

心電図 R—R 間隔変動の周波数分析 (自律神経機能検査としての検討)

(昭和63年5月21日受付)

(昭和63年7月6日受理)

長崎大学医学部小児科
小野 靖彦

key word: Heart rate fluctuation, Component analysis, Autonomic nervous system

要 旨

高校1年生の心電図 R—R 間隔変動幅時系列の周波数分析を行い、周波数成分の体位変換による変化を検討した。

- 1) 体位変換で心電図 R—R 間隔変動係数に有意な変化は認められなかった。
- 2) 体位変換で心電図 R—R 間隔変動幅の低周波数成分に有意な変化は認められなかった。
- 3) 心電図 R—R 間隔変動幅の高周波数成分は臥位と比べ立位で有意に減少した ($p < 0.001$)。

低周波数成分は交感神経と副交感神経の影響を受け、高周波数成分は副交感神経の影響を受けていると言われている。周波数成分で体位変換による変化には違いがみられ、心電図 R—R 間隔変動幅の周波数分析により心拍変動から副交感神経機能だけではなく、交感神経機能も推定可能と考えられた。

はじめに

心拍数は自律神経、ホルモン等の影響を受けているが、心拍の短時間の変化は主に自律神経により調節されている¹⁾。呼吸性不整脈と副交感神経機能については多くの研究があり、呼吸性不整脈の振幅と迷走神経活動は並行し、心拍変動の変動係数は副交感神経活動の指標になると言われている^{2)~4)}。Akselrodらは犬の心拍変動の周波数分析を行い、呼吸性不整脈に相当する mid frequency peak には副交感神経が影響し、low frequency peak には副交感神経、交感神経、レニン—アンギオテンシン系が影響していると報告している⁵⁾。また、Pomeranzらは、人の R—R 間隔変動のパワースペクトルの Low frequency fluctuation は臥位では副交感神経により、立位では交感神経と副交感神経により形成され、High frequency fluctuation は副交感神経により形成されると報告している⁶⁾。心拍変動は呼吸性変動以外にも血圧、体温等を介した自律神

経の変動を反映しており、心拍変動の周波数分析により心拍変動から副交感神経活動だけではなく、交感神経も含めた自律神経機能が推定可能であると考えられる。これまでの報告は少数の成人例を対象としたものしかない⁶⁾⁷⁾。そこで、高校生を対象に、心電図 R—R 間隔の周波数分析を行った。

対象と方法

対象は安静時心電図が正常であった高校生男子10名、女子22名、計32名である。

午後1時から4時の間に、安静臥床で5分間、立位で5分間心電図を記録し、安静臥床3分後と立位3分後から100心拍を解析した。

心電図 R—R 間隔の測定は心拍モニター（フクダ電子 DS-501）の R 波同期信号をパーソナルコンピュータ（PC-9800）に取り込み R—R 間隔をタイマーカウンター（コンテック TIR-6）で測定した。

図1では臥位で5分間と立位で5分間の連続した記録について、1分毎に200心拍の心電図 R—R 間隔変動のパワースペクトルと R—R 間隔変動幅のパワースペクトルを図示した(図1)、心電図 R—R 間隔変動の低

