

● 一般演題

ウェーブレット理論と ICA に基づく心電図の新たな解析
—房室ブロックにおける p 波と T 波の分離—さいたま市石川医院 石川 康 宏
平塚市民病院産婦人科 藤本 喜 展・持丸 文 雄

要 約

第 1 度の房室ブロック (AVB) において、p 波が T 波に埋没したのか、p 波が欠損したのか不明となることがあるが、独立成分分析 (ICA) により、p 波の構成成分と T 波の構成成分の分離が可能であり、T 波に埋没した p 波も分離することができる。同時に施行した主成分分析 (PCA) と比較して、p 波や T 波の成分の分離には ICA が優れていた。ICA により、ウェーブレット解析において、二つの波形が近接すると相互に影響を及ぼし分析が困難となるという弱点を補うことが可能である。

はじめに

ウェーブレット変換は、Fourier 変換とは異なり、時間と周波数の 2 次元での解析が可能である。ウェーブレット変換は、自然科学における数学的な顕微鏡に例えられ、微細な変化や不連続を捉えるのに、優れた方法である。一方、多変量データ解析の新しい方法として登場した ICA は、未知の信号をいくつかの独立な成分の線形結合と仮定し、統計的な性質に注目して、元の独立な成分に分解する手法である。第 1 度の AVB において、p 波が認められない場合、これが p 波の欠損なのか、T 波のなかに完全に埋没しているのかを、ウェーブレット解析で分別することは、不可能である。また、p 波が T 波の近傍に存在してもウェーブレット解析は、その優れた分解能を発揮できない。これらのウェーブレット解析の欠点を解決するために、

まず、ICA を用いて p 波、T 波のみを分離し、主として p 波からなる構成成分、T 波からなる構成成分を得た後、これらについてウェーブレット解析を試みた。

1 方 法

アナログ心電計を使用し、エルメック社の EC-2360 A/D コンバータにてデジタル化してパーソナル・コンピュータにデータファイルとして取り込んだ。サンプリング周波数は、4096 Hz である。CWT^{1,2)}は、Gabor8Power を使用し、「臨床医学のためのウェーブレット解析」に添付されたソフトウェア“MEM”³⁾にて行った。離散ウェーブレット変換 (DWT) は、Daubechies の方法⁴⁾で行った。ウェーブレットによるノイズ除去は、多重解像度解析 (MRA) における各分解レベルのウェーブレット係数の標準偏差に重みをつけたものを閾値とし、情報コスト関数を指標とする Ishikawa⁵⁾の方法で行った。ICA は、Aapo Hyvärinen らの Fast Independent Component Analysis⁶⁾により行った。p 波や T 波の成分の分離について ICA と従来の主成分分析 (PCA) を比較した。症例は、49 歳の女性で第 1 度の AVB を呈し、約 200 msec と 400 msec と 2 種類のほぼ一定な PQ 間隔が観察された。

