

● 一般演題

独立成分分析と赤池情報規範による
Brugada 症候群の心電図の解析さいたま市 石川医院 石川 康宏
筑波大学臨床医学系小児科 堀 米 仁 志

はじめに

すでに Brugada 症候群の心電図波形の saddleback 型と coved 型が独立成分分析 (ICA) により, 正常な T 波 (normal-T) と, J 波と上昇した ST 前半部分が急峻に下降し滑らかに陰性 T 波に移行する coved 型の成分 (coved-T) の二つの組み合わせにより構成されることを示した¹⁾。この coved-T は T 波領域の積算が非線形回帰にて二つの成長曲線の和で示されることと, 正常の陰性 T 波と比較して第一次導関数, 第二次導関数の零交差が多いことからいくつかの単純な曲線から構成されると推測される。10 チャンネルでの通常の Fast ICA を 81920 回試行しても, coved-T は J 波成分と上昇した前半部分が急峻に下降する ST 成分と陰性 T 波成分に分離できない頑強な構造をしていた。

ICA では時間的構造を利用する方法がいくつか考案されているが, Alexander らは相互情報量を最少にする MILCA²⁾にて, 埋め込み次元と時間遅れを利用して, チャンネル数が少ないために通常の ICA では分離できない胎児心電図の分離に成功している。埋め込み次元と時間遅れを利用する ICA with delays を施行して, coved-T がどのような成分から構成されているか分離を試みた。

1 方 法

心起電力ベクトルを 2048 Hz にて生体アンプ MA1000 (TEAC, Japan) を介して, A/D コンバータ EC2360 (Elmec, Japan) で, I, II, III,

V1-V6, 4c9 の 10 誘導についてデジタル化した。Brugada 症候群³⁾の患者は欧州心臓病学会のコンセンサス・レポートによる分類⁴⁾で type I の 62 歳, 男性である。

心電図波形の一次微分は差分をスプライン補間⁵⁾することで求めた。二次微分は一次微分の差分をスプライン補間した。T 波の終点は T 波の傾きの最少値を与える点からの接線が基線と交わる点とした⁶⁾。ICA は, Aäpo の Fast ICA⁷⁾にて施行した。ICA では一般的に ICA の度に結果が異なるため, Fast ICA での各誘導の逆独立成分分析 (iICA) から各誘導の構成成分を求め, 赤池情報規範 (AIC)⁸⁾を算定し, 10 チャンネルの AIC の総和を他の Fast ICA の AIC の総和と比較して AIC の総和が最少のものをモデルとして選択した。MILCA は相互情報量を直接計算するため非常に演算量が多くなる。Fast ICA にて埋め込み次元と時間遅れを利用して ICA (ICA with delays) することで, 大幅に遂行時間を短縮した。ICA with delays による ICA の回数は, 埋め込み次元 $\kappa=1$ が 81920 回, $\kappa=2$ が 10240 回, $\kappa=3$ が 3584 回, $\kappa=4$ が 2304 回, $\kappa=5$ が 4096 回, $\kappa=6$ が 1272 回, $\kappa=8$ が 1028 回, $\kappa=12$ が 528 回, $\kappa=16$ が 224 回, $\kappa=20$ が 64 回である。各埋め込み次元における ICA で, coved-T が分解され単純な曲線となるように分解されること, QRS に付随した T 波がみられなくなることを条件に埋め込み次元を求めた。時間遅れは 7.8125ms に固定した。

2 結 果

図 1 は、第 4 肋間脊椎左縁と第 4 肋間胸骨左縁との双極誘導で、単極誘導の V2 に類似する 4c9 の T 波領域 (図 1 の Original T wave) の積分値 (図 1 の実線 Accumulated T Wave Area) のグラフである。T 波の積分値は図 1 の成長曲線 A と成長曲線 B の和として表せる。A の微分は dA であり、B の微分が dB である。(A+B) は Accumulated T Wave Area とよく一致し、dA + dB は元の T 波とよく一致する。

