

労作性狭心症安静時診断における 一次微分心電図の有用性

Diagnosis of Effort Angina Pectoris at Rest by First Derivative Electro- cardiography

椎名 一紀
新井 富夫^{*1}
佐々木暁彦^{*2}
芦矢 浩章
富山 博史^{*1}
山科 章^{*1}

Kazuki SHIINA, MD
Tomio ARAI, MD^{*1}
Akihiko SASAKI, MD^{*2}
Hiroaki ASHIYA, MD
Hirofumi TOMIYAMA, MD^{*1}
Akira YAMASHINA, MD, FJCC^{*}

Abstract

Objectives. First derivative electrocardiography (FDECG) records the slope of the wave of the standard 12-lead electrocardiography (ECG) and enables quantification of ECG-T wave symmetry. This study investigated the usefulness of FDECG to diagnose effort angina pectoris in patients with chest pain.

Methods. All 62 patients who visited our hospital with exertional chest pain underwent FDECG at rest, and exercise electrocardiography or stress thallium scintigraphy. Patients with possible ischemic change underwent coronary angiography, and those with significant coronary artery stenosis ($\geq 75\%$ reduction) were classified as the angina pectoris group (23 subjects). The other patients (without ischemic change or without significant coronary artery stenosis) formed the non-angina pectoris group (39 subjects). The FDECG is a simple differential wave with two peaks. The first peak of the FDECG-T wave was designated as the T₁ wave and the second peak as the T₂ wave. The heights (the T₁ and T₂ wave amplitude) and the T₂/T₁ ratio (T₂ wave heights/T₁ wave heights) were calculated in the two groups.

Results. The T₂/T₁ ratios in leads I, II, III, aVR, aVL, aVF, V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, and V₆ were significantly ($p < 0.01$, $p < 0.0001$, $p < 0.001$) decreased in the angina pectoris group. Using the criterion of a T₂/T₁ ratio at the V₅ lead of less than 1.30, FDECG could detect effort angina pectoris patients with 65% in sensitivity, 74% specificity and 71% accuracy.

Conclusions. ECG-T waves in the angina pectoris group were symmetrical. T₂/T₁ ratio of the FDECG-T wave is a useful index to diagnose effort angina pectoris at rest.

J Cardiol 2002 Nov; 40(5): 199-206

Key Words

■Angina pectoris (effort)

■Electrocardiography (symmetrical T wave, first derivative)

はじめに

労作性狭心症の診断は、典型的な狭心痛の有無や、発作時の標準12誘導心電図(electrocardiography: ECG)のST-T変化、運動負荷試験、負荷心筋シンチグラフィなどにおいて心筋虚血を証明することによりなされる。典型的な狭心痛を呈していれば、その時点で

虚血に陥っていることがほぼ正確に判断できることが多いが、日常診療においては胸痛の性状は多様であり、典型的な狭心痛は約30%という報告もある¹⁾。これらの胸痛患者が狭心症であると診断するには上記検査を必要とするが、胸痛患者全例に施行することは時間的、経済的に困難である。また、外来受診時には胸痛が消失して心電図変化を捉えられない症例も多い。

戸田中央総合病院 循環器内科: 〒335-0023 埼玉県戸田市本町1-19-3; ^{*1}東京医科大学 第二内科, 東京; ^{*2}佐々木内科クリニック, 東京

Department of Cardiology, Toda Central General Hospital, Saitama; ^{*1}The Second Department of Internal Medicine, Tokyo Medical University, Tokyo; ^{*2}Sasaki Medical Clinic, Tokyo

Address for correspondence: SHIINA K, MD, Department of Cardiology, Toda Central General Hospital, Honcho 1-19-3, Toda, Saitama 335-0023

Manuscript received July 12, 2002; revised August 26, 2002; accepted August 26, 2002

一方、一次微分心電図(first derivative electrocardiogram: FDECG)は従来のECGでは得られない情報を含んでいる。ECG-T波は心室の再分極相を反映しており、正常例では上行脚に比べて下行脚が急峻で左右非対称である²⁾。しかし、ミネソタコード³⁾や American Heart Association/American College of Cardiology (AHA/ACC)のガイドライン⁴⁾をはじめとする従来のECGの診断基準の中には、T波形の対称性に関する異常項目は含まれていない。一次微分波形を用いればECG-T波の左右対称性の定量化が可能となるので、既存の診断基準では判定不可能であったECG-T波の異常を鑑別できる可能性がある。佐々木ら⁵⁾は、労作性狭心症と健康人との鑑別がFDECGを用いれば安静非発作時に可能であると報告した。しかし、これまでの報告は正常ECGを対象にした検討であった。本研究の目的は、胸痛患者連続62例を対象にFDECGの労作性狭心症診断における有用性を検討することである。