2 結 果

図 1 は、本症例の運動負荷後の標準 12 誘導の 8 秒間の心電図である。星印は PQ 間隔の延長が始まった箇所を示し、矢印は p 波の存在が

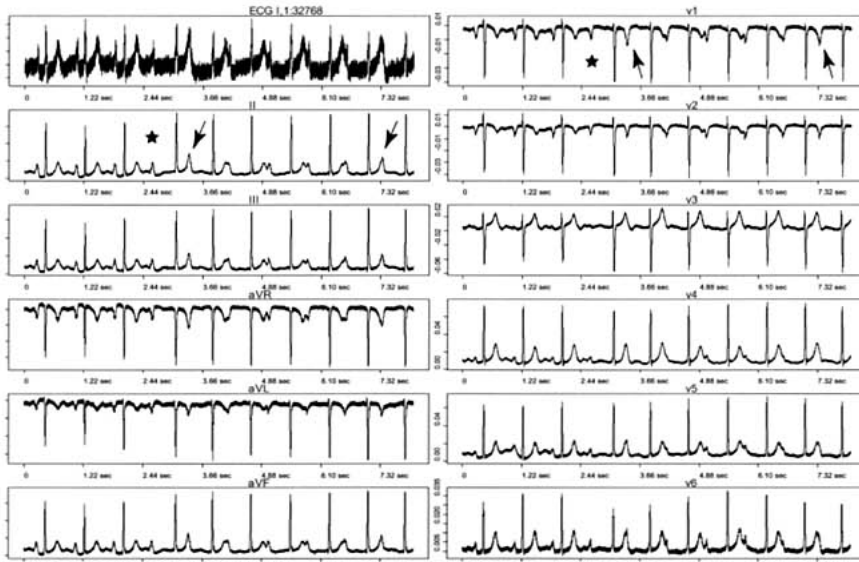


図 1 AVB の運動負荷後の標準 12 誘導の 8 秒間の心電図
星印は PQ 間隔の延長の開始, 矢印は p 波の存在が T 波により不明となる箇所を示す。

T 波により不明となる箇所を示した。

図 2 左右の最上段に示した太い灰色線のグラフは、図 1 のデータの第 II 誘導である。白い矢頭は PQ 間隔の延長開始部位を示し、黒い矢印は p 波の存在が T 波により不明となる箇所を示した。図 2 左の 2 段目から 7 段目の濃い線のグラフは、ICA により得られた 12 channels の成分のうち、ノイズを除く、六つの成分である。図 2 左の上から 6 番目の ICA6 は、T 波の主な成分であると考えられる。図 2 左の上から 4 番目の ICA3 と最下段に示した ICA9 が p 波の成分と考えられる。矢印で示したごとく、p 波は、T 波の頂点を通る破線の垂線が、ICA3 と ICA9 のグラフと交差する箇所にも認められ、p 波は T 波に埋没しており、p 波の欠損でないことがわかる。図 2 右の 2 段目から 7 段目の薄い灰色線のグラフは、PCA の 6 番目までの主成分である。T 波は、ICA1 と ICA2 にみられ、p 波や QRS との分離が ICA より悪い。p 波を PCA1 から PCA6 までのいずれの成分でも認める。

図 3 は、図 2 の 1.638 秒から 4 秒間のグラフを示す。最上段のグラフの黒い矢印は、p 波の

存在が不明となる T 波の箇所を示す。この第 II 誘導の T 波の頂点から垂線を下ろした場合、ICA6 と ICA3、ICA9 のグラフの交点が一致し、T 波の中に隠されていた p 波が明瞭となった。

図 4 は、図 2 の p 波の構成成分と思われる ICA9 のウェーブレットによるノイズ除去後の CWT である。QRS の存在に煩わされず、p 波の CWT での形態を観察できる。

3 考 察

母体腹壁上から非侵襲的に得られた胎児心電図波形 (fQRS) の特徴について、ウェーブレット解析にて分析する際、fQRS の近傍に、振幅の大きな母体 QRS (mQRS) が存在すると、双方の波形の CWT での形態が変化し、さらに、mQRS の中に fQRS が埋没した場合には、胎児の QRS の欠損であるのか、埋没であるのかの判定は、ウェーブレット解析では困難であった⁵⁾。同様の状態は、AVB における p 波と T 波の位置関係や、心室性期外収縮の QRS と p 波の関係でもみられる。p 波が認められない場合、これが p 波の欠損なのか、他の波形に完全に埋没して

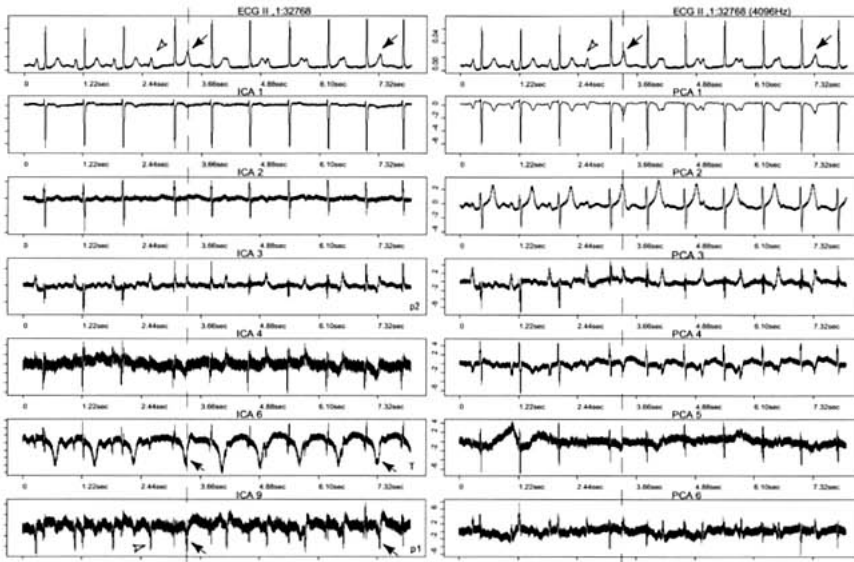


図 2 最上段は図 1 の第 II 誘導

左の上から 6 番目の ICA6 は、T 波の主な成分である。左の上から 4 番目の ICA3 と最下段に示した ICA9 が p 波の成分である。矢印で示したごとく、破線で示す T 波の頂点に一致した箇所に p 波を認める。

