

暗算課題遂行時における心拍変動と房室伝導時間変動の周波数解析  
Spectral Analysis of Heart Rate Variability and Atrioventricular  
Conduction Time Variability during Mental Arithmetic Task

長谷川 裕紀†  
Hiroki Hasegawa

陳野 悠人‡  
Yuto Jinno

魚住 超‡  
Takashi Uozumi

## 1. 序論

心臓における自律神経活動の評価は、従来から心拍変動、すなわち R-R 間隔変動を用いた周波数解析によって行われている。しかし、心拍変動は洞房結節に及ぼす自律神経活動に起因しているため、本来であれば P-P 間隔変動から評価を行う必要がある。また、自律神経活動は房室結節にも影響を及ぼしており[1]、その評価には房室伝導時間 (P-R 間隔) の測定が必要となる[2]。我々はこれまでに、運動負荷時における心拍変動 (P-P 間隔, R-R 間隔変動) と房室伝導時間変動 (P-R 間隔変動) の時系列解析を行い、洞房結節と房室結節に及ぼす自律神経活動の評価を行ってきた[3]。その結果、運動時においては副交感神経活動の減退と心拍周期が短縮するため、心拍変動の分散と周波数成分 (LF および HF 成分) は安静時と比較して減少する傾向が認められた。他方、房室伝導時間変動の分散と周波数成分は増加する傾向を示し、心拍変動とは対照的な結果が得られた。また、P-P 間隔と R-R 間隔の分散の比較から、運動時においては心房と心室の興奮リズムを調節するために房室伝導時間の周期的な変動が増加するため、房室結節に及ぼす自律神経活動を周波数成分から適切に評価できない可能性があると考えられた。

そこで本研究では、運動時よりも安静の状態に近い状況として暗算課題を取り上げ、より安定した心拍周期における房室伝導時間の変化を解析する。また、暗算課題遂行時の洞房結節と房室結節に及ぼす自律神経活動を P-P 間隔と P-R 間隔の周波数解析から評価を行う。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

被験者は過去に心臓疾患の既往のない、健康成人男性 10 名 (平均年齢 21.5 歳 ± 0.5 歳) である。全被験者に対して実験の趣旨と内容を十分に説明し、事前に実験参加の同意を得た。

### 2.2 心電図の測定

心電図の測定にはサイナクト MT11 (NEC メディカルシステムズ社) を使用した。心電図の誘導法は、第 II 誘導である。最初に安静の状態で 5 分間の測定を行い、その後 15 分間の暗算負荷を行った。負荷終了後に 5 分間の安静をとり、合計 25 分間の心電図を連続して測定した。測定したデータは、サンプリング周波数 1 KHz で A/D 変換し、コンピュータに取り込んだ。

### 2.3 暗算課題

暗算課題は、内田クレペリン精神検査に変更を加えたも

のをを用いた。その方法は、はじめに隣り合った数を乗算し、その結果の十の位と一の位を加算し、その一桁目を回答させるものである。具体的には、内田クレペリン精神検査用紙に準じて作成した用紙を使用した。

### 2.4 データ解析

データ解析は、Matlab6.5 (Mathworks 社) を用いて構築した心電図解析システムにてオフラインで解析した。測定データに対して高周波ノイズを除去するために、ローパスフィルタ (カットオフ周波数: 60Hz) を適用した。次に、P 波と R 波の検出を行い、P-P 間隔および P-R 間隔を算出した。これらの間隔時系列について、本研究では安静時から暗算課題遂行時、そして負荷後安静時に至る自律神経活動の変化をみるために時系列解析を行った。具体的には、各間隔時系列を 15 秒の重複区間を設けた上で 30 秒毎に分割し、各区間の平均値と分散を求めた。また、区間毎に最大エントロピー法を用いて周波数解析を行い、LF 成分 (0.05~0.15Hz) と HF 成分 (0.15~0.40Hz) の値を、各周波数成分の積分値から算出した。