図 2 は、P 波の始点と次の P 波の始点を零点としてトレンド処理を施した V2 の波形で、最上段のグラフは V2 で縦の破線は第二次導関数の零交差、すなわち、第一次導関数の極値を示しており、T 波領域で正常 T 波に比較し 1 本多くみられる。グラフやや右の短い直線は T 波の後半で最大の傾きを与える点からの接線であり、基線との交点 (T 波の終点) を示す。2 段目のグラフは第一次導関数で、縦の破線はこの関数が零交差する時間を示す。ST-T 部分が正常でみられる単純な二相性の陰性 T 波とは異なる複雑な形を示している。3 段目は P 波から次の P 波までの積算値のグラフであり、最下段は J 点から次の P 波の始点までの積分である。

図を提示しないが、本患者の ECG 各誘導は自己相関関数が零でないために、時間的構造を利用して ICA が可能である。 $\kappa = 1$ から順に埋め込みを上げていったが、 $\kappa = 1$ では AIC の総和が最少のモデル (-1481609) で coved-T が分解されることはなかった。各誘導についての AIC の分散と平均で白色化した AIC でも同じ ICA で AIC の総和は最少となった。iICA で確認しながら埋め込み次元を上げた。 $\kappa = 3$ から QRS に付随する T 波はみられなくなったが、 $\kappa = 4$ では二峰性の T 波成分がみられ、 $\kappa = 12$ まで coved-T の部分は J 波部分と T 波後半から最後の部分が一緒になった成分が出現した。埋め込み次元を上げるほど AIC は大きくなった。 $\kappa = 16$ にて J 波部分が T 波部分をほぼ含まない分解が得られた。 $\kappa = 20$ (ICA される成分数は元の成分数 $10 \times$ 埋め込み次元 20 で 200 個

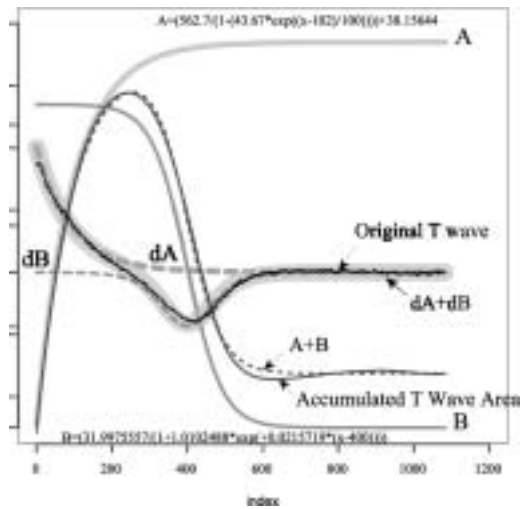


図 1 双極誘導 4c9 の T 波領域の非線形回帰による T 波成分の近似

4c9 の T 波領域 (細い黒の実線の Original T wave) の積分値 (濃い灰色の実線 Accumulated T Wave Area) のグラフである。T 波の積分値は薄い灰色の成長曲線 A と灰色の成長曲線 B の和として濃い灰色の破線 (A+B) として表せる。A の微分は薄い灰色の破線の dA であり、B の微分が灰色の破線の dB である。濃い灰色の破線 (A+B) は、Accumulated T Wave Area とよく一致し、dA と dB の和である太い淡い灰色の実線 (dA + dB) は元の T 波とよく一致する。

となる) では、かえって T 波部分に複雑な二峰性などの成分が出現するため、 $\kappa = 20$ までとした。

図 3 は埋め込み次元 16 での AIC の総和が最少 (-1407132.3) となったモデルの V2 (薄い灰色の太い実線) での逆独立成分の局所分布である。coved-T を形成する主たる成分は四つである。ICA49 は J 波で T 波を含まない。ST 部分は ICA61 に相当する。陰性 T 波は ICA51 と ICA59 からなる。160 の独立成分のうち主な成分は、QRS が 5 個、ST-T 部分で 6 個であった。

図 4 は V5 (薄い灰色の太い実線) での逆独立成分の局所分布である。ST-T 部分は陰性の小さな J 波の ICA49, ST 部分が ICA61, T 波は ICA70, 50, 51, 59 で構成されていた。