対象と方法

1. 対象

労作時胸痛を主訴に当院を外来受診した症例のうち、運動負荷試験禁忌である不安定狭心症、虚血性心疾患の既往が明らかな陳旧性心筋梗塞、冠攣縮性狭心症、T波形に影響を及ぼす可能性のある抗不整脈薬使用症例、二次性T変化をきたす脚ブロック、左室肥大症例(心エコー図検査により心室中隔または左室後壁の壁厚が12mm以上)を除外した連続62症例(男性35例、女性27例、平均年齢 54 ± 7 歳)を対象とした。対象の背景をTable 1に示す。

2. 方法

対象全例に対して、外来受診時に安静非発作時ECGを記録し、さらに全誘導をフクダ電子製一次微分心電図増幅器に入力し、時定数10msec、紙送り速度100mm/secで一次微分し、絶対値表示したFDECGを記録した。つぎに全症例に対して運動負荷心電図あるいは負荷心筋シンチグラフィを施行し、陽性所見を認めた症例はさらに冠動脈造影検査を行った。AHA心機能分類により75%以上の有意狭窄病変を認めたものを労作性狭心症群(狭心症群)23例、有意狭窄を認めなかった症例と負荷試験陰性症例を合わせ、

Table 1 Clinical characteristics of the AP and Non-AP groups

	AP group (n = 23)	Non-AP group (n = 39)	p value
Age(yr)	61 ± 8	50 ± 13	< 0.01
Male	14(61%)	21(54%)	NS
RR interval(msec)	897 ± 190	952 ± 170	NS
ECG abnormality			
ST depression < 1.0mm	2(9%)	2(5%)	NS
Coronary artery disease			
One-vessel	20	-	
LAD	14		
LCX	3		
RCA	3		
Two-vessel	2	-	
Three-vessel	1	-	

Continuous values are mean ± SD.

AP = angina pectoris; ECG = electrocardiography; LAD = left anterior descending artery; LCX = left circumflex artery; RCA = right coronary artery.

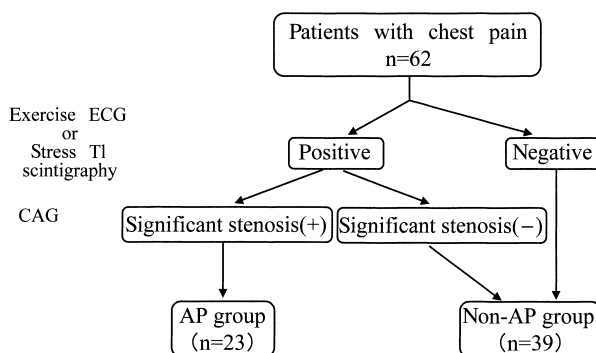


Fig. 1 Study protocol

Significant stenosis: 75% stenosis or more according to the American Heart Association criteria.

TI = thallium-201; CAG = coronary angiography. Other abbreviations as in Table 1.

労作性狭心症を否定しえた群(非狭心症群)39例に分類した。負荷試験陽性で冠動脈造影検査により有意狭窄を認めなかった症例はアセチルコリン負荷試験を施行し、冠攣縮性狭心症を否定した。方法のフローチャートをFig. 1に示す。

FDECG-T波は全例二峰性であり、ECG-T波の上行脚傾斜に相当する一峰目をT₁波、下行脚傾斜に相当する二峰目をT₂波とし、その波高をT₁波高、T₂波高とした。Fig. 2はECG-T波とその一次微分波形を示し

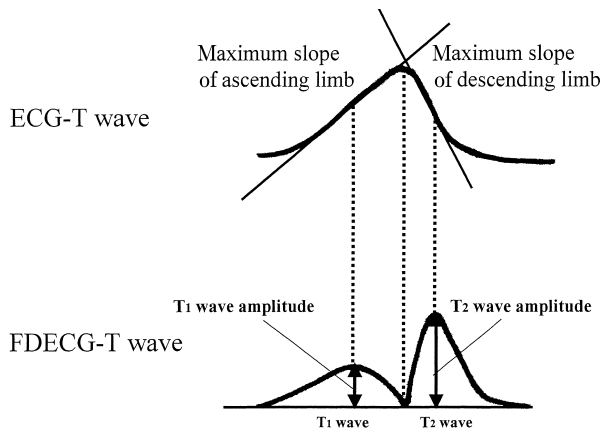


Fig. 2 Schematic representation of ECG-T wave and FDECG-T wave
 FDECG = first derivative electrocardiogram. Other abbreviation as in Table 1.

