標準 12 誘導心電図の一次微分波形による労作性狭心症の安静時診断

佐々木暁彦* 新井富夫* 茂田 博* 山科 章*

【目的】標準 12 誘導心電図(ECG)を一次微分することにより, 労作性狭心症の安静時診断を試みた. 【方法】対象は安静時心電図が正常な労作性狭心症 36 例(AP 群)および健常人 52 例(N 群). 対象全例の ECG の各誘導を時定数 10msec で一次微分した. 絶対値表示した T 波の一次微分波形は二峰性であり, 一峰目を T1 波, 二峰目を T2 波とし, T 波の左右対称性の指標値として T2 波高と T1 波高の比である T2/T1 比を両群間で比較した. 【結果】(1)T2/T1 比は I, V₅, V₆誘導で AP 群は N 群に比し有意に低値であった($p < 0.0001$). (2)V₅における T2/T1 比 < 1.5 を労作性狭心症とした場合, 診断率は感度 78%, 特異度 73%であった. 【総括】T1 波高は T 波の上行脚, T2 波高は下行脚の最大傾斜に相当し, T2/T1 比により T 波の左右対称性の定量化が可能である. 安静時心電図上 ST-T 異常を認めない労作性狭心症においても左側胸部誘導で T 波は健常人に比し左右対称化しており, 通常的心電図では判定困難な再分極異常を反映している可能性がある. 【結論】ECG における T 波の一次微分波形は安静時に心電図異常を認めない労作性狭心症の安静時診断に有用であった.

(心電図, 2002; 22: 211 ~ 219)

Keywords

- 労作性狭心症
- 標準 12 誘導心電図
- T 波
- 一次微分
- 対称性

* 東京医科大学第二内科
(〒 160-0023 東京都新宿区西新宿 6-7-1)

I. はじめに

標準 12 誘導心電図における T 波は上行脚に比し下行脚が急峻で左右非対称が正常な形状である^{1), 2)}. しかし, 左右対称な T 波は異常所見であるにもかかわらず, 一般に心電図を診断する際において T 波の左右対称性においては十分な注意が払われていない.

労作性狭心症症例は安静, 非発作時には心電図上 ST-T 異常を認めないことが多く, Connolly ら³⁾によ

Diagnosis of effort angina pectoris at rest by first derivative wave of the standard 12-lead electrocardiogram
Akihiko Sasaki, Tomio Arai, Hiroshi Shigeta, Akira Yamashina

2001 年 12 月 25 日 原稿受領 / 2002 年 5 月 2 日 掲載承認

ると安静時心電図において再分極異常を認める症例は労作性狭心症症例の約20%のみと報告されているが、この報告も含め、一般的に再分極異常とされる異常T波は陰性T波、平低T波、二相性T波などであり、対称性T波は含まれていない。つまり、労作性狭心症症例において安静時心電図が正常と診断されたもののなかには対称性T波という異常所見が含まれている可能性がある。そして、我々は冠動脈に病変を認める明らかな狭心症症例では安静、非発作時においてもT波形が健常者に比し見かけ上形に差がある、つまり左右対称化している傾向があることを日常診療においてたびたび経験した。ミネソタコードを含めた従来のT波診断基準にT波の対称性に関する項目が含まれていない一因として、通常的心電図ではT波の対称性の定性は可能でも定量が困難であったためと考えられる。

波形は一次微分することにより原波形の傾斜を求めることができる。つまり、心電図波形を一次微分すればT波の上行脚と下行脚の傾斜が測定でき、その比によりT波の左右対称性の定量化が可能となる。そこで本研究では、安静時心電図が従来の診断基準で正常と診断された労作性狭心症症例におい

て、心電図波形を一次微分することによりT波の左右対称性を定量化し、労作性狭心症の診断が安静、非発作時に可能か否かを検討した。

Ⅱ. 対象および方法

1. 対象

労作性狭心症を疑い東京医科大学病院にて検査を施行した連続102症例のうち、以下の条件を満たす症例を対象とした。①安静時心電図がミネソタコード⁴⁾に従い正常と診断されている。②冠動脈造影にて有意冠動脈病変(主要冠動脈にAHA分類75%以上の狭窄)を認めている。これらのうち心筋梗塞既往例、経皮的冠動脈形成術施行例、冠動脈バイパス術施行例、左室肥大、拡張例およびI群の抗不整脈薬投与例はT波形に影響を与えるため対象から除外した。その結果、労作性狭心症36例(AP群：男性28名、女性8名、平均 60 ± 8 歳)が対象となった。また年齢、性別を対応させた健常人52例(N群：男性32名、女性20名、平均 59 ± 8 歳)を対照とした。AP群のうち、一枝疾患15例(左前下行枝疾患8例、回旋枝疾患3例、右冠動脈疾患4例)、二枝疾患8例、三枝疾患9例、左主幹部疾患4例であった。二枝疾