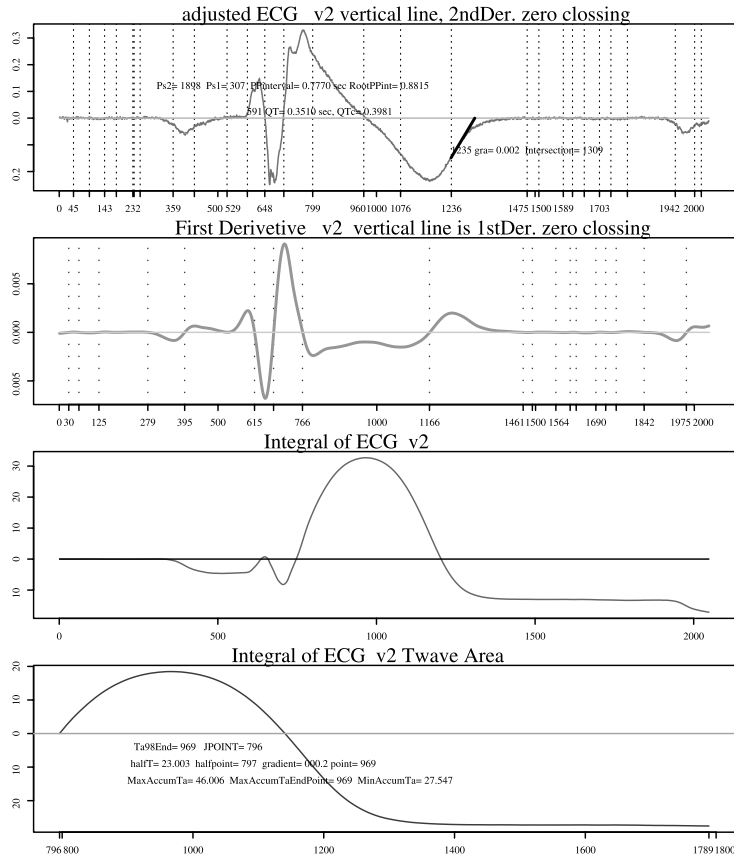


図 2 V2 の第一次微分，二次微分からの T 波終点の測定と T 波領域積分値

最上段のグラフは V2 で縦の破線は第二次導関数の零交差，すなわち，第一次導関数の極値を示しており，正常より 1 本多くみられる。2 段目のグラフは第一次導関数で縦の破線はこの関数が零交差する時間を示す。ST-T 部分は正常の陰性 T 波とは異なる複雑な形を示している。3 段目は P 波から次の P 波までの積算値のグラフであり，最下段は J 点から次の P 波の始点までの積分である。

結 論

ICA により Brugada 症候群の心電図波形は coved-T と normal-T の 2 種類の T 波に分解されると考えられた。normal-T は QRS 成分を巻き込んでおり，coved-T は通常の ICA では J 波成分と ST 成分および T 波成分に分解ができないため，AIC を指標に ICA with delays (time delay 7.8125ms, embedding demension 16) にて J 波，ST 成分，T 成分の分離を試みた。埋め込み次元が 12 までは coved-T の J 波と T 波の後半部分を分離できなかった。埋め込み次元 16 で得られた J 波成分，ST 成分，T 波の後半の成分は，加算でノイズが減ることからも coved-T

が robust な構造であることが示唆され，coved-T と normal-T の 2 種類の T 波から構成されるとする仮説を支持するものと考えられた。

【謝 辞】研究を支えてくださった元統計数理研究所の赤池弘次先生に深謝します。

本研究の一部は平成 18 年度さいたま市地域医療研究費補助事業の補助による。

文 献

- 1) 石川康宏，堀米仁志，独立成分分析による Brugada 型心電図の鑑別診断. Ther Res 2007;28:100-4.
- 2) Kraskov A, Stogbauer H, Crassberger P Estimating mutual information. Phys Phys Rev 2004;E 69:66138-53.