たものである。QT間隔は心拍数による影響を除くため、Bazettの式⁶⁾により補正($QTc = QT/RR^{1/2}$)した。指標値は以下の項目を検討した。

- 1) 一次微分心電図
 - T₁波高(mV/sec), T₂波高(mV/sec)
 - T₂波高とT₁波高の比であるT₂/T₁比
- 2) 標準12誘導心電図
 - T波高(T wave amplitude: mV)
 - QTc(msec)

3. 統計処理

結果はすべて平均±標準偏差で表示した。統計学的処理では2群間の非連続値は²検定, 連続値は対応のないt検定, 多群間の連続値は分散分析法を用いた。p < 0.05を有意差の判定とした。

結 果

1. 一次微分心電図

- 1) T₁波高, T₂波高は, すべての誘導で両群間に有意差を認めなかった(Table 2)。
- 2) T₂/T₁比は, 3, 4, 5, 6誘導において, 狭心症群では非狭心症群に比べて有意に低値であったが, そのほかの誘導には有意差を認めなかった(Fig. 3)。
- 3) 1枝病変間の比較では, 全誘導において左前下行枝, 左回旋枝, 右冠動脈の病変部位の違いでT₂/T₁比に有意差を認めなかった(Fig. 4)。

Table 2 Comparison of T₁ and T₂ wave amplitudes between the AP and Non-AP groups

	T wave amplitude	AP group (n = 23)	Non-AP group (n = 39)	p value
	T ₁	2.10 ± 0.57	2.09 ± 0.75	NS
	T ₂	2.79 ± 0.89	3.19 ± 1.06	NS
	T ₁	3.19 ± 1.23	2.57 ± 0.89	NS
	T ₂	4.46 ± 1.74	3.51 ± 1.65	NS
	T ₁	2.23 ± 1.14	1.83 ± 0.95	NS
	T ₂	3.34 ± 1.42	2.84 ± 1.13	NS
a R	T ₁	2.19 ± 0.83	2.35 ± 0.60	NS
	T ₂	3.23 ± 1.20	3.44 ± 1.04	NS
a L	T ₁	2.13 ± 0.95	1.78 ± 0.49	NS
	T ₂	2.89 ± 1.05	2.33 ± 0.75	NS
a F	T ₁	2.63 ± 1.03	2.17 ± 0.99	NS
	T ₂	3.57 ± 1.44	3.14 ± 1.54	NS
1	T ₁	1.95 ± 0.98	2.03 ± 0.83	NS
	T ₂	3.13 ± 1.53	3.94 ± 1.69	NS
2	T ₁	4.64 ± 2.21	4.50 ± 2.72	NS
	T ₂	6.77 ± 2.62	7.58 ± 5.00	NS
3	T ₁	5.54 ± 2.96	4.46 ± 2.72	NS
	T ₂	7.59 ± 3.29	7.92 ± 4.92	NS
4	T ₁	4.87 ± 2.47	4.34 ± 2.08	NS
	T ₂	6.62 ± 3.07	7.08 ± 4.02	NS
5	T ₁	3.57 ± 1.84	3.54 ± 1.41	NS
	T ₂	4.43 ± 2.59	5.15 ± 2.20	NS
6	T ₁	2.90 ± 1.43	2.70 ± 1.00	NS
	T ₂	3.56 ± 1.78	4.17 ± 1.55	NS

Values are mean ± SD.
 Abbreviation as in Table 1.