表1 症例背景

	AP群	N群	
	No. or Mean $\pm$ SD	No. or Mean $\pm$ SD	p value
症例数	36	52	
男性	28 (78%)	32 (61%)	NS
年齢(才)	60 ± 8	59 ± 8	NS
一枝疾患	15	-	
左前下行枝疾患	8		
回旋枝疾患	3		
右冠動脈疾患	4		
二枝疾患	8	-	
三枝疾患	9	-	
左主幹部疾患	4	-	

AP：労作性狭心症症例，N：健常者

患，三枝疾患においては運動負荷心電図は全例陽性であり，一枝疾患においては15例中12例が陽性であった。左主幹部疾患については運動負荷心電図は施行しなかった。また，対象全例血清電解質濃度は

正常範囲内であった。症例背景を表1に示す。

2. 一次微分波

対象全例にフクダ電子社製心電計FCP-4830を用いて安静仰臥位にて標準12誘導心電図を記録した

$$T2/T1 \text{ 比} = T2 \text{ 波高} / T1 \text{ 波高}$$

$$= \text{下行脚最大傾斜} / \text{上行脚最大傾斜}$$

図1 心電図および一次微分波におけるT波の模式図

一次微分波は心電図波形を時定数10 msecにて一次微分し，絶対値表示とした。T1波高が心電図T波の上行脚の最大傾斜，T2波高が下行脚の最大傾斜に相当するため，T2/T1比により心電図T波の左右対称性の定量化が可能である。

表2 AP群とN群における各誘導のT2/T1比の比較

	AP群 N = 36	N群 N = 52	p value
I	1.26 ± 0.36	1.45 ± 0.27	<0.01
II	1.21 ± 0.33	1.32 ± 0.23	NS
III	1.83 ± 1.16	1.85 ± 1.43	NS
aVR	1.36 ± 0.33	2.05 ± 2.36	NS
aVL	1.73 ± 1.56	1.92 ± 0.80	NS
aVF	1.52 ± 0.60	1.51 ± 0.43	NS
V1	2.60 ± 1.41	2.66 ± 2.62	NS
V2	1.74 ± 0.39	1.80 ± 0.44	NS
V3	1.84 ± 0.42	1.80 ± 0.45	NS
V4	1.58 ± 0.49	1.61 ± 0.43	NS
V5	1.26 ± 0.31	1.62 ± 0.31	< 0.0001
V6	1.28 ± 0.35	1.73 ± 0.40	< 0.0001

AP：労作性狭心症症例，N：健常者

表3 一枝疾患における罹患冠動脈とT2/T1比の関係

	左前下行枝疾患 N = 8	回旋枝疾患 N = 3	右冠動脈疾患 N = 4	p value
I	1.32 ± 0.29	1.53 ± 0.12	1.02 ± 0.29	NS
II	1.27 ± 0.40	1.34 ± 0.11	0.89 ± 0.25	NS
III	1.86 ± 1.17	1.61 ± 0.25	1.27 ± 0.11	NS
aVR	1.42 ± 0.35	1.49 ± 0.19	1.15 ± 0.20	NS
aVL	1.47 ± 0.17	1.31 ± 0.43	0.91 ± 0.11	NS
aVF	1.73 ± 0.57	1.55 ± 0.15	0.91 ± 0.32	NS
V1	1.90 ± 1.32	3.30 ± 1.67	2.41 ± 0.75	NS
V2	1.73 ± 0.41	2.05 ± 0.44	1.48 ± 0.60	NS
V3	1.71 ± 0.28	1.96 ± 0.71	1.73 ± 0.40	NS
V4	1.57 ± 0.24	1.82 ± 0.37	1.26 ± 0.20	NS
V5	1.30 ± 0.20	1.50 ± 0.09	1.20 ± 0.33	NS
V6	1.45 ± 0.25	1.40 ± 0.37	1.14 ± 0.29	NS

