J波症候群：J波の成因と意義

相澤義房

特発性心室細動（IVF）の代表はBrugada症候群で，一方は早期再分極所見を示す，いわゆるJ波を伴うIVFである．Anzelevitchらにより提唱されたJ波症候群は，これらに若年者に見られる早期再分極例を加えた遺伝性J波症候群と，虚血時や低体温時にJ波が見られる後天性のJ波症候群からなる．著者はJ波を伴うIVFで，J波の振幅が徐脈依存性に増大する所見に関心をもってきた．一定の症例数を確保して検討してみると，J波を伴うIVFにおけるこの特徴は約半数の例で確認され，頻脈時にはJ波は減少した．このようなJ波の動態は，Anzelevitchらが示したようにI_{to}が密接にかかわることを裏付けており，早期再分極異常の存在を支持する．他方，すべてのJ波がこれに当てはまるということはなく，心臓突然死が否定的な高齢者や，急性心筋虚血時に見られる“J波”は頻脈時に増大し，徐脈時には増大しないことも確認された．このことは，QRSの終末部のスラーまたはノッチの成因のすべてが早期再分極によるとは限らないことを示しており，今後は成因に基づいていわゆる“J波”の意義を語ることが重要である．

Ⅰ．はじめに

我が国では，年に5万以上の心臓突然死が発症するとされる．その多くは心室頻拍または心室細動（VF）によるもので，これは最近のホルター心電図装着中の突然死例の検討からもうかがわれる[1]．致死的心室頻脈は心臓に器質的疾患を伴うものが多いが，明らかな心疾患が認められないVF例も知られ，特発性心室細動（IVF）と呼ばれる．我が国では，このIVFの正確な発症頻度は知られていない．しかし，自動体外式除細動器（AED）の普及によりIVFの救命例が蓄積されており，いずれ解明されることが期待される．

ここではJ波を伴うIVFの経緯を延べ，次いでJ波の成り立ちについて，われわれの検討結果を述べさせていただく．

Keywords
- J波を伴うIVF
- 徐脈依存性増大
- 頻脈依存性増大

立川メディカルセンター研究開発部
（〒940-8621　新潟県長岡市上条町谷内561-1）

J Wave Syndrome ; Different Pathophysiology of J Waves and Its Significance
Yoshifusa Aizawa

表1　J波症候群

	Inherited				Acquired	
	ERS type1	ERS type2	ERS type3	Brugada synd		
Location	Ant-lateral	Inf/Inf-late	Global	BrS	Ischemia-mediated	Hypothermia-mediated
Leads with J	Ⅰ, V_4～V_6	Ⅱ, Ⅲ, aV_F	Global	V_1～V_3	Any leads	Any leads
Response to Pause/I AAs	↑ or ↓ →	↑ or ↓ →	↑ or →	↑ ↑	NA	NA
Sex dominance	male	male	male	male	male	male
VF	Rare	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Response to Q	normalizes	normalizes	normalizes?	normalizes	?	VT/VF inhibited
ISP	normalize	normalize	?	normalize	NA	NA

早期再分極症候群(ERS)のtype1～2は，主にJ波の出現する誘導の分布が異なる．

〔文献5)より引用改変〕

Ⅱ．J波症候群

IVFの一部には，わずかではあるが12誘導心電図で特徴的な所見を示す例が知られている．そのひとつがBrugada症候群(BrS)で[2]，もうひとつがJ波を伴うIVF[3]である．BrSのV_1～V_3に見られる特徴的なST上昇(coved型ST上昇)は，当初右脚ブロックと記載された．また，J波を伴うIVFでは，J波は徐脈依存性に増大することから，心室内伝導障害が想定された．間もなくAnzelevitchらにより，これらはI_{to}によって形成される，活動電位第Ⅰ相における心臓の貫壁性の電位較差によることが実験的に示された[4]．その後，Anzelevitchによって，J波症候群なる概念が提案されることになる[5]．これにはBrSとJ波を伴うIVF例，これに以前から知られていた早期再分極例の4つを先天的，心筋虚血と低体温時に見られるJ波の2つを後天的なものとし，計6つの病態からなる(表1)．このように提案されたJ波症候群に対しては異論もあるが[6]，IVFの心電図所見を喚起するという点から，臨床的に有用と思われる．

