

心機図による虚血性心疾患
の左室等容拡張期時間と左
室収縮時間に関する考察：
とくに冠動脈・左室造影所
見との対比

Mechanocardiographic
studies on left ventricu-
lar isovolumic relaxa-
tion time (IRT) and sys-
tolic time intervals (STIs)
in cases with ischemic
heart disease

藤山 増昭
古賀 義則*
大北 泰夫
戸次 久敏
戸嶋 裕徳
宇津 典彦*

Masuaki FUJIYAMA
Yoshinori KOGA*
Yasuo OHKITA
Hisatoshi BEKKI
Hironori TOSHIMA
Fumihiko UTSU*

Summary

In order to examine the influential factors on IRT and to evaluate the clinical significance of IRT and STIs, 82 cases [10 cases of healthy adults, 18 cases with angina and 54 cases with old myocardial infarction (MI)] were studied by mechanocardiography, and the measurement values were contrasted with mean pulmonary capillary wedge pressure (mPC), findings of coronary angiography and those of left ventriculography. IRT was measured from the beginning of IIA in the phonocardiogram to the O point in the apexcardiogram.

The results were as follows:

1) Significant prolongation of IRT was observed in cases with MI, but not in healthy adults and in cases with angina. However, IRT was within 130 msec in 92% of MI with mPC higher than 15 mmHg, indicating that the elevated LA pressure would be the shortening factor of IRT (Fig. 2, 3).

2) Under the influence of mPC, IRT was altered by the presence of coronary lesions and LV asynergy, and was related to ejection fraction (EF); IRT was proportional to EF in MI with mPC higher than 15 mmHg ($r=0.71$), while it was inversely proportional in cases with mPC less than 15 mmHg ($r=-0.42$), suggesting that the decreased cardiac function might act as a lengthening factor on IRT (Fig. 4, 5, 6).

3) Similarly, PEP/ET was related to coronary lesions and LV asynergy, and closely correlated to EF ($r=-0.74$). However, PEP/ET was not a useful indicator of elevated mPC or the severity in

久留米大学医学部 第三内科
同 循環器病研究所
久留米市旭町 67 (〒830)

The Third Department of Internal Medicine, *Institute
of Cardiovascular Diseases, Kurume University,
School of Medicine, Asahimachi 67, Kurume 830

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978
Received for publication November 24, 1978

each case with MI, although it was related to mPC ($r=0.52$) (Figs. 2~6).

4) Therefore, we concluded that the combined evaluation of IRT and PEP/ET appeared to be more meaningful than the use of the individual value of IRT (more than 130 msec) or PEP/ET (more than 0.41) for the clinical assessment of IHD (Table 1, Fig. 7).

Key words

Ischemic heart disease

Isovolumic relaxation time

Systolic time interval

はじめに

心疾患における収縮期時相分析の有用性は、左室収縮時間 (STI) を中心に、その限界性とともに、ある程度明らかにされた感がある¹⁻⁸⁾。一方、拡張期時相に関しては、等容拡張期時間 (IRT) を中心に種々の意見をみるが、方法論的な問題もあり、その臨床評価も画一化されたとはいえない⁹⁻¹⁷⁾。

本研究の目的は、虚血性心疾患、とくに陳旧性心筋梗塞を中心に、日常繁用される心尖拍動図 (ACG) から IRT を求め、心内圧、冠動脈、左室造影所見と比較し、IRT 変化に關与する諸因子を検討するとともに、STI、とくに PEP/ET と IRT とを組み合わせて分析することの臨床的有用性を検討することである。