2. 標準12誘導心電図

- 1) T波高は, 全誘導において両群間に有意差を認めなかった(Fig. 5)。
- 2) QTcは, 狭心症群が424 ± 33 msec, 非狭心症群が406 ± 33 msecで両群間に有意差を認めなかった。

3. 診断率

5誘導におけるT₂/T₁比1.30未満を労作性狭心症の陽性基準とすると, 感度65%, 特異度74%, 正確度71%であった(Table 3)。実例をFig. 6に示した。

考 察

日常診療において胸痛を主訴に外来受診する患者は多い。胸痛の原因として, 福井ら⁷⁾の報告では, 筋骨格系疾患23.9%, 不安神経症またはうつ病22.5%, 神

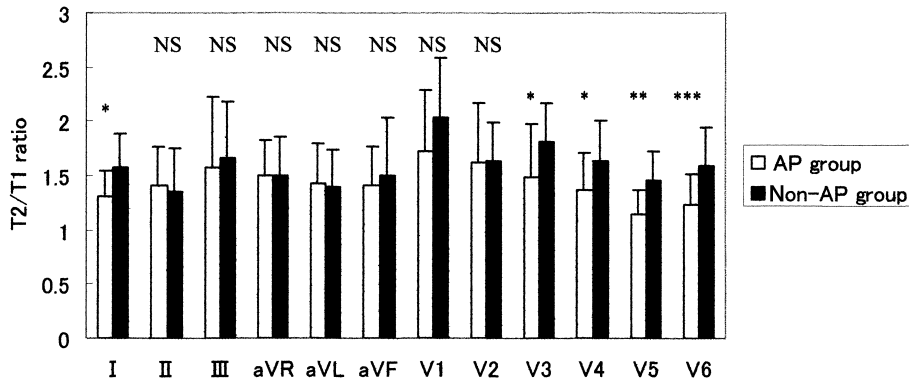
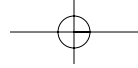


Fig. 3 Comparison of the T_2/T_1 ratio between the AP and Non-AP groups
 * $p < 0.01$ vs Non-AP group, ** $p < 0.0001$ vs Non-AP group, *** $p < 0.001$ vs Non-AP group.
 Abbreviation as in Table 1.

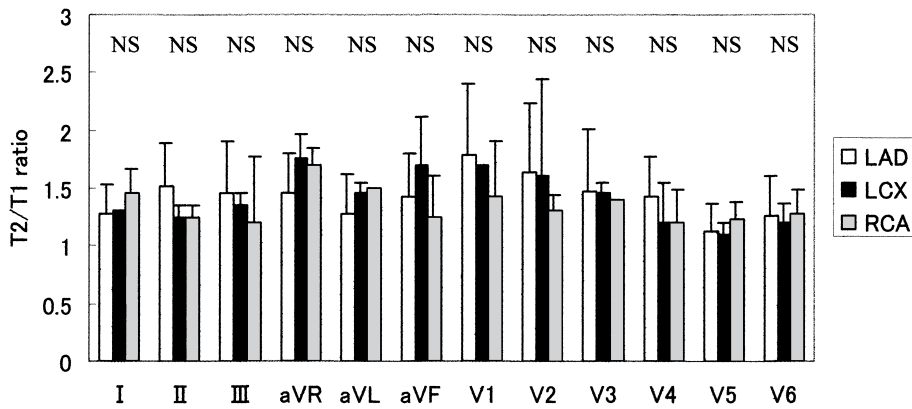


Fig. 4 Comparison of the T_2/T_1 ratio in one-vessel coronary artery disease
 Values are mean \pm SD.
 Abbreviations as in Table 1.

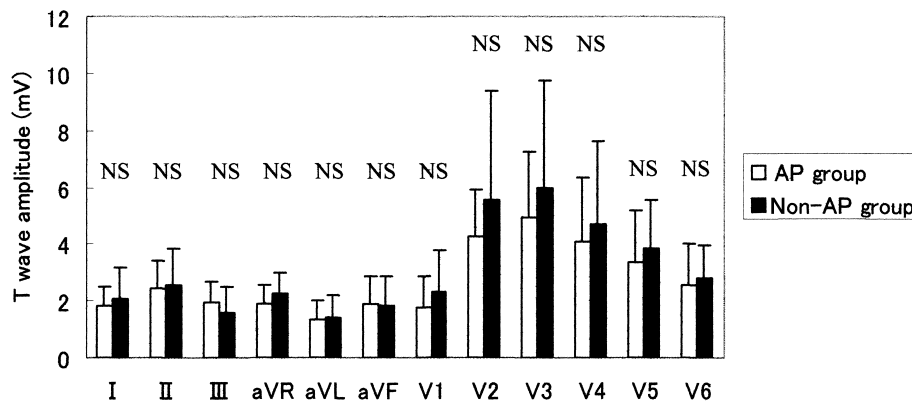
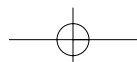


Fig. 5 Comparison of the T wave amplitude between the AP and Non-AP groups
 Abbreviation as in Table 1.



