的負荷では変化しないとの報告がある。

心房細動ではR-R間隔は不規則に見えるが、Hayanoら¹⁰⁾は、心房細動の心拍の周波数解析により、 $1/f$ 成分があることを報告している。しかし、心房細動の収縮期血圧変動の周波数解析については報告がない。ここでは、心房細動の収縮期血圧変動の周波数解析を行い、その特徴を調べた。

対象と方法

1. 対象

対象は本研究の主旨を理解したうえで同意を得た心

房細動20例(男性16例、女性4例、平均年齢 63.1 ± 1.6 歳)と、循環器および自律神経活動に影響を及ぼす疾患のない健康男性10例(平均年齢 60.9 ± 1.7 歳)である。

2. 方法

早朝空腹時に安静仰臥位の状態で、胸部双極誘導心電図を心電計(Hewlett Packard製)を用いて連続的に計測した。血圧は左第3指に非侵襲的連続血圧測定用のカフ(フィナプレス2300, Omeda製)を巻いて測定した。血圧、心拍数が安定したことを確認して15分間、心拍数と血圧を測定した。心電計からのアナログ信号をTTL信号出力アンプ(フクダ電子製)に接続し、R波に同期したTTL信号をA/D変換器(PCN-2198, PC technology製)に送り、1,000Hzで計測して、パーソナ

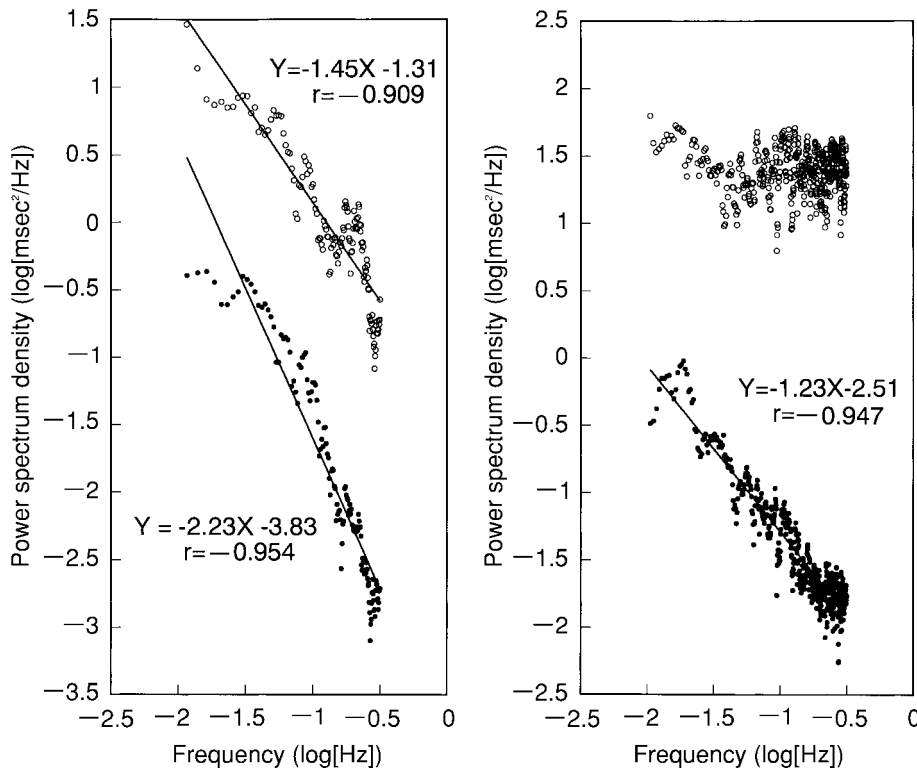


Fig. 2 Log power spectrum density vs log frequency plots of power spectra of R-R interval (○) and systolic blood pressure (●) fluctuation in a healthy man with normal sinus rhythm (left) and in a patient with chronic atrial fibrillation (right)

ルコンピュータ(PC9801B, 日本電気製)に取り込み、連続するR-R間隔を記録した。収縮期血圧は、フィナプレスからの連続血圧値のうち、心電計からの各R-R間隔内の最大値を収縮期血圧として離散的な時系列値を上記のパーソナルコンピュータに保存した。15分間の連続したR-R間隔および収縮期血圧をフーリエ変換して周波数解析を行った。0.01-0.3Hzの周波数の領域で周波数およびパワー密度を対数変換して一次回帰式に当てはめて、 $1/f$ の傾きの絶対値を求めた。

測定値は平均±標準誤差で表し、統計処理はt検定により行い、 $p < 0.05$ を有意差の判定とした。

結 果

心房細動例と健常者のR-R間隔と収縮期血圧の時系列の典型的な例をFig. 1に示す。心房細動例のR-R間隔は、400-1,700 msecの間の値をランダムにとるように見える。健常者のR-R間隔は、平均値を中心として小さな揺らぎが観測される。下段の収縮期血圧の時系