しかしながら，心電図上のJ波の成因については議論があり，J波がI_{to}を背景とした早期再分極によるものか，伝導遅延としての脱分極によるものかについては決着していない[7]．

Ⅲ．J波を伴うIVF

1985年，夜間VFで突然死した若年者の2例を報告した[8]．そのうちの1例では，入院時に心房細動を認め，12誘導心電図でRR間隔が延長するにつれQRS終末のノッチが増大する所見が見られたため，注目した．本例は間もなく洞調律に復したときの心電図で下壁，側壁および高側壁と広範囲にスラー，今でいうJ波を認め，これが12誘導心電図で明らかに記録された最初の例と思われる．

以後，IVF症例の集積に努め，1993年までにBrSと異なるIVF8例をまとめることができた．そのうちの3例のQRS終末部にノッチを認めた[3]．QRS終末部のノッチは徐脈依存性に増大するが，徐脈によるI_{to}の増大と実験的に結びつけられ，以後，このノッチはJ波と呼ばれるようになる．

J波の徐脈依存性の機序をさらに確かめるべく，IVF症例の蓄積を心がけたが，その後10年でも，明らかにJ波を有するIVF症例は，台湾で開催された台北―東京不整脈検討会での1例のみであった．

IVFと早期再分極症候群の関係を証明する転機の

ひとつは，2004年の京都での日本心臓病学会と日本心電学会の合同集会の場であった．来日していたHaïssaguerreにより，J波を伴うIVF例をまとめたい旨の打診があり，われわれの症例も提供した．最初はProminant Jを示すIVF9例をまとめ，報告したが，論文は採択とならなかった．彼は非BrSからなるIVF例の国際的集計を改めて行い，晴れて“Journal of New England Medicine”に早期再分極(J波)と突然死の関係が報告されることとなった[9]．これでIVFと早期再分極所見(実際はJ波)との関係が確実のものになり，早期再分極(J波)を示すIVF例における性差，VFの発症時間帯，J波の出現誘導と分布，J波と突然死や心室細動の再発との関係などの臨床的特徴が明らかにされた．その後，J波を伴うIVF例の報告が続くことになる[10),11)]．

Ⅳ．J波の診断と疫学

J波は，QRS終末部のノッチまたはスラーが2つ以上の誘導で，基線より0.1 mV以上上昇しているものと定義されるが[9)～13)]，健常人でも見られる．佐藤らの報告によると，明らかな心疾患患者を除外した20～59歳の日本の成人1,936人(男性977人，女性959人)でのJ波の頻度は11.5％で，男性は女性に比べて高く(14.7 vs. 8.1％)，男性の20～39歳と40～59歳を比較すると，若年群にJ波の頻度は高い(19.7 vs. 12.1％)ことなども判明している[12)]．すでに，早期再分極所見はスポーツマン，黒人および黄色人種で高頻度であることが知られている．

一般集団における疫学調査から，J波の振幅が大である群(＞0.2 mV)では，低振幅(＜0.2 mV)群に比べ，予後は不良であることも指摘されるようになった[13)]．ちなみに，一般集団におけるJ波波高の平均は0.21 ± 0.12 mVで，これは自験例のIVF例の平均である0.360 ± 0.181 mVよりも有意に小さい．J波は非IVF例でも日常的に記録されることから，どのようなJ波がIVFに特異的であるか，予後は不良であるかといった問題が重要となった．

Ⅴ．J波の徐脈依存性

IVFではJ波の振幅が徐脈で増大すること，その機序は徐脈で増大するI_{to}による可能性が実験で証明されているが，2010年に入り，本邦の多施設の協力を得て，徐脈依存性にJ波が増大するか否かについて，ようやく臨床的な検討が可能となった[14)]．

対象はJ波を有するIVF例で，J波の振幅をベースライン，期外収縮や房室ブロック，または洞ブロックにより突然にRR間隔が延長したとき，および次の1拍目で測定し，比較した(図1)．対照群は年齢，性を一致させた一般患者76例で，全例J波を有し，期外収縮などで突然のRR間隔延長をきたした．