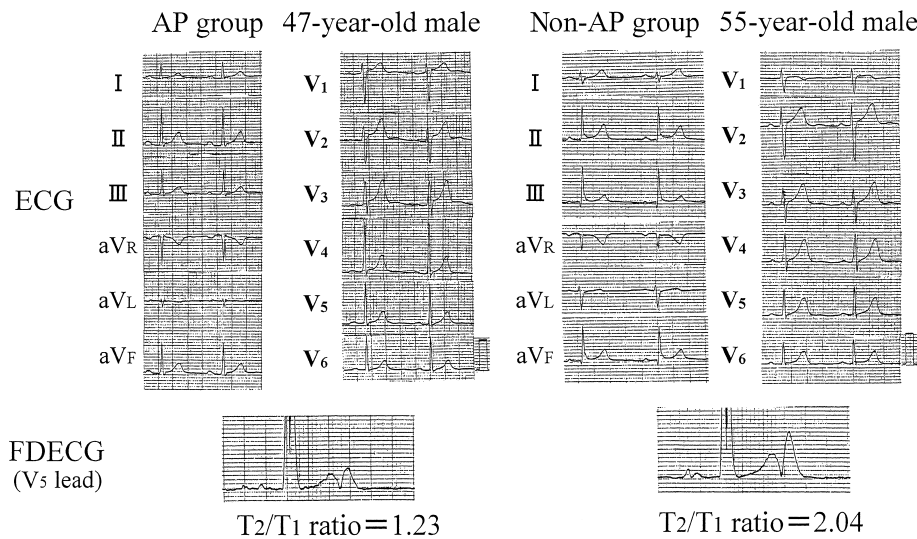


Fig. 6 Typical examples of FDECG in angina and non-angina patients

A 47-year-old male in the AP group with 90% stenosis in the left anterior descending artery. The resting ECG was normal, but FDECG showed the T_2/T_1 ratio decreased to 1.23. In contrast, the T_2/T_1 ratio in the 55-year-old male in the Non-AP group was 2.04. Abbreviations as in Table 1, Figs. 1, 2.

経痛(帯状疱疹を含む)16.9%, 虚血性心疾患 16.2%, 呼吸器疾患 7.0%, 消化管疾患 6.3%, 不整脈 4.9% などである。実際の診療ではこれらの鑑別を的確に行うことが要求される。とくに虚血性心疾患は、生命予後に関わる重要な疾患であり正確な診断を必要とする。急性心筋梗塞症の診断は、ECG 所見および臨床症状よりその診断は比較的容易である。これに対して狭心症の最も基本的な診断法は、自然発作時の心電図上の虚血性変化を確認することであるが、通常の外來診療で自然発作を確認することは難しい。また、狭心症を最初に診断されたときの安静非発作時 ECG の約 60% はミネソタコード上異常を認めず⁸⁾、非発作時の ECG により労作性狭心症の診断をするのは困難とされている。

これに対し Sano ら^{9,10)} や Mori ら¹¹⁾ は、ベクトル環の空間的描記速度の記録である空間速度心電図 (spatial velocity electrocardiogram: SVECG) における T 環が虚血性心疾患の診断に有用であると報告している。さらに Sasaki ら¹²⁻¹⁴⁾ は、労作性狭心症、無症候性心筋虚血¹⁵⁾、陳旧性心筋梗塞¹⁶⁾ の診断において、Arai ら¹⁷⁾ は、 a_{VF} 誘導に異常 Q 波を呈する陳旧性心筋梗塞と健常人との鑑別診断において SVECG の有用性を報告している。SVECG は Frank 誘導¹⁸⁾ 心電図の 3 成分 (X, Y, Z) を用いているが、今回用いた FDECG は SVECG をよ

Table 3 Distribution of patients with T_2/T_1 ratio cutoff of 1.30

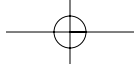
	T_2/T_1 ratio < 1.30	T_2/T_1 ratio \geq 1.30	Total
AP group □	□	□	□
Number □	15 (65%) □	8 (35%) □	23 □
Non-AP group □	□	□	□
Number	10 (26%)	29 (74%)	39

Sensitivity = true positive / (true positive + false negative) \times 100 = 65%. □

Specificity = true negative / (false positive + true negative) \times 100 = 74%. □

Accuracy = (true positive + true negative) / all tests \times 100 = 71%. □
Abbreviation as in Table 1.