別刷請求先：(〒859-61) 長崎県北松浦郡江迎町赤坂
免299
北松中央病院小児科 小野 靖彦

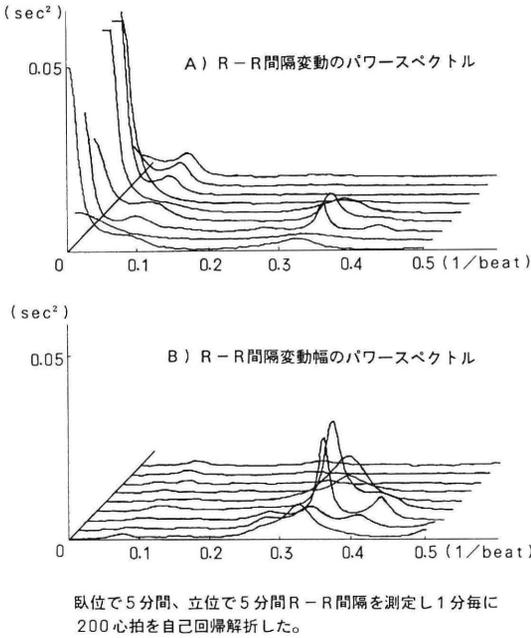


図 1

周波数成分は図に示したように安静臥位でも変動が大きい、R-R 間隔の一次階差をとり R-R 間隔幅として解析すると安定したスペクトルとなる。そこで、心電図 R-R 間隔変動幅の時系列について周波数分析を行った。解析心拍数は心電図の記録を5分間としたため、100心拍とした。

周波数分析には自己回帰モデル⁸⁾を使用し、解析の次数は8次か10次とした。自己回帰モデルの係数を求めた後、佐藤らの方法⁹⁾に従い、得られた R-R 間隔変動幅の特性関数を因数分解し、R-R 間隔変動幅の要素波を求めた(図2)。2次要素波で最も周波数の低い成分の周波数は0.1 (1/beat) 付近となり、血圧性変動と言われている周波数成分と考え、低周波数成分とした。最も周波数の高い要素波は0.4(1/beat) 以上となり、通常の呼吸数では呼吸性の変動とは考えられないため、高周波数成分は最も周波数の高い要素波と低周波数成分を除外した2次要素波とした。

有意差検定は、両群が等分散の場合 Student t-test、不等分散の場合 Welch t-test を使用した。R-R 間隔変動幅の要素波のパワーは正規化するため対数変換して比較した。

結 果

表1に結果を示した。

1) 平均 R-R 間隔の体位変換による変化

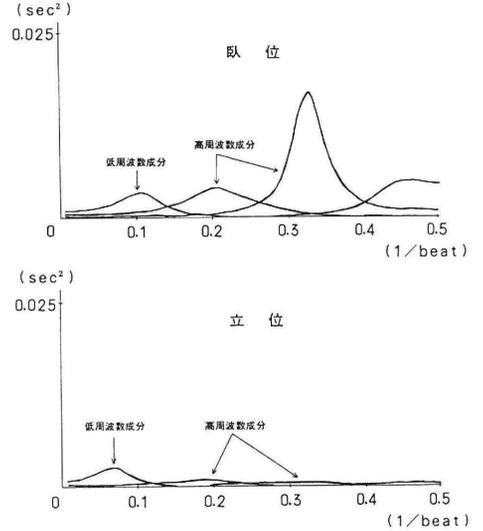


図2 パワースペクトルの体位による変化

表 1

	臥 位	立 位	
平均 R-R 間隔(msec)	826±85	661±83	p<0.001
変動係数(%)	6.1±3.2	6.5±2.6	n.s.
Log ₁₀ (全パワー(msec ²))	3.21±0.54	2.61±0.47	p<0.001
Log ₁₀ (低周波パワー(msec ²))	2.07±0.65	2.07±0.48	n.s.
Log ₁₀ (高周波パワー(msec ²))	3.08±0.56	2.30±0.46	p<0.001

臥位826±85msec、立位661±83msec、と立位で有意に減少した (p<0.001)。

2) R-R 間隔変動係数の体位変換による変化
臥位6.1±3.2%、立位6.5±2.6%と有意な変化は見られなかった。

3) R-R 間隔変動幅の周波数成分の体位変換による変化

A) 全パワー (図3)

臥位3.21±0.54、立位2.61±0.47と立位で有意に減少した (p<0.001)。

B) 低周波数成分のパワー (図4)

臥位2.07±0.65、立位2.07±0.45と変化は見られなかった。

C) 高周波数成分 (図5)

臥位3.08±0.56、立位2.30±0.46と立位で有意に減少した (p<0.001)。

D) 高周波数成分と低周波数成分の比 (図6)