後、各誘導波形を一次微分器(FD-01, フクダ電子社製)に入力し、時定数10msec、紙送り速度50mm/secで一次微分した。

絶対値表示としたため一次微分波は陽性波として描かれ、T波の一次微分波は全例二峰性であった。一次微分T波の一峰目をT1波、二峰目をT2波と名づけた。T1波高、T2波高はそれぞれ心電図T波の上行脚の最大傾斜、下行脚の最大傾斜に相当するので、T2波高とT1波高の比(T2/T1比)を計測すれば、心電図T波の左右対称性の定量化が可能である。そこでT2/T1比を両群間で比較検討した。

図1に心電図および一次微分波におけるT波の模式図を示す。

3. 統計処理

各計測値は平均±標準偏差で表し、2群間の平均値の差の検定にはt検定、多群間の比較には分散分析、割合の比較には χ^2 検定を用い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。労作性狭心症症例と健常人とを鑑別する至適値はReceiver operating characteristic (ROC) curve^{5), 6)}を用いて求めた。

Ⅲ. 結 果

(1) I, V₅, V₆誘導においてT2/T1比は、AP群はN群に比し有意に低値であった(I-AP群: 1.26 ± 0.36 vs I-N群: 1.45 ± 0.27, $p < 0.01$, V₅-AP群: 1.26 ± 0.31 vs V₅-N群: 1.62 ± 0.31, $p < 0.0001$, V₆-AP群: 1.28 ± 0.35 vs V₆-N群: 1.73 ± 0.40, $p < 0.0001$) (表2)。

(2) T2/T1比はその他の誘導においては両群間に有意差を認めなかった。

(3) 一枝疾患15例について罹患冠動脈の違いによるT2/T1比の差は全誘導において認めなかった(表3)。

(4) 病変枝数の違いによるT2/T1比の差は全誘導において認めなかった(表4)。

(5) N群において性別間のT2/T1比は全誘導において差を認めなかった(表5)。

(6) 労作性狭心症症例と健常人とを鑑別するためのV₅誘導におけるT2/T1比の至適値をROC curveを用い求めたところ、1.5が最も良好な診断率を得られるT2/T1比であった(図2)。そこで、retrospectiveにT2/T1比による労作性狭心症の診断率を求めると、V₅誘導におけるT2/T1比が1.5未満を労作性狭

表4 病変枝数とT2/T1比の関係

	一枝疾患 N = 15	二枝疾患 N = 8	三枝疾患 N = 9	左主幹部疾患 N = 4	p value
I	1.29 ± 0.31	1.69 ± 1.39	1.86 ± 1.11	1.27 ± 0.31	NS
II	1.15 ± 0.35	1.28 ± 0.41	1.02 ± 0.25	1.37 ± 0.23	NS
III	1.68 ± 0.94	1.59 ± 0.61	1.94 ± 1.75	1.69 ± 0.19	NS
aVR	1.31 ± 0.32	1.34 ± 0.40	1.27 ± 0.32	1.47 ± 0.17	NS
aVL	1.42 ± 0.35	2.64 ± 2.35	1.81 ± 1.01	1.47 ± 0.31	NS
aVF	1.41 ± 0.54	1.57 ± 0.49	1.21 ± 0.80	1.74 ± 0.23	NS
V1	2.22 ± 1.28	2.77 ± 1.99	2.90 ± 1.57	2.95 ± 2.57	NS
V2	1.69 ± 0.48	1.63 ± 0.72	1.74 ± 0.41	2.03 ± 0.42	NS
V3	1.71 ± 0.40	1.72 ± 0.62	1.83 ± 0.44	2.27 ± 0.61	NS
V4	1.54 ± 0.31	1.64 ± 0.78	1.66 ± 0.66	1.39 ± 0.47	NS
V5	1.27 ± 0.26	1.17 ± 0.41	1.14 ± 0.50	1.26 ± 0.31	NS
V6	1.29 ± 0.34	1.07 ± 0.37	1.27 ± 0.62	1.22 ± 0.58	NS