### 2.5 P 波および R 波の認識手法

房室伝導時間を正確に測定するためには、電位の小さい P 波の位置を R 波と同精度で認識する必要がある。本研究では、以下の 5 つのステップからなる波形認識方法によって P 波と R 波の認識を行った。P 波と R 波は同様な認識方法であるため、ここでは R 波を例に説明する。

#### 1) 検出対象となる R 波の予測範囲の算出

検出対象に最も近い過去 5 拍のデータから R-R 間隔の平均値 ( $R_i$ ) を算出し、直前の R 波の位置 ( $R_T$ ) に加算することで予測点 ( $R_E$ ) を求める。次に、その予測点を中心に  $R_E \pm (R_i \times 0.15)$  の区間を検出区間として設定する。

#### 2) 予測範囲内に存在する波形候補点の検索

検出区間内において、全ての頂点の位置を自動認識し、R 波候補点 ( $R(n)$ ;  $n$  は候補点の数) として一時保存する。

#### 3) 「正規化距離」の算出

次に、 $R(n)$  の位置がどれだけ予測点に近いかを求めるために、正規化距離  $d(n)$  を以下の式(1)から算出する。

$$d(n) = 1 - \frac{|R_T - (R(n) - R_T)|}{R_i} \quad (1)$$

#### 4) 「相関係数」の算出

$R(n)$  を中心にした左右 30msec 分の心電図波形と、最も近い過去 5 拍の加算平均波形から得られた R 波テンプレートとの相関係数  $r(n)$  を計算する。ただし、 $r(n)$  の値が 0 以下の候補点は検出対象から除外する。

#### 5) 「評価値」の算出と認識位置の決定

最後に、以下の式(2)で求まる評価値  $E_R(n)$  において、最大値をとった R 波候補点の位置を正式な R 波として認識する。

† 室蘭工業大学 SVBL, SVBL Muroran Institute of Technology

‡ 室蘭工業大学情報工学科, Dep. CSSE, Muroran Institute of Technology

$$E_R(n) = \sqrt{d(n)^2 + r(n)^2} \quad (2)$$

### 3. 結果

特徴的な結果として、被験者 A の結果を図示する。図 1 は P-P 間隔および P-R 間隔の分散の推移であり、図 2 は両間隔の HF 成分の推移である。P-P 間隔の分散は、実験中に大きな変化は認められないが、P-R 間隔の分散は暗算課題中に増加する傾向を示している(図 1)。また、副交感神経活動を反映する HF 成分も同様に、P-R 間隔変動の HF 成分は暗算課題中に増加する傾向がある(図 2, 下段)。表 1 は、安静時と暗算課題時、暗算課題時と負荷後安静時の比較をまとめものである。これらの比較について、統計学的有意差検定 (Students t-test) を行った結果、いずれも有意差は認められなかった。

### 4. 考察

これまでの知見から、安静時における心拍変動と房室伝導時間変動の自律神経支配は同一であるとされている[2,4]。本研究では、暗算課題遂行時の房室伝導時間の変化に着目し、洞房結節と房室結節に及ぼす自律神経活動について評価を行った。その結果、統計学的に有意ではなかったものの、全体的な傾向として暗算課題中は副交感神経活動が減退するため、P-P 間隔変動の HF 成分は減少する傾向があった(表 1)。その一方で、P-R 間隔変動の HF 成分は増加する傾向を示していた。HF 成分が副交感神経活動を反映することを考慮すると、P-R 間隔変動の HF 成分の増加は、房室結節に直接作用した自律神経活動の影響とは考えにくい。暗算課題は、運動に比べると安静時により近い状態であり、心拍周期も比較的安定している。しかし、暗算課題というストレス負荷によって房室伝導時間の変動が大きくなり、その変動が自律神経活動の影響よりも優位に周波数成分に反映されるのではないかと考えられる。

### 5. 終わりに

本研究では、暗算課題遂行時の心拍変動と房室伝導時間変動の時系列解析を行った。その結果、安静時から暗算課題時にかけて両者の HF 成分に対照的な変動が認められた。房室結節に及ぼす自律神経活動の評価には、周波数情報だけでなく時間情報も含めた慎重な検討が必要である。