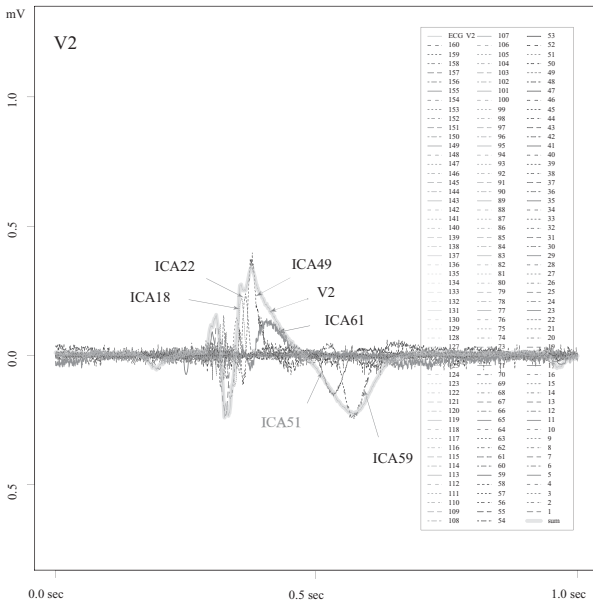


図 3 $\kappa=16$ での AIC を指標とするモデルの V2 での逆独立成分の局所分布
V2 は薄い灰色の太い実線で示した。coved-T を形成する主な成分は ICA49, 51, 59, 61 である。ICA49 は J 波で T 波を含まない。ST 部分は ICA61 である。陰性 T 波は ICA51, ICA59 からなる。

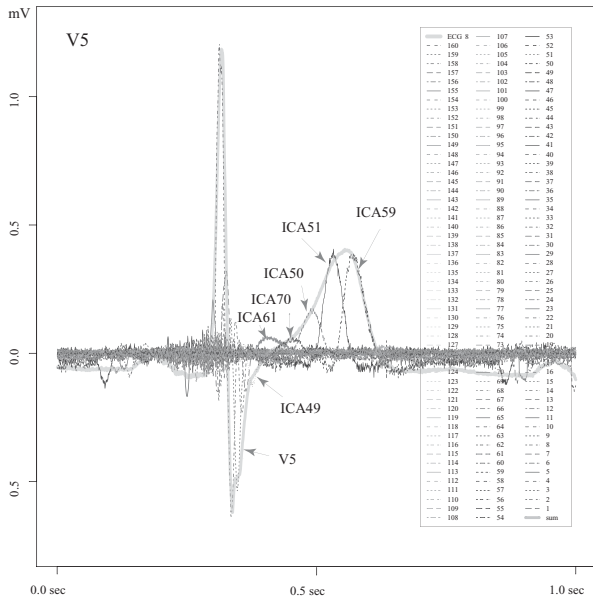


図 4 $\kappa=16$ での AIC を指標とするモデルの V5 での逆独立成分の局所分布
ST-T 部分は陰性の小さな J 波の ICA49, ST 部分が ICA61, T 波は ICA70, 50, 51, 59 で構成されている。

- 3) Antzelevitch C, Brugada P, Brugada J, Brugada R. The Brugada Syndrome. Massachusetts: Blackwell Publishing; 2005. p.1-22, 78-86.
- 4) Wilde AA, Antzelevitch C, Borggreffe M, et al. Proposed diagnostic criteria for the Brugada syndrome : consensus report. Circulation 2002;106:2514-19.
- 5) Venables WN, Ripley BD. Modern Applied Statics with S, 4th edition. New York: Springer; 2002. p.178-181, 230.
- 6) 石川康宏, 堀米仁志. ウェーブレットによる T 波の終点の決定. Ther Res 2005;26:2215-9.
- 7) Hyvaerinen A, Karhunen J, Oja E. Independent Component Analysis. New York: JOHN Wiley-Interscience; 2001. p.165-202, 203-219.
- 8) Sakamoto Y, Ishiguro M, Kitagawa G. Akaike Information Criterion Statistics. Tokyo: KTK Scientific Publishers; 1986. p.56-88.