両群で，RR間隔以外の心電図の諸指標に有意差はなかった．J波はIVF群で0.360 ± 0.181 mVで，これは対照群の0.192 ± 0.064 mVより有意に大であった($p < 0.0001$)．いずれも下壁に最も多く分布し，両郡で有意の差は認められなかった．

J波を示すIVF40例のうち，27例で徐脈が記録された．そのうち15例(55.6％)で，RRの延長時にJ波の振幅の増大を認めた(図2)．また，増大後RR間隔が元に戻るときには，J波はベースラインよりも振幅は低下した．残り12例では，J波の有意な変化は見られなかった．一方，対照群ではRR間隔が延長してもJ波の振幅が増大することはなく，また直後に元の間隔に戻ったときのJ波の振幅の変化は見られなかった．

以上，IVFのなかには徐脈依存性にJ波の振幅増大を示す例があり，一般集団や一般患者群ではこのような変化が認められないことより，IVFに特異的な心電図所見と考えられた．また，これはJ波とI_{to}の関係を示す臨床的な所見とも考えられる．さらに，IVF例の心外膜マッピングで認められたJ波において，心房刺激時にその振幅が減少している所見は，IVFにおけるJ波の心拍依存性を示す重要な報告で[15)]，J波の徐脈依存性増大の裏返しの所見といえる．

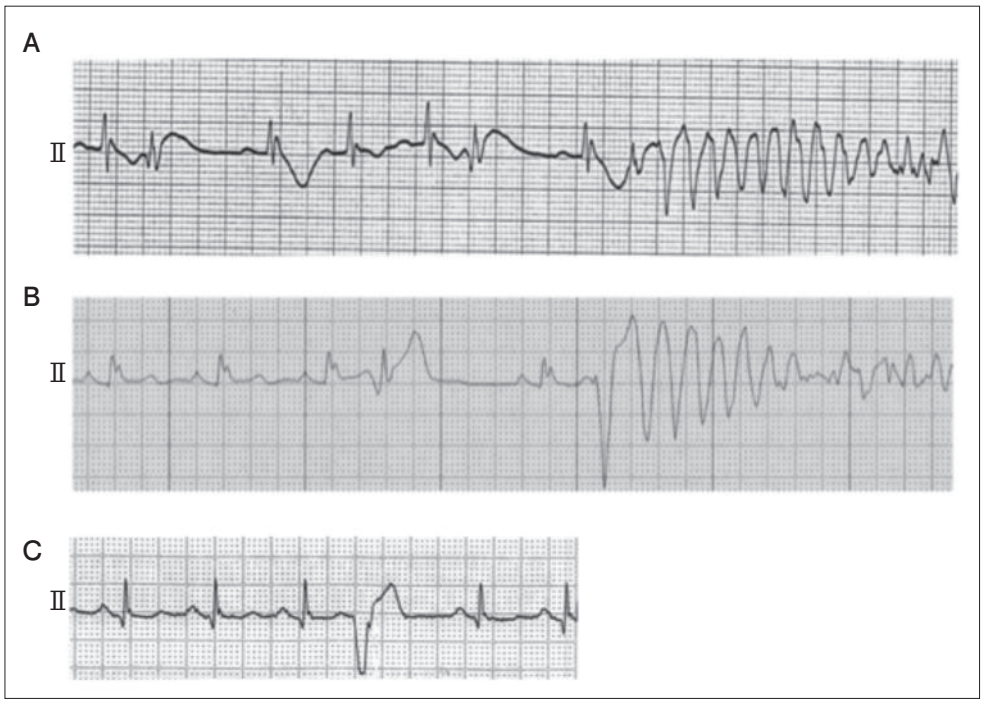

図１　J波と徐脈依存性変動

A：IVF例でRR間隔が不整脈（期外収縮）で突然延長すると，J波の振幅は明らかに増大する．
B：IVF例で先行RRが延長しても不変であった例．
C：非IVF例では期外収縮でRR間隔が延長しても，J波の振幅は不変であった．