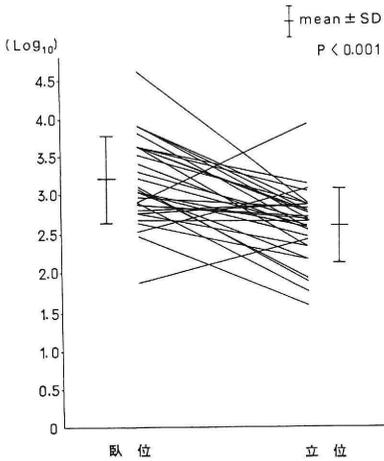


図3 Total Powerの体位による変化

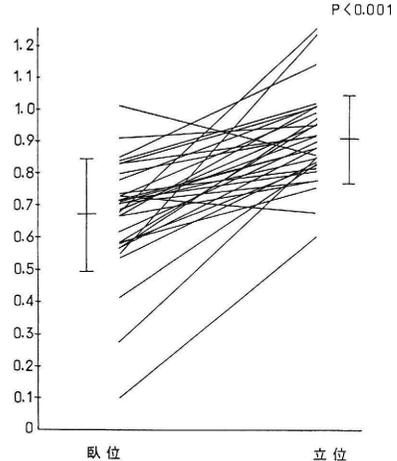


図6 Log_{10} (低周波パワー)/ Log_{10} (高周波パワー)の体位による変化

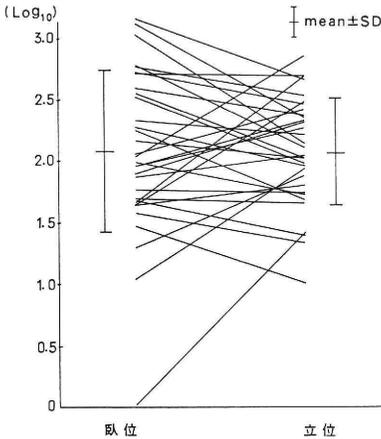


図4 低周波数成分パワーの体位による変化

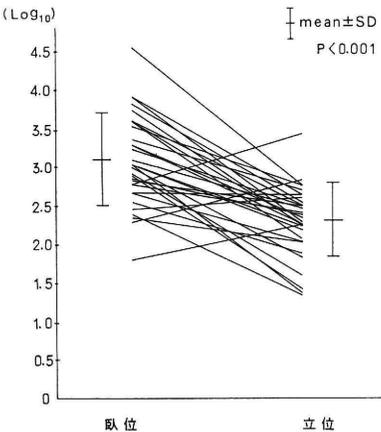


図5 高周波数成分パワーの体位による変化

臥位 0.67 ± 0.18 , 立位 0.9 ± 0.14 と立位で有意に増加した ($p < 0.001$).

考 案

1. 周波数分析の方法

周波数分析の方法として高速フーリエ変換 (FFT) がよく用いられるが, 自己回帰モデルによる周波数分析はFFTと比較してスペクトルの分解が良く, 少ないサンプルからのスペクトルの推定が可能であり¹⁰⁾, また, 佐藤らは優勢成分以外の特性を明らかにすることも可能であると述べている¹¹⁾. 少ないサンプル数による心拍変動の周波数分析には自己回帰モデルが適していると考えられる.

心電図R-R間隔変動の周波数分析は, 心拍変動の定常性を仮定して行われているが, 心拍データの定常性について殆ど検討されていない. 高田らは, 心電図R-R間隔変動の定常性について検討し, 健康な学生の安静仰臥位心電図R-R間隔データでも約20%が非定常であったと報告している¹²⁾. 従って, 心電図R-R間隔変動を検討する場合, 心電図R-R間隔変動の一次階差をとり, 定常時系列に近づけ周波数分析を行えば, より安定した結果を得られると考えられる.

2. 心拍変動と自律神経

心拍変動は自律神経緊張を反映しており, 心拍変動の主要成分である呼吸性不整脈について多くの研究が行われている. 呼吸性不整脈は副交感神経により形成され, 呼吸性不整脈と副交感神経活動が並行するため, 心拍変動係数が副交感神経活動の指標とされている.