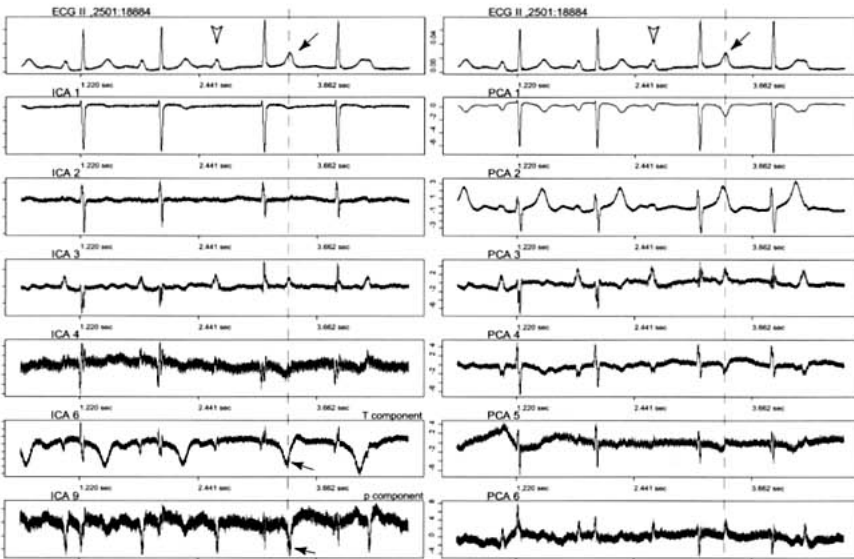


図 3 図 2 の 4 秒間を拡大したグラフ

最上段のグラフの黒い矢印は、p 波の存在が不明となる T 波の箇所を示す。第 II 誘導の T 波の頂点から下ろした垂線の ICA6 と ICA3、ICA9 のグラフの交点一致し、T 波の中に隠されている p 波が出現した。

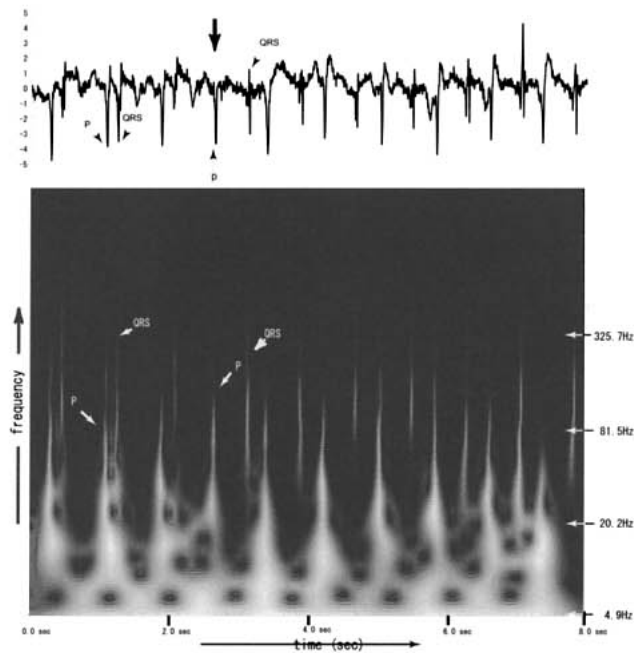


図 4 図 2 の p 波の構成成分と思われる ICA9 のウェーブレットによるノイズ除去後の CWT。
ICA 後では、QRS の存在は、p 波の観察を妨げていない。下向き矢印で示した箇所から、PQ は延長している。

いるのかの分別は、ICA により可能となると考えられる。

文 献

- 1) Ishikawa Y, Mochimaru F. Wavelet theory-based analysis of high-frequency, high-resolution electrocardiograms : a new concept for clinical uses. *Prog Biomed Res* 2002;7:179-84.
- 2) Mallat S. *Wavelet tour of signal processing*, 2nd edition. San Diego : Academic Press ; 1998. p.163-219, 249-54.
- 3) Ishikawa Y. *Wavelet Analysis for Clinical Medicine*

(in Japanese) with MEM software on CD-ROM. Tokyo : Medical Publication (IGAKU-SHUPPAN) ; 2000. p.42-76, 154-63, 305-8.

- 4) Daubechies I. *Ten lectures on Wavelets*. Philadelphia : SIAM Press ; 1992. p.195.
- 5) Mochimaru F, Fujimoto Y, Ishikawa Y. Detecting the fetal electrocardiogram by Wavelet theory-based methods. *Prog Biomed Res* 2002;7:185-93.
- 6) Hyvärinen A, Karhunen J, Oja E. *Independent Component Analysis*. New York : JOHN Wiley-Interscience ; 2001. p.165-202.