列では、両者とも時間的に変化しているが、心房細動例は健常者に比べて、周期が長くて振幅の大きい成分や短い周期の成分がより多く含まれているようにみえる。波形のパターンとしては健常者のR-R間隔と心房細動例の収縮期血圧の時系列が似ている。

健常者のR-R間隔時系列と収縮期血圧時系列の周波数解析の結果を周波数とパワー密度の対数変換したものをFig. 2-左に示す。図上のR-R間隔および図下の収縮期血圧ともに周波数が小さくなるにつれてパワー密度が大きくなるフラクタル成分が認められた。一次回帰式に当てはめるとR-R間隔は $r = -0.909$ 、 $\beta = 1.5$ であった。図下の収縮期血圧では $r = -0.954$ で $\beta = 2.2$ であった。一方、Fig. 2-右に示す心房細動例ではR-R間隔は白色雑音様(図上)であったが、収縮期血圧にはフラクタル成分が認められ、 $r = -0.947$ 、 $\beta = 1.2$ であった。

心房細動例と健常者の収縮期血圧の時系列の周波数解析のスペクトル指数をFig. 3に示す。周波数とパワー密度の直線相関係数の平均は心房細動例が

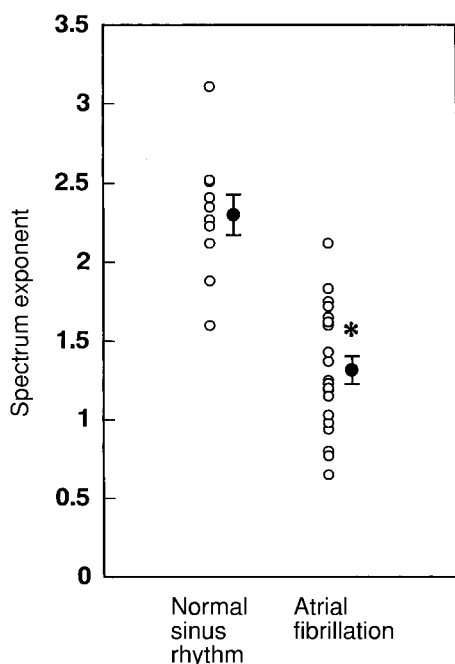


Fig. 3 Spectrum exponents of systolic blood pressure fluctuation in healthy men with normal sinus rhythm ($n = 10$) and patients with chronic atrial fibrillation ($n = 20$)

○ : Data for individual patients or subjects. ● : Means \pm SE (error bar)
* $p < 0.0001$ vs healthy subjects with normal sinus rhythm.

- 0.88 ± 0.01 , 健常者が -0.94 ± 0.01 といずれも高値で良い直線相関にあった。スペクトル指数は健常者が 2.3 ± 0.1 に対して、心房細動例では 1.3 ± 0.1 と有意に低値であった ($p < 0.0001$)。

考 察

洞調律の R-R 間隔変動では、起立負荷^{5,11)}、下半身陰圧負荷^{1,5)} や病的な状態⁹⁾ で大きくなる。これらは複雑性の低下を意味しており、外部からの刺激 - 迷走神経 - R-R 間隔のフィードバック制御の比重が重くなることを示していると考えられる。心房細動例の R-R 間隔変動の周波数解析において Hayano ら¹⁰⁾ は、0.005 Hz 以下の周波数領域に $1/f$ 成分があることを報告しているが、今回の研究では、解析時間が 15 分であったため、0.01 Hz 以下については言及できなかった。

一方、洞調律の健常者の収縮期血圧変動の β は、起立負荷試験時の安静仰臥位、起立負荷時ともに 1.8 で

変化しないことを Butler ら⁵⁾ が報告している。また、健常者と心不全例の間でも β に違いがないことが報告されている⁹⁾、このように洞調律では、収縮期血圧の β は変化しない、すなわち、血圧変動の複雑性は身体的負荷や病的状態では変化しないと考えられている。佐藤ら¹²⁾ は心房細動例で収縮期血圧時系列の β が血中ノルエピネフリン濃度と負の直線相関関係にあり、交感神経の状態により β が変化することを報告している。今回の検討では、健常者と心房細動例で収縮期血圧の時系列の β を比較した結果、健常者に比較して心房細動例では低値を示した。これは健常者の収縮期血圧よりも心房細動例の収縮期血圧時系列変動がより複雑であることを示している。その第 1 の原因に、上位中枢により制御される抵抗血管の経時的な変化の中に $1/f$ 型のスペクトルを生み出す因子の存在の可能性が考えられる。第 2 の原因として、心房細動では R-R 間隔の変動が大きくなることにある。R-R 間隔の変動は主に拡張期間の変動であり、その結果、1 回拍出量に変化が生じ収縮期血圧が変動すると考えられる。第 3 の原因は、圧受容器による心拍数の制御の喪失が考えられる。洞調律では圧受容器からの入力に迷走神経を介して洞結節を制御しているが、心房細動では洞結節による心拍の制御は喪失している。