しかし、臥位と立位で心拍変動係数は有意に変化せず、吉川らは心拍変動数はR-R間隔の大きさにより意味が異なり、副交感神経だけでなく、交感神経の指標にもなると述べている¹³⁾。心拍変動係数は交感神経も含めた自律神経機能を反映していると考えられる。

心拍変動の周波数分析を行うと心拍変動のパワースペクトルには、呼吸性ピークだけではなく、複数のピークが認められる。自然呼吸で0.15~0.35Hzにみられる心拍変動の呼吸性不整脈に関連した成分は副交感神経活動に関連しているとされ、0.1Hz付近の成分は圧受容体反射に関連し、最も低い周波数(0~0.05Hz)の成分は血管運動神経やレニン-アンジオテンシン系と関連していると考えられている⁵⁻⁷⁾¹⁴⁾。自律神経と心拍変動成分の関係について、Akselrodらは犬を使ってR-R間隔の周波数分析を行い、低周波数成分は交感神経、副交感神経とレニン-アンジオテンシン系の影響を受け、高周波数成分は副交感神経の影響を受けていると報告している⁵⁾。また、Pomeranzらは、成人男性8名のR-R間隔変動パワースペクトルのLow frequency peak(0.04~0.12Hz)とHigh frequency peak(0.224~0.28Hz)について体位変換による変化を検討している。Low frequency fluctuationは臥位では副交感神経により立位では交感神経と副交感神経により形成され、High frequency fluctuationは副交感神経により形成されると報告している⁶⁾。従って心拍変動の周波数分析を行い、周波数成分毎の変化を検討することにより、交感神経緊張と副交感神経緊張を解析できると考えられる。今回は、階差を取って検討したために血管運動神経やレニン-アンジオテンシン系に関連した最も周波数の低い成分は減衰しており、Pomeranzらが低周波数成分としている圧受容体反射に関連した0.1Hz付近の成分と呼吸性変動の変化について解析していると考えられる。

3. 心拍変動の体位変換による変化

心電図R-R間隔変動の体位変換による変化についてPomeranzらはLow frequency peakは立位で臥位の10倍に増加し、High frequency peakは立位で臥位の1/3に減少したと報告している⁶⁾。今回の検討は高校1年生を対象に心電図R-R間隔変動ではなくR-R間隔変動幅の周波数分析を行っているため、Pomeranzらの成績と単純に比較できないが、Pomeranzらの少数例の報告で認められた低周波数成分の著明な増加はみられず、低周波数成分は体位変換により有意に変化しなかった。この違いは対象が高校1年生

で成人と比べ交感神経緊張がより強いためとも考えられるが、二宮らによれば安静状態でも心臓交感神経は心拍や呼吸に同期して活動し、情動や姿勢変換に伴い著明に変動する¹⁵⁾。従って、対象を心電図2次検診を受診した学生としたために臥位で通常より交感神経の緊張が亢進していたため、立位での低周波数成分の増加が少なかった可能性もあり、今後症例数を増やし検討する必要があると考えられる。

4. 心電図R-R間隔変動による自律神経活動の推定

心電図R-R間隔変動の高周波数成分は副交感神経活動を反映し、低周波数成分は副交感神経と交感神経活動を反映していると考えられ、低周波数成分と高周波数成分の比は臥位と比べ交感神経緊張が強いと考えられる立位で増加した。従って、低周波数成分と高周波数成分の比が低値であれば副交感神経の緊張が優位、比が高値であれば交感神経の緊張が優位と考えられる。また、全パワーが低値では自律神経活動が低下していると考えられる。