表5 N群における性別とT2/T1比の関係

	N群における男性 N = 32	N群における女性 N = 20	p value
I	1.52 ± 0.22	1.35 ± 0.30	NS
II	1.33 ± 0.21	1.31 ± 0.25	NS
III	1.70 ± 0.90	2.04 ± 1.93	NS
aVR	2.24 ± 3.00	1.74 ± 0.39	NS
aVL	1.77 ± 0.35	2.19 ± 1.27	NS
aVF	1.51 ± 0.39	1.51 ± 0.50	NS
V1	2.22 ± 1.86	3.29 ± 3.37	NS
V2	1.87 ± 0.35	1.68 ± 0.53	NS
V3	1.80 ± 0.38	1.79 ± 0.54	NS
V4	1.66 ± 0.44	1.54 ± 0.41	NS
V5	1.65 ± 0.35	1.57 ± 0.25	NS
V6	1.72 ± 0.27	1.76 ± 0.56	NS

N：健常者

心症症例とした場合、感度78%，特異度73%，正確度75%であった(表6)。

図3にAP群およびN群の実例を示す。

IV. 考 案

T波は理論的には心筋細胞膜活動電位の第3相の形

と持続時間の心室内分布の差によって形成され^{7)~10)}，心室の再分極を反映しており，近年，心室再分極の評価として，QT dispersion¹¹⁾，activation recovery interval¹²⁾，recovery time¹³⁾などの検討が行われている．T波の正常な形態が左右非対称であることを考えると，対称性T波は異常所見であり，T波の左右

図2 労作性狭心症症例と健常者とを鑑別するためのV₅におけるT2/T1比の至適値を得るためのROC curve

ROC curveは縦軸を感度、横軸を1 - 特異度とし、それぞれのT2/T1比をプロットしたものであり、最も左上に位置する1.5が最も良好な診断率を得ることのできるT2/T1比であるといえる。

対称性の検討は心室再分極の異常を検出する新たな指標となり得る可能性があるが、T波の左右対称性を検討した研究はわずかしかな。

T波の左右対称性は通常の心電図では見た目の定性化はできても、定量による客観的な評価は困難である。そこで、我々は空間速度心電図を用いた検討で、労作性狭心症¹⁴⁾と無症候性心筋虚血¹⁵⁾の症例において安静時心電図T波が健常人に比し左右対称化していることを示した。今回は、日常診療で一般的に使用されている標準12誘導心電図を一次微分することにより、労作性狭心症症例では安静、非発作時においても健常者に比しT波が左右対称化しているか否かを検討した。

本研究では、I、V₅、V₆誘導において労作性狭心症症例は健常人に比しT2/T1比が低下、つまり、T波が左右対称化していた。V₅、V₆誘導は左室心尖部に面する誘導である¹⁶⁾。そして、左室心尖部はどの冠動脈本幹においても最も遠位部にあり、血管床に乏しいため、最も心筋虚血に陥りやすい部位でもある。Dunnら¹⁷⁾もタリウム-201心筋シンチグラムによる検討で、一枝病変の心筋虚血症例においては心尖部における可逆性の欠損が最も一般的にみられる所

表6 T2 / T1 比 < 1.5 を労作性狭心症とした場合の症例分布および診断率

	V ₅ -T2/T1 比 < 1.5	V ₅ -T2/T1 比 ≥ 1.5	計
AP群	28 例 (78%)	8 例 (22%)	36
N群	14 例 (27%)	38 例 (73%)	52

$$\text{感度} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \times 100 = 78\%$$

$$\text{特異度} = \frac{\text{TN}}{\text{FP} + \text{TN}} \times 100 = 73\%$$

$$\text{正確度} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{all tests}} \times 100 = 75\%$$

AP：労作性狭心症症例，N：健常者

AP 群

N 群

図3 AP群とN群における標準12誘導心電図と一次微分波の実例

AP群：71歳男性．左冠動脈前下行枝(Segment 7)に90%狭窄，左回旋枝(Segment 11)に99%狭窄を認める．N群：66歳男性．AP群症例の標準12誘導心電図ではST-T異常は認められないが，一次微分波形では V_5 誘導における T_2/T_1 比は，N群症例に比べてAP群症例では低下(1.96 vs 1.20)し，AP群症例ではN群症例に比してT波の左右対称化を示す．