〔文献3)，14)より引用改変〕

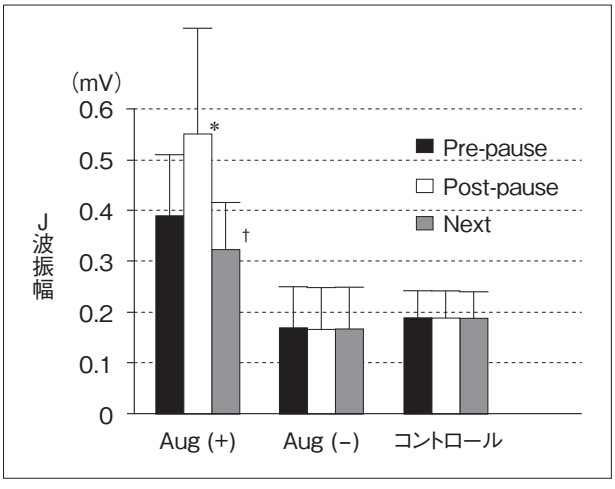

図２　J波の徐脈依存性の変動

IVF例のJ波の振幅は，約半数（55.6％）では先行RRが延長すると増大し〔Aug (+)〕，残りは不変であった〔Aug (–)〕．コントロールでは，RRが延長してもJ波の振幅の増大は認められなかった．

〔文献14)より引用改変〕

Ⅵ．J波の頻脈依存性

徐脈依存性にJ波が増大する場合，再分極異常が最も（唯一）考えられる機序である[4]．QRS終末部のノッチまたはスラーは，早期再分極機序以外に伝導遅延でも認められうるが，もし頻脈依存性にJ波の振幅が増大すれば，伝導遅延（＝脱分極異常）のかかわっている可能性が大となる．そこで心房期外収縮や電気生理学的検査時の心房刺激によるRR間隔が短縮した例で，J波の振幅を一般患者群で検討した[16]．

対象はJ波を示す一般患者群で，J波の陽性基準は＞0.1 mVとした．これは，より明確にJ波の変化を知りたいという目的による．本院に通院または入院している一般患者701例のうち，J波が認められたのは94例（13.4％）であった（平均年齢61 ± 12

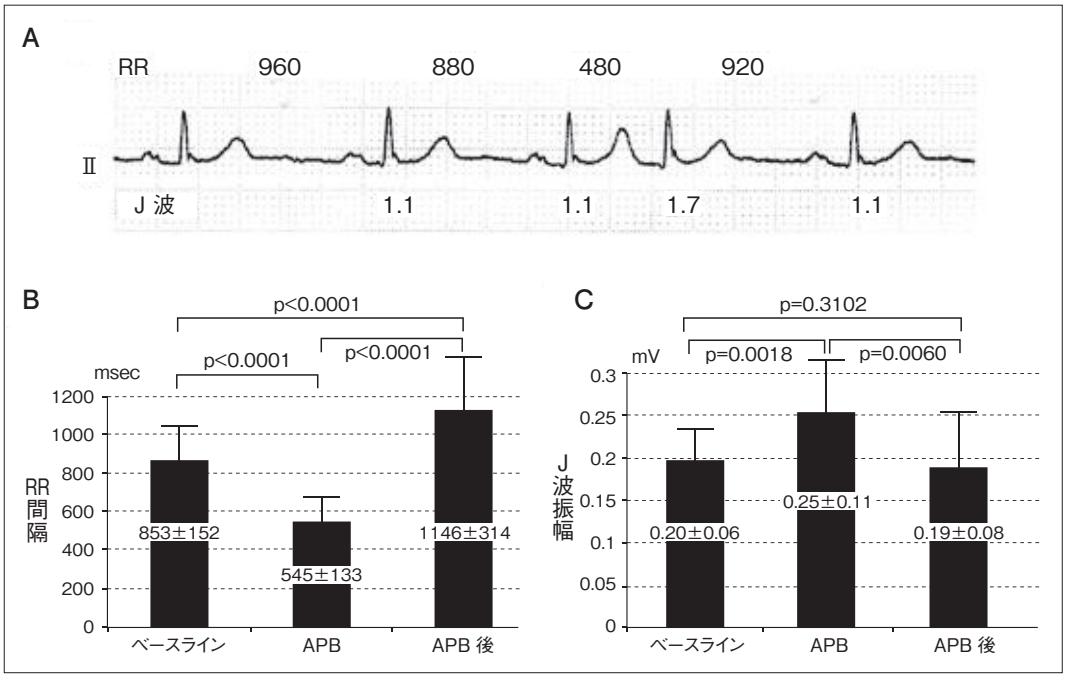

図３　心房期外収縮とＪ波

Ａ：心房期外収縮が伝導されて RR が短縮したときに，Ｊ波の増大が見られる．

Ｂ：全体の心房期外収縮前後の RR の変化．

Ｃ：Ｊ波の振幅の変化．ベースラインに比べ RR が短縮すると，Ｊ波は増大している．また，期外収縮後の RR がベースラインより延長しても，Ｊ波は減高することはなかった．