対象および方法

心カテーテル検査を施行した 30 歳以上 70 歳以下の 82 例を対象とした。正常群 10 例 (平均年齢 53 歳)、冠動脈に異常所見を有する狭心症群 18 例 (平均年齢 52 歳)、心筋梗塞群 54 例 (平均年齢 51 歳) であり、年齢差はなく全例洞調律である。心筋梗塞群 (以下 MI) は発作から 2.5 カ月ないし 12 カ月以内に心臓カテーテル検査を施行し、冠動脈所見はその実測値で 50% を越える狭窄を有意とし、左室造影上の壁運動異常は AHA 分類に従った。心機図は心カテ前後 1 週間内に、被検者を仰臥位または左側臥位の呼気停止下に、Siemens Mingography 6 channel を用い、paper speed 100 mm/sec で記録した。心音図はフクダ電子製 MA-250 マイク、脈波は同社製 TY-303 ピック

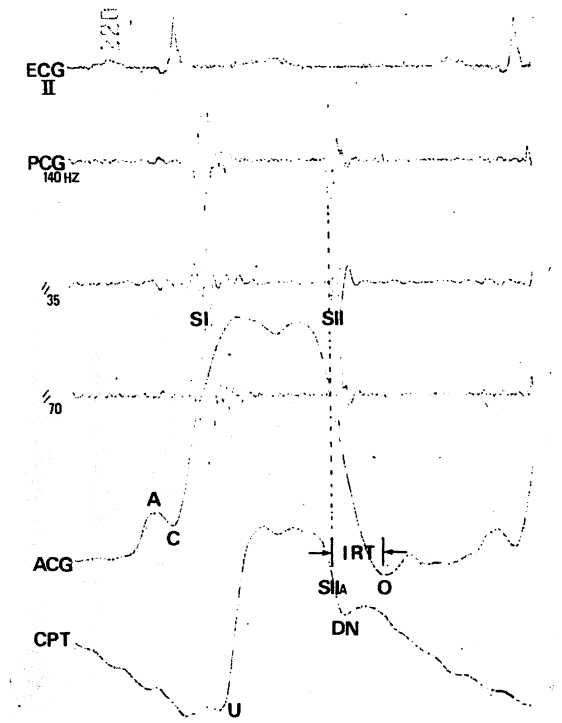


Fig. 1. Measurement of isovolumic relaxation time (IRT) by simultaneous recording of electrocardiogram (ECG), phonocardiogram (PCG), apexcardiogram (ACG) and carotid pulse tracing (CPT).

IRT is measured from the beginning of IIA in PCG to the O point in ACG.

アップ (時定数 3 秒以上) を用いた。なお 50/分以下の徐脈、100/分以上の頻脈、高血圧、弁障害、shunt 合併例、脚ブロック例、negative inotropic drug 使用例は除外した。MI 中 5 例ではジギタリスが使用されていた。STI は Weissler の方法

に従い¹⁾ QII_A と $LVET$ の差を PEP として PEP/ET を算出し、 IRT は大動脈 II 音開始時から明らかな O 点までの時間として (Fig. 1), 両者とも心拍数補正は行わなかった。

結 果

Fig. 2 は正常, 狭心症, 心筋梗塞 (MI) 各群の IRT , PEP/ET を示したものである。いずれも正常群と狭心症群間には有意差を認めないが, MI では正常, 狭心症群に比し両者とも有意に延長した。しかし, MI にも IRT 正常例が多くみられた。そこで IRT に影響すると考えられる左房圧の代用として平均肺動脈楔入圧 (mPC) をと

り, IRT との関係を見ると (Fig. 3 a), MI 全例では実線のように有意の相関はないが, mPC 15 mmHg 以上の 13 例では, 1 例を除き (92%) 130 msec 以下を示し, 破線のごとく統計的有意差はなかったものの, かなりの負相関傾向をみた。一方, mPC 15 mmHg 以下のものでは相関はなかった。 PEP/ET と mPC の関係では (Fig. 3 b) 有意な正相関をみたが, 個々の例では, IRT と同様, 必ずしも mPC の高さを反映していなかった。

Fig. 4 は心機図計測値と冠動脈所見との比較検討である。上段 a, b は冠動脈病変を一枝, 二枝, 三枝障害に分けてみたものであるが, IRT は