AP：労作性狭心症症例，N：健常者

見であると報告している．また，Rigoら¹⁸⁾はタリウム-201心筋シンチグラムを用いた研究で，心尖部は特定の冠動脈により灌流されているわけではない，と報告している．つまり，労作性狭心症における心内膜側の心筋虚血は冠動脈病変部位によらず心尖部を中心としてび慢性に生じると考えられる．本研究においても一枝疾患15例について罹患冠動脈の違いによる T_2/T_1 比の差を検討したが，すべての誘導において T_2/T_1 比に差を認めなかった．また，我々が一枝病変疾患の労作性狭心症104例における T_2/T_1 比をX，Y，Z誘導で比較した検討¹⁹⁾では，健常人に比し T_2/T_1 比が低下していた誘導は冠動脈病変部位によらずX誘導のみであった．X誘導は V_5 ， V_6 誘導

に対応しているため，これらの報告に矛盾していない．以上より，労作性狭心症において，通常の心電図では診断困難な再分極異常がT波の左右対称化として左室心尖部に面する誘導である V_5 ， V_6 誘導に出現していると考えられた．

また，冠動脈病変が重症になればより T_2/T_1 比は減少すると考えられるが，今回は病変枝数の違いにより T_2/T_1 比の差を認めなかった．その理由として冠動脈疾患の重症度は病変枝数だけではなくそれぞれの狭窄率も関係してくるため病変枝数による差が出なかったと考えられる．

安静かつ非発作時，つまり非虚血時にもかかわらずT波形に変化を生じ左右対称化していることの理

由のひとつとしては、Hessら²⁰⁾が心筋梗塞の既往のない狭心症症例においても、負荷により壁運動異常を生じる部位においては心内膜側に線維化を認めると報告していることから、線維化による心内膜側の活動電位波形の変化が原因と考えられる。また、SicouriとAntzelevitch²¹⁾は心室筋中層に活動電位持続時間の長いM cellが存在することを1991年に初めて報告している。そして最近の研究²²⁾によりM cellは心内膜深層に分布していると考えられているので狭心症による虚血の影響を受け、T波形に変化を及ぼしている可能性もある。しかし、M cellのT波への関与に関しては詳細は未だ明らかになっておらず、本研究においてもT波形の対称化に心筋の活動電位波形の変化が関与していることは考えられるが、具体的にどのような変化によりT波形の対称化を生じているのかは不明であり、今後の研究課題である。そのほかにもhibernating myocardiumも虚血性心疾患におけるT波の左右対称化と関連している可能性があるが、それに関しては十分な情報が得られていないため今後さらなる検討が必要であると考えられた。

また、当検査は検査時間もかからず、患者に身体的負担もないため基本的に狭心症症例すべてにスクリーニング的に使用可能と考えるが、I群の抗不整脈薬投与例、左室肥大などT波形に変化を来している可能性のある症例では疑陽性率が高くなると考えられるため注意が必要であろう。

一次微分波は原波形の電位および心拍数に依存するため、T波の対称性が心拍数の変動により変化する可能性があると考えられる。そのためベースィング負荷、運動負荷、ホルター心電図記録時の心拍数の変化によるT2/T1比の変動を検討することは非常に重要であると考えられ、今後の課題と考える。

V. 総 括

心電図波形を一次微分することにより、労作性狭心症症例と健常人のT波の左右対称性を比較した。安静時心電図が従来の診断基準にて正常と診断され

た労作性狭心症症例においても、左側胸部誘導(V₅, V₆)でT波は健常人に比し左右対称化しており、通常の心電図では判定困難な再分極異常を心電図の一次微分により検出できる可能性が示唆され、労作性狭心症の診断が安静、非発作時に可能であった。