APB：心房期外収縮

〔文献 16）より引用改変〕

歳，男性 72.3％）．このうち心房期外収縮が記録された例が 23 例，残りの 71 例では認められなかった．全例で失神や動悸，心肺停止の既往はなく，家族歴で心臓突然死の既往もなかった．Ｊ波の振幅はベースライン，伝導された心房期外収縮（RR 短縮時の QRS），および心房期外収縮後の調律（RR 延長時の QRS）で計測した．したがって，本研究ではＪ波の頻脈依存性と徐脈依存性を同時に検討できる．また電気生理学的検査中に，心房に期外刺激または頻回刺激を与えたときに，Ｊ波の振幅がどのように変化するかも検討した．

期外収縮の有無による２群間に，臨床像，心電図所見に有意な差は見られず，高血圧，脂質異常，糖尿病，肥満などの合併症の頻度にも，両群で差はなかった（p = 0. 3017 ～ 0.9769）．

心房期外収縮を認めた 23 例のベースラインのＪ波振幅は 0.20 ± 0.06 mV で，心房期外収縮時は 0.25 ± 0.11 mV と有意に増大した（p ＜ 0.0018，図３）[16]．その際の RR 間隔は 853 ± 152 msec から 545 ± 133 msec へと短縮した（p ＜ 0.0001）．期外収縮後の第１拍目は RR 間隔が 1,146 ± 314 msec に延長したが，そのときのＪ波の振幅は 0.19 ± 0.08 mV でこれはベースラインと差はなかった（p = 0.3102）．RR 短縮に伴うＪ波の振幅の増大は，電気生理学的検査中にも確認され（図４），心房刺激によりＪ波の振幅は 0.28 ± 0.12 mV から 0.42 ± 0.11 mV へと増大した（p = 0.0001）．期外収縮直後や心房刺激直後に RR 間隔が延長しても，Ｊ波の増大を示す例はなかった．