り日常診療で一般的な ECG に応用したものである。FDECG-T 波の T_1 波高は ECG-T 波の上行脚の最大傾斜、 T_2 波高は ECG-T 波の下行脚の最大傾斜に相当するため、両者の比である T_2/T_1 比を求めることにより T 波の左右対称性の定量化が可能になる。FDECG を用い T 波の左右対称性を検討することは心室の再分極過程を別の角度から分析するため、より新たな情報を得られると考えられる。そこで本研究は日常診療で遭遇する胸痛患者を対象として安静非発作時 ECG-T 波を一次微分することにより労作性狭心症の早期診断が



可能か否かを検討した。

ECG-T波形成には種々の因子が関与しているが、主として心筋細胞膜活動電位の第3相(再分極相)の形と活動電位持続時間(action potential duration)の心室内分布の差によって形成される^{19, 21)}。心内膜下虚血時のECG-T波の変化として、虚血部心筋の脱分極の立ち上がり速度が低下し、活動電位持続時間の短縮と電位の減少のため心外膜側の誘導でST下降、T波陰転化する²⁾。この変化は可逆的で、虚血が解除されると正常化するとされるが、繰り返す虚血発作は、労作性狭心症でも心内膜の局所の線維化を招き²²⁾、非発作時にも微小な再分極異常が残存する可能性がある。本研究の結果では狭心症群のQTcは、非狭心症群に比べて有意差を認めなかった。つまり、狭心症群でT波が左右対称化していたことは、活動電位持続時間の延長によるものではなく、主に心室活動電位の形の変化による不均一な再分極により生じる一次性T変化を反映していると推測された。

ECG-T波高に關しての比較では、T波の平坦化も虚血性変化の反映と考えられているが、本研究では有意差を認めず、狭心症症例の診断指標とはなりえなかった。

T波形に影響を与える因子として虚血性心疾患のほかに血清電解質濃度、自律神経、左室肥大、脚ブロック、群抗不整脈薬、ジギタリスなどがある。本研究では対象患者の血清電解質濃度はすべて正常範囲であった。また、ECG記録はすべて安静仰臥位で行い狭心症群、非狭心症群間でRR間隔に有意差を認めなかったことより自律神経の影響は少ないと思われる。二次性T変化をきたす可能性のある左室肥大症例、脚ブロック症例は除外した。また、抗不整脈薬使用例は除外した。

1枝病変における冠動脈狭窄部位別の比較では、全誘導において、左前下行枝、左回旋枝、右冠動脈の病変部位の違いで T_2/T_1 比に有意差を認めなかった。T波の左右対称化は冠動脈狭窄部位によらず心尖部誘導を中心に出現しており、運動負荷心電図と同様に局在性の診断は困難と考えられた。

本研究で認めたT波の左右対称化は可逆性か否か、という問題がある。狭心症例の T_2/T_1 比の時間的経過の検討は、今後の課題であるが、先に述べたようにT波の左右対称化は局所の線維化によるものと考え

非可逆性と推測される。しかし、我々の観察では経皮的冠動脈形成術後に T_2/T_1 比が上昇し健常人に近づく症例を認めることより、可逆的な虚血性変化の関与も示唆される。仮に虚血発作による可逆的な要素が大きいとすると、患者の最終胸痛発作から外来受診までの期間が問題となる。本研究の対象例は胸痛後2-30日(平均10日)であった。ここでいう最終発作とは問診上のものであり、厳密には実際の虚血発作とは一致しない。しかし、この時点での T_2/T_1 比は狭心症群と非狭心症群で有意差を認めたことから、少なくとも30日程度はT波左右対称化が残存すると考えられ、日常診療では診断的価値は高いと考えられる。このT波の左右対称化は心筋虚血の既往を捉えている可能性がある。