健常者と心房細動例の収縮期血圧と R-R 間隔の時系列を解析した結果、健常者では収縮期血圧と R-R 間隔にフラクタル成分が認められた。心房細動例では、収縮期血圧のフラクタル成分は認められたが、R-R 間隔のフラクタル成分は認められなかった。今回の検討によって収縮期血圧変動の複雑性は健常者よりも心房細動例でより高いことが明らかであった。血圧は各臓器に対して安定した血流量を維持するための重要な因子であると考えられる。需要に即応した血流量の供給は制御された状態といえる。これらの見地から、複雑な収縮期血圧の変動は、生体に対して好ましい状態とはいえない。今回の結果は、このような臨床的意義を示す可能性があると考えられる。

結 論

ヒトの収縮期血圧変動の周波数解析を行った。心房細動例においても周波数とパワーを対数変換すると負の直線相関関係 ($1/f$ 型) を示し、フラクタル性を有した。収縮期血圧変動のスペクトル指数 β は洞調律の健

常者の 2.3 ± 0.1 に対して、心房細動例では 1.3 ± 0.1 と有意に小さく ($p < 0.0001$), 複雑であることを示した。

要 約

目的: 健常者10例と心房細動20例の収縮期血圧変動の周波数解析結果を比較して、その特徴を調べた。

方法: 早朝空腹時に安静仰臥位の状態で、胸部双極誘導心電図を心電計を用いて連続的に計測した。また、血圧は左第3指に非侵襲的連続血圧測定用のカフを巻いて測定した。連続するR-R間隔と血圧の各R-R間隔内の最大値を収縮期血圧として離散的な時系列値を記録して、R-R間隔および収縮期血圧をフーリエ変換して周波数解析を行った。0.01 - 0.3 Hzの周波数の領域で周波数およびパワー密度を対数変換して一次回帰式に当てはめて、 $1/f$ の傾きの絶対値を求めた。

結果: 心房細動例と健常者の収縮期血圧の時系列の周波数解析のスペクトル指数は健常者の 2.3 ± 0.1 に対して、心房細動例では 1.3 ± 0.1 と有意に小さい値を示した ($p < 0.0001$)。

結論: ヒトの収縮期血圧変動の周波数解析を行った。心房細動例においても周波数とパワーを対数変換すると負の直線相関関係 ($1/f$ 型)を示しフラクタル性を有した。収縮期血圧変動のスペクトル指数は、健常者に対して心房細動例は有意に小さい値を示し、収縮期血圧変動の複雑性は健常者よりも心房細動例でより高いことが明らかにされた。

J Cardiol 2003 May; 41(5): 235 - 239

文 献

- 1) Butler GC, Yamamoto Y, Hughson RL: Fractal nature of short-term systolic BP and HR variability during lower body negative pressure. *Am J Physiol* 1994; **267**: R26 - R33
- 2) Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P, Sandrone G, Malfatto G, Dell'Orto S, Piccaluga E, Turiel M, Baselli G, Cerutti S, Malliani A: Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res* 1986; **59**: 178 - 193
- 3) Yamamoto Y, Hughson RL: Coarse-graining spectral analysis: New method for studying heart rate variability. *J Appl Physiol* 1991; **71**: 1143 - 1150
- 4) Kobayashi M, Musha T: $1/f$ fluctuation of heartbeat period. *IEEE Trans Biomed Eng* 1982; **29**: 456 - 457
- 5) Butler GC, Yamamoto Y, Xing HC, Northey DR, Hughson RL: Heart rate variability and fractal dimension during orthotic challenges. *J Appl Physiol* 1993; **75**: 2602 - 2612
- 6) Goldberger AL: Fractal electrodynamics of the heart beat. *Ann NY Acad Sci* 1990; **591**: 402 - 409
- 7) Higuchi T: Relationship between the fractal dimension and power law index for a time series: A numerical investigation. *Physica D* 1990; **46**: 254 - 264
- 8) Yamamoto Y, Hughson RL: Extracting fractal components from time series. *Physica D* 1993; **68**: 250 - 264
- 9) Butler GC, Ando S, Floras JS: Fractal component of variability of heart rate and systolic blood pressure in congestive heart failure. *Clin Sci* 1997; **92**: 543 - 550
- 10) Hayano J, Yamasaki F, Sakata S, Okada A, Mukai S, Fujinami T: Spectral characteristics of ventricular response to atrial fibrillation. *Am J Physiol* 1997; **273**: H2811 - H2816
- 11) Lipsitz LA, Mietus J, Moody GB, Goldberger AL: Spectral characteristics of heart rate variability before and during postural tilt: Relations to aging and risk of syncope. *Circulation* 1990; **81**: 1803 - 1810
- 12) 佐藤 廣, 荒居広明, 山本真千子, 福田恵津子, 堤由美子, 傅 隆泰: 心房細動における心拍と収縮期血圧の揺らぎ解析. *心電図* 2003; **23**: 61 - 66