以上より，一般患者に認められるＪ波が頻脈依存

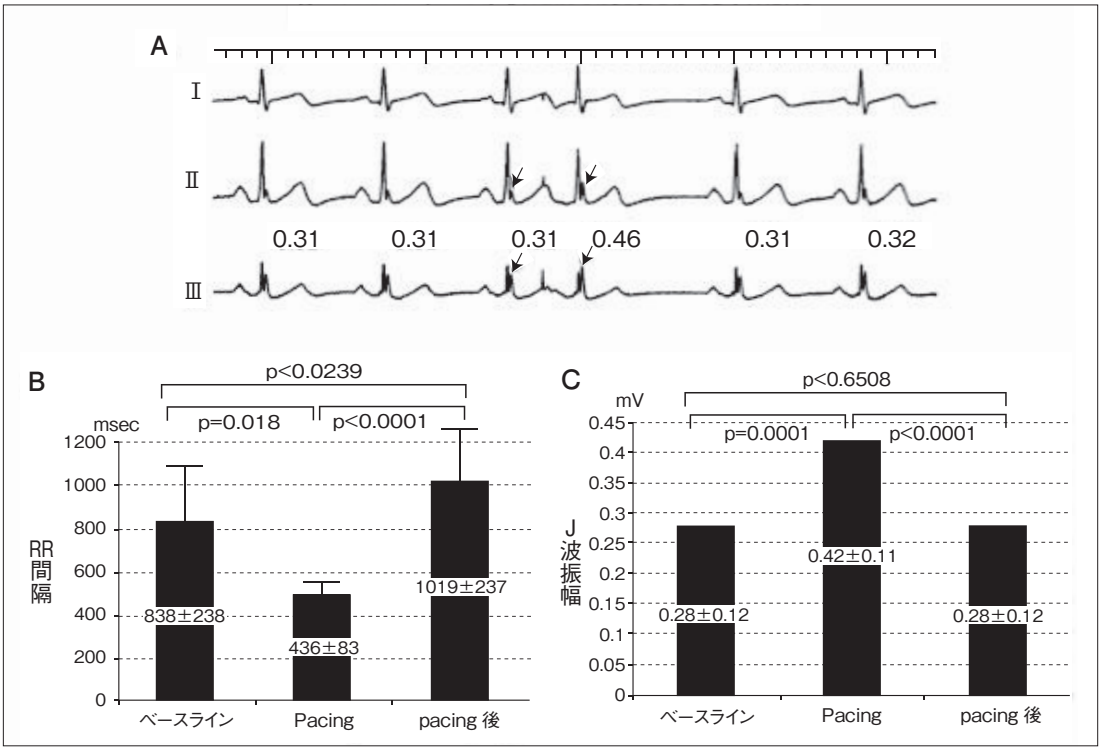

図４　心房刺激とＪ波

Ａ：心房期外刺激によりRRが短縮したときに，Ｊ波の増大が見られる．

Ｂ：心房期外刺激前後のRRの変化．

Ｃ：心房期外刺激時のＪ波は増大しているが，刺激後にRRがベースラインより延長しても，Ｊ波は減高することはなかった．

性に増大する例の存在は，明らかである．頻脈依存性に増大するＪ波の成因には，伝導遅延にしたがって，脱分極異常が最も関与していると考えられる．ここで対象とした一般患者の平均年齢は61 ± 12歳で，これはわれわれのIVF例の平均年齢38 ± 14歳よりも比較的高齢である．したがって，頻脈時には潜在性の異常により伝導を低下させ，そのために伝導遅延をもたらす可能性があると思われる．

また，Ｊ波の陽性基準を＞0.1 mVとしたにもかかわらず，701例中94例（13.4％）と高率に認められた．これはＪ波は高齢者では高率に認め，かつ成因が若年者と異なる可能性も示唆している．このような頻脈時（心房期外収縮時）にＪ波が増大することは，心筋梗塞のPCI後例ですでに報告した[17]．心筋虚血例に見られるＪ波は，Ｊ波症候群の後天性例として含まれているが[5]，それらのＪ波の成因は，早期再分極よりも脱分極異常が関与している可能性がある．Ｊ波症候群ではＪ波は多様な成因により発生しうると考えられる．

Ⅵ．おわりに

IVFとのかかわりを示唆するＪ波には，いくつかの特徴が指摘されている．しかし，Ｊ波がIVFの診断と突然死のリスク評価に役立つかについては，いまだ課題が多い．それは，同様のＪ波が一般患者でも見られるためである．

われわれはその初期の症例の経験からＪ波の徐脈依存性の増大に注目してきたが，この所見はIVFの特徴であると思われる．また，非心室細動例で見られるＪ波は徐脈依存性の増大を示さず，逆に頻脈

依存性の増大を示す例がある．これらのＪ波の成因には，早期再分極異常よりも脱分極異常の関与を示唆しており，心電図でＪ波が見られるからといって，Ｊ波症候群として取り扱うことには問題があると思われる．

〔文　　献〕

1）Watanabe E, Tanabe T, Osaka M, Chishaki A, Takase B, Niwano S, Watanabe I, Sugi K, Katoh T, Takayanagi K, Mawatari K, Horie M2, Okumura K, Inoue H, Atarashi H, Yamaguchi I, Nagasawa S, Moroe K, Kodama I, Sugimoto T, Aizawa Y : Sudden cardiac arrest recorded during Holter monitoring : prevalence, antecedent electrical events, and outcomes. Heart Rhythm, 2014 ; 11 : 1418～1425

2）Brugada P, Brugada J : Right bundle branch block, persistent ST segment elevation and sudden cardiac death : a distinct clinical and electrocardiographic syndrome. A multicenter report. J Am Coll Cardiol, 1992 ; 20 : 1391～1396

3）Aizawa Y, Tamura M, Chinushi M, Naitoh N, Uchiyama H, Kusano Y, Hosono H, Shibata A : Idiopathic ventricular fibrillation and bradycardia-dependent intraventricular block.Am Heart J, 1993 ; 126 : 1473～1474

4）Yan GX, Antzelevitch C : Cellular basis for the electrocardiographic J wave. Circulation, 1996 ; 93 : 372～379