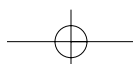
誘導における T_2/T_1 比 <1.30 を陽性とした場合の労作性狭心症に対する診断率は、感度65%、特異度74%、正確度71%、と良好な値を得た。佐々木ら⁵⁾の報告と比べカットオフ値が低いのは、佐々木らの報告では胸痛の有無にかかわらず正常心電図を対象としているのに対して、本研究では胸痛発作後平均10日前後の記録のため虚血性変化の影響がより強く残存しており、狭心症例において T_2/T_1 比がより低下し、カットオフ値も低下したと考えられた。

また、FDECGは、高齢者など身体的、臨床的原因により運動負荷試験の行えない患者にとって、安静時に非侵襲的、かつ簡便に施行することが可能である。労作性狭心症の診断は最終的には冠動脈造影検査を行うことになるが、冠動脈造影検査は侵襲的な検査であり合併症も起こりうる。FDECGは、労作性狭心症において安静時に心筋虚血の存在の指標を得られる簡便な検査であり、日常診療において有用性が高いと考えられた。

本研究の限界

本研究の限界は、胸痛患者連続62例を対象にした研究であるため両群間で年齢に有意差を認めることである。今後症例数を増やしage matched controlとの対比や加齢による T_2/T_1 比の時間的経過を検討する必要がある。

労作性狭心症の診断について、本研究では運動負荷心電図、核医学検査、冠動脈造影を合わせて診断したが、各検査にはおのおの感度・特異度が存在するた



め絶対的基準を設定することが容易ではなく、また負荷試験陰性例の中に労作性狭心症や冠攣縮性狭心症の症例が含まれる可能性がある。研究的立場からは、全例に3種類の検査を施行して対比すべきと考えられるが、負荷試験陰性例に冠動脈造影検査を施行するのは倫理的な問題から困難であり、日常診療における診断過程をもとにした本研究の限界と思われる。

T波の対称化が虚血の既往を示すという仮説をより明確に示すためには、発作頻度や時間的経過を対比した検討が有用であると思われるが、問診上の発作頻度や最終発作の時期などは患者の記憶に依存する部分が多く、不確実であったり定量化困難なため、本研究ではこれらの対比はできなかった。今後、経皮的冠動脈

形成術を虚血発作のモデルとした時間的経過の検討などが必要である。

FDECGの測定上の問題点としてECG-T波が平坦化した症例ではT波の上行脚、下行脚の傾きが0に近づくためFDECGの T_1 波高、 T_2 波高は計測困難となる。また、二次性T変化をきたす症例を含めた除外症例の検討も今後必要であると考えられる。

結 論

労作性狭心症患者では非発作時ECGにおいてT波が左右対称化しているため、FDECGを用いECG-T波の左右対称性を定量的に検討することは、胸痛を訴える症例の心電図診断に有用であった。

要 約

目 的: 一次微分心電図(FDECG)は標準12誘導心電図(ECG)波形の傾斜の記録であり、ECG-T波の左右対称性の定量化が可能である。本研究では胸痛患者を対象として労作性狭心症の安静時診断におけるFDECGの有用性を検討した。

方 法: 対象は労作時胸痛を主訴に外来受診をした連続62症例である。全例に運動負荷心電図または負荷心筋シンチグラムを施行し、虚血による胸痛と診断された狭心症群(AHA分類で75%以上の有意狭窄)23例と虚血が否定された非狭心症群39例の2群に分類した。T波の左右対称性の検討は全例の安静非発作時のECGの各誘導を一次微分することにより行った。FDECGのT波は二峰性で一峰目を T_1 波、二峰目を T_2 波とし、 T_2 波高と T_1 波高の比である T_2/T_1 比をECG-T波の左右対称性の指標とし両群間で比較した。

結 果: T_2/T_1 比は、 $3, 4, 5, 6$ 誘導において、狭心症群では非狭心症群に比べて有意に低値であった($3, 4$ 誘導: $p < 0.01$, 5 誘導: $p < 0.0001$, 6 誘導: $p < 0.001$)。5誘導における T_2/T_1 比 < 1.30 を狭心症例とした場合、狭心症と診断できる診断率は、感度65%、特異度74%、正確度71%であった。

結 論: 労作性狭心症例では、安静非発作時心電図において非狭心症例に比べてT波が左右対称化しており、 T_2/T_1 比を用いてT波の左右対称性を定量的に検討することは、労作性狭心症の安静時心電図診断に有用であった。