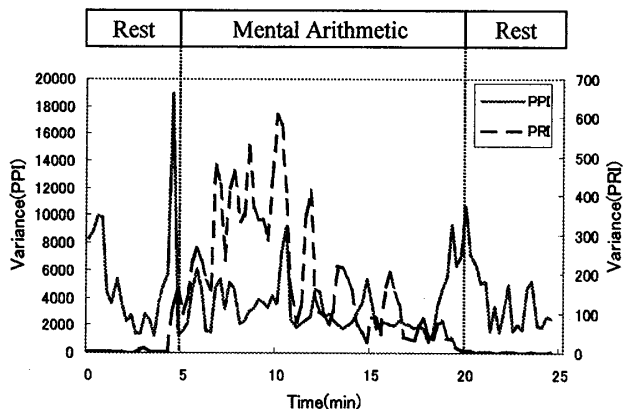


図 1: 被験者 A の P-P 間隔および P-R 間隔変動の分散の推移。P-R 間隔の分散は暗算遂行中に増加する傾向がある。

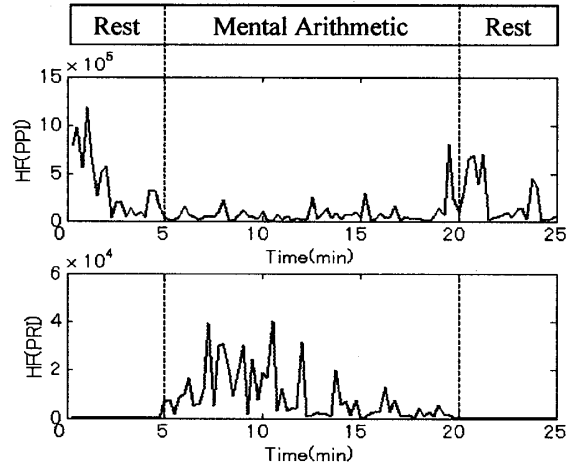


図 2: 被験者 A の HF 成分の推移 (P-P 間隔変動 (上段), P-R 間隔変動 (下段))。P-P 間隔変動の HF 成分は、安静時から暗算課題遂行時にかけて減少する傾向があるのとは対照的に、P-R 間隔変動の HF 成分は増加する傾向がある。

表 1 暗算と負荷後安静の効果 (全被験者の平均値)

	暗算/安静 Mean (S.D.)	負荷後安静/暗算 Mean (S.D.)
<b>P-P間隔</b>		
分散	0.70 (0.36)	3.51 (4.26)
LF成分	0.74 (0.50)	5.30 (10.75)*
HF成分	0.66 (0.44)	3.79 (3.46)
<b>P-R間隔</b>		
分散	6.77 (8.46)	0.63 (0.63)
LF成分	12.21 (18.06)	0.89 (0.81)
HF成分	21.02 (29.61)	0.48 (0.55)†

\* P=0.057, † P=0.054

### 参考文献

- [1] Salata JJ, Gill RM, Gilmour RF Jr, Zipes DP. (1986) Effects of sympathetic tone on vagally induced phasic changes in heart rate and atrio-ventricular node conduction in the anesthetized dog. *Circulation research*, 58, 584-594.
- [2] 岩崎雄樹, 宮内靖史, 大坂元久, 小林義典, 斎藤寛和, 加藤貴雄他 (2003) 心内電位を用いた洞調律および心房ペーシング時の房室伝導時間変動の周波数解析 —房室結節に及ぼす自律神経活動の評価—, *心電図*, 23, 190-199.
- [3] 長谷川裕紀, 魚住超 (2006) 運動負荷心電図における房室伝導時間変動の時系列解析, *バイオフィードバック研究*, 33. (印刷中)
- [4] Leffler CT, Saul JP, Cohen RJ. (1994) Rate-related and autonomic effects on atrio-ventricular conduction assessed through beat-to-beat PR interval and cycle length variability. *Journal of cardiovascular electrophysiology*, 5, 2-15.