5）Antzelevitch C, Yan GX : J wave syndromes. Heart Rhythm, 2010 ; 7 : 549～558

6）Surawicz B, Macfarlane PW : Inappropriate and confusing electrocardiographic terms : J-wave syndromes and early repolarization. J Am Coll Cardiol, 2011 ; 57 : 1584～1586

7）Meregalli PG, Wilde AA, Tan HL : Pathophysiological mechanisms of Brugada syndrome : depolarization disorder, repolarization disorder, or more? Cardiovasc Res, 2005 ; 67 : 367～378

8）Hayashi M, Murata M, Satoh M, Aizawa Y, Oda E, Oda Y, Watanabe T, Shibata A : Sudden nocturnal death in young males from ventricular flutter. Jpn Heart J, 1985 ; 26 : 585～591

9）Haïssaguerre M, Derval N, Sacher F, Jesel L, Deisenhofer I, de Roy L, PasquiéJL, Nogami A, Babuty D, Yli-Mayry S, De Chillou C, Scanu P, Mabo P, Matsuo S, Probst V, Le Scouarnec S, Defaye P, Schlaepfer J, Rostock T, Lacroix D, Lamaison D, Lavergne T, Aizawa Y, Englund A, Anselme F, O'Neill M, Hocini M, Lim KT, Knecht S, Veenhuyzen GD, Bordachar P, Chauvin M, Jais P, Coureau G, Chene G, Klein GJ, Clémenty J : Sudden cardiac arrest associated with early repolarization. N Engl J Med, 2008 ; 358 : 2016～2023

10）Rosso R, Kogan E, Belhassen B, Rozovski U, Scheinman MM, Zeltser D, Halkin A, Steinvil A, Heller K, Glikson M, Katz A, Viskin S : J-point elevation in survivors of primary ventricular fibrillation and matched control subjects : incidence and clinical significance. J Am Coll Cardiol, 2008 ; 52 : 1231～1238

11）Nam GB, Kim YH, Antzelevitch C : Augmentation of J waves and electrical storms in patients with early repolarization. N Engl J Med, 2008 ; 358 : 2078～2079

12）佐藤光希，池主雅臣，八木原伸江，飯嶋賢一，和泉大輔，渡部 裕，古嶋博司，岡田正彦，相澤義房：成人におけるＪ波の頻度とその特徴－外来症例における検討．心電図，2012 ; 32(Suppl 1) : 19～25

13）Tikkanen JT, Anttonen O, Junttila MJ, Aro AL, Kerola T, Rissanen HA, Reunanen A, Huikuri HV : Long-term outcome associated with early repolarization on electrocardiography. N Engl J Med, 2009 ; 361 : 2529～2537

14）Aizawa Y, Sato A, Watanabe H, Chinushi M, Furushima H, Horie M, Kaneko Y, Imaizumi T, Okubo K, Watanabe I, Shinozaki T, Aizawa Y, Fukuda K, Joo K, Haissaguerre M : Dynamicity of the J-wave in idiopathic ventricular fibrillation with a special reference to pause-dependent augmentation of the J-wave. J Am Coll Cardiol, 2012 ; 59 : 1948～1953

15）Nakagawa K, Nagase S, Morita H, Ito H : Left ventricular epicardial electrogram recordings in idiopathic ventricular fibrillation with inferior and lateral early repolarization. Heart Rhythm, 2014 ; 11 : 314～317

16）Aizawa Y, Sato M, Kitazawa H, Aizawa Y, Takatsuki S, Oda E, Okabe M, Fukuda K : Tachycardia-dependent augmentation of "notched J waves" in a general patient population without ventricular fibrillation or cardiac arrest : not a repolarization but a depolarization abnormality? Heart Rhythm, 2015 ; 12 : 376～383

17）Nakayama M, Sato M, Kitazawa H, Saito A, Ikeda Y, Fujita S, Fuse K, Takahashi M, Takarada K, Oguro T, Matsushita H, Okabe M, Yamashina A, Aizawa Y : J-waves in patients with an acute ST-elevation myocardial infarction who underwent successful percutaneous coronary intervention : prevalence, pathogenesis, and clinical implication. Europace, 2013 ; 15 : 109～115