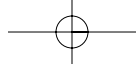
J Cardiol 2002 Nov; 40(5): 199 - 206

文 献

- 1) 勝目 紘, 古川啓三, 東 秋弘, 杉原洋樹, 中川雅夫: 狭心症患者の初発症状の調査. 日医新報 1990; 3463: 25 - 30
- 2) Schamroth L: Electrophysiology and electropathology. in The 12 Lead Electrocardiogram: Book I (ed by Schamroth L) Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1989; pp 114 - 126
- 3) Rose GA, Blackburn H, Gillum RF, Prineas RJ: Classification of the electrocardiogram for population studies. in Cardiovascular Survey Methods (ed by Rose GA)

2nd Ed. World Health Organization, Geneva, 1982; pp 124 - 143

- 4) Schlant RC, Adolph RJ, DiMarco JP, Dreifus LS, Dunn MI, Fisch C, Garson A Jr, Haywood LJ, Levine HJ, Murray JA, Noble RJ, Ronan JA Jr: Guidelines for electrocardiography: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Assessment of Diagnostic and Therapeutic Cardiovascular Procedures (Committee on Electrocardiography) J Am Coll Cardiol 1992; 19: 473 - 481
- 5) 佐々木暁彦, 新井富夫, 茂田 博, 山科 章: 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．心電図 2002; **22**: 211 - 219
- 6) Bazett HC: An analysis of the time-relations of electrocardiograms. *Heart* 1920; **7**: 353 - 370
 - 7) 福井次矢: 病歴・診察・迅速検査データの有用性．日公衛誌 1990; **37**: 569 - 575
 - 8) Connolly DC, Elveback LR, Oxman HA: Coronary heart disease in residents of Rochester, Minnesota: . Prognostic value of the resting electrocardiogram at the time of initial diagnosis of angina pectoris. *Mayo Clin Proc* 1984; **59**: 247 - 250
 - 9) Sano T, Suzuki F, Takahashi T, Fukamachi M, Furukawa T: On the spatial velocity electrocardiogram: . Apparatus. *Jpn Heart J* 1967; **8**: 301 - 308
 - 10) Sano T, Suzuki F, Hiroki T, Sato S: The spatial velocity electrocardiogram in normal and abnormal states and its clinical significance in ventricular premature beats. *Proc Jpn Acad* 1967; **43**: 812 - 817
 - 11) Mori H, Nagayama T, Oda T, Oshita K, Shibata T, Takeshita I, Tetsuo M, Ide T, Jau-Hong W, Nakasone K, Hagihara S: Analog computer analysis of spatial vectorcardiogram: Spatial magnitude, velocity and the acceleration electrocardiograph and its clinical applications. *Jpn Circ J* 1968; **32**: 149 - 160
 - 12) 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
 - 13) Sasaki A, Arai T, Shigeta H, Ibukiyama C: Comparison of spatial velocity electrocardiogram with resting thallium-201 imaging and echocardiogram in detecting effort angina pectoris. *J Electrocardiol* 1998; **31**(Suppl): 69
 - 14) Sasaki A, Arai T, Shigeta H, Yamashina A: Can effort angina pectoris be diagnosed at rest? *J Am Coll Cardiol* 2000; **35**(Suppl A): 352A
 - 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) Sasaki A, Takimiya A, Arai T, Ibukiyama C: The differential diagnosis between old myocardial infarction and normal subjects with QS pattern. *J Electrocardiol* 1997; **30**(Suppl): 25
 - 17) Arai T, Sasaki A, Shigeta H, Ibukiyama C: Differential diagnosis between old inferior myocardial infarction and normal subjects with abnormal Q waves in and a F leads. *J Tokyo Med Univ* 1998; **56**: 723 - 730(in Jpn with Eng abstr)
 - 18) Frank E: An accurate, clinically practical system for spatial velocity electrocardiography. *Circulation* 1956; **13**: 737 - 749
 - 19) Harumi K, Burgess MJ, Abildskov JA: A theoretic model of the T wave. *Circulation* 1966; **34**: 657 - 668
 - 20) 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
 - 21) Miller WT , Geselowitz DB: Simulation studies of the electrocardiogram: . The normal heart. *Cir Res* 1978; **43**: 301 - 315
 - 22) Geft IL, Fishbein MC, Ninomiya K, Hashida J, Chauv E, Yano J, Y-Rit J, Genov T, Shell W, Ganz W: Intermittent brief periods of ischemia have a cumulative effect and may cause myocardial necrosis. *Circulation* 1982; **66**: 1150 - 1153