R-R間隔変動の周波数分析では症例毎の変化が大きく、今後、更に症例数を増やし検討する必要があると考えられる。

まとめ

心電図R-R間隔変動の変動係数は臥位と立位で変化しないが、心電図R-R間隔変動の周波数分析を行うことにより、臥位と立位での心電図R-R間隔変動の違いは明瞭となる。心電図R-R間隔変動の周波数分析を行えば、心拍変動から副交感神経機能だけでなく、交感神経機能の検討も可能であると考えられる。心電図R-R間隔変動の周波数分析を行う場合、心電図R-R間隔変動の周波数分析のパワースペクトルと比べ、心電図R-R間隔変動幅のパワースペクトルはより安定していた。心拍変動の解析方法として心電図R-R間隔変動幅の自己回帰解析は有用であると思われる。

本論文の要旨は第23回日本小児循環器学会にて報告した。

謝辞：稿を終えるにあたり計測システムの作成に御指導、御援助をいただいた大分大学工学部、西村敏博先生、御校閲いただいた佐世保総合病院小児科、中下誠郎先生、長崎大学小児科、辻芳郎教授に深謝いたします。

文献

- 1) Robinson, B.F., Epstein, S.E., Beiser, G.D. and Braunwald, E.: Control of heart rate by the

- autonomic nervous system. *Circ. Res.*, 19: 400, 1966.
- 2) Katona, P.G. and Jih, F.: Respiratory sinus arrhythmia: Noninvasive measure of parasympathetic cardiac control. *J. Appl. Physiol.*, 39: 801, 1975.
 - 3) Eckberg, D.L.: Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow. *J. Appl. Physiol.*, 54: 961, 1981.
 - 4) 景山 茂: 心電図 R-R 間隔変動を用いた自律神経機能検査法. *脳と神経* 36: 433, 1984.
 - 5) Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F.A., Shannon, D.C., Barger, A.C. and Cohen, R.J.: Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213: 220, 1981.
 - 6) Pomeranz, B., Maculay, J.B., Caudill, M.A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K.M., Barger, A.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J. and Benson, H.: Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Amer. J. Physiol.*, H151, 1985.
 - 7) Myers, G.A., Martin, G.J., Magid, N.M., Barnett, P.S., Schaad, J.W., Weiss, J.S., Lesch, M. and Singer, D.H.: Power spectral analysis of heart rate variability in sudden cardiac death: Comparison to other methods. *I.E.E.E. Trans. Biomed. Eng.*, BME-33: 1149, 1986.
 - 8) 赤池弘次, 中川東一郎: *ダイナミックシステムの統計的解析と制御*. サイエンス社, 東京, 1972.
 - 9) Sato, K., Ono, K., Chiba, G. and Fukata, K.: Component activities in the autoregressive activity of Physiological systems. *Intern. J. Neuroscience*, 7: 239, 1977.
 - 10) 有本 卓: 信号, 画像のデジタル処理. 産業図書, 東京, 1980.
 - 11) Sato, K.: Dynamic analysis of high order biological systems. *Adv. Biophys.*, 14: 37, 1981.
 - 12) 高田和之, 渡辺興作, 掛布英辰: R-R 間隔における心拍時系列の定常性. *信学輪(D)*. J66-D:1233, 1983.
 - 13) 吉川信嘉, 小松 隆, 森寺邦三郎: 心電図 R-R 間隔による自律神経検査法について. *自律神経*, 24: 21, 1987.
 - 14) Sayers, B. McA.: Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16: 17, 1973.
 - 15) 二宮石雄, 西浦直亀, 岡田芳和: 循環の神経制御. *最新医学*, 35: 1111, 1980.

Time Series Analysis of R-R Interval

Yasuhiko Ono

Department of Pediatrics, Nagasaki University Faculty of Medicine

The sympathetic and the parasympathetic nervous systems are the principal systems in short-term cardiovascular control. Spectral analysis of the changing of the R-R interval (take next R-R from R-R interval) were assessed by changes in posture. Low frequency fluctuations did not change in supine position and in standing position. High frequency fluctuation decreased in standing position. Low frequency fluctuation mediated by the parasympathic nervous system and the sympathetic nervous system. High frequency fluctuation mediated by the parasympathetic nervous system. Spectral analysis of the changing of the R-R interval is useful tool for quantifying autonomic nervous system activity.