〔文 献〕

- 1) Schamroth L : Basic Principles. The 12 Lead Electrocardiogram. Volume 1 : ed by Schamroth L, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1989 ; 8
- 2) Surawicz B : ST-T abnormalities. Comprehensive electrocardiology. Theory and practice in health and disease. Volume 1 : ed by Macfarlane PW, Lawrie TDV, Pergamon Press, New York, 1989 ; 511
- 3) Connolly DC, Elveback LR, Oxman HA : Coronary heart disease in residents of Rochester, Minnesota. IV. Prognostic value of the resting electrocardiogram at the time of initial diagnosis of angina pectoris. Mayo Clin Proc, 1984 ; 59 : 247 ~ 250
- 4) Rose GA, Blackburn H, Gillum RF, Prineas RJ : Classification of the electrocardiogram for population studies. Cardiovascular Survey Methods : ed by Rose GA, Blackburn H, 2nd ed. World health organization, Geneva, 1982 ; 124 ~ 143
- 5) Metz CE : Basic Principles of ROC Analysis. Semin Nucl Med, 1978 ; 8 : 283 ~ 298
- 6) Katz D, Foxman B : How well do prediction equations predict? Using receiver operating characteristic curves and accuracy curves to compare validity and generalizability. Epidemiology, 1993 ; 4 : 319 ~ 326
- 7) Harumi K, Burgess MJ, Abildskov JA : A theoretic model of the T wave. Circulation, 1966 ; 34 : 657 ~ 668
- 8) Franz MR, Bargheer K, Rafflenbeul W, Haverich A, Lichtlen PR : Monophasic action potential mapping in human subjects with normal electrocardiograms : Direct evidence for the genesis of the T wave. Circulation, 1987 ; 75 : 379 ~ 386
- 9) Miller WT, Geselowitz DB : Simulation studies of the electrocardiogram : I. The normal heart. Circ Res, 1978 ; 43 : 301 ~ 315
- 10) Tsutsumi T, Wyatt RF, Abildskov JA : Effects of hyperkalemia on local changes of repolarization duration in canine left ventricle. J Electrocardiol, 1983 ; 16 : 1 ~ 6
- 11) Higham PD, Campbell RW : QT dispersion. Br Heart J, 1994 ; 71 : 508 ~ 510
- 12) Haws CW, Lux RL : Correlation between *in vivo*

- transmembrane action potential durations and activation-recovery intervals from electrograms. Effects of interventions that alter repolarization time. *Circulation*, 1990 ; 81 : 281 ~ 288
- 13) Steinhaus BM : Estimating cardiac transmembrane activation and recovery times from unipolar and bipolar extracellular electrograms : a simulation study. *Circ Res*, 1989 ; 64 : 449 ~ 462
 - 14) Sasaki A, Takimiya A, Arai T, Song Y, Nakajima S, Muto K, Ibukiyama C : Abnormalities of T waves in effort angina pectoris patients at rest evaluated by spatial velocity electrocardiogram. *Jpn Heart J*, 1996 ; 37 : 879 ~ 889
 - 15) Sasaki A, Arai T, Shigeta H, Ibukiyama C : Detection of silent myocardial ischemia patients by the spatial velocity electrocardiogram. *Am J Cardiol*, 1999 ; 84 : 1081 ~ 1083
 - 16) Murray A, Allen J, Allen V, Clayton RH, McLaughlin NB, Relf GT : Simplified body-surface electrocardiographic maps with depolarization magnitude and direction. *Physiol Meas*, 1994 ; 15 : 235 ~ 242
 - 17) Dunn RF, Freedman B, Bailey IK, Uren RF, Kelly DT : Localization of coronary artery disease with exercise electrocardiography : correlation with thallium-201 myocardial perfusion scanning. *Am J Cardiol*, 1981 ; 48 : 837 ~ 843
 - 18) Rigo P, Bailey IK, Griffith LS, Pitt B, Burow RD, Wagner HN Jr, Becker LC : Value and limitations of segmental analysis of stress thallium myocardial imaging for localization of coronary artery disease. *Circulation*, 1980 ; 61 : 973 ~ 981
 - 19) Sasaki A, Arai T, Shigeta H, Yamashina A : Can Effort Angina Pectoris be Diagnosed at Rest? *J Am Coll Cardiol*, 2000 ; 35 (supple A) : 352A
 - 20) Hess OM, Schneider J, Nonogi H, Carroll JD, Schneider K, Turina M, Krayenbuehl HP : Myocardial structure in patients with exercise-induced ischemia. *Circulation*, 1988 ; 77 : 967 ~ 977
 - 21) Sicouri S, Antzelevitch C : A subpopulation of cells with unique electrophysiological properties in the deep subepicardium of the canine ventricle : The M cell. *Circ Res*, 1991 ; 68 : 1729 ~ 1741
 - 22) Antzelevitch C, Shimizu W, Yan GX, Sicouri S, Weissenburger J, Nesterenko VV, Burashnikov A, Di Diego J, Saffitz J, Thomas GP : The M cell : Its contribution to the ECG and to normal and abnormal electrical function of the heart. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 1999 ; 10 : 1124 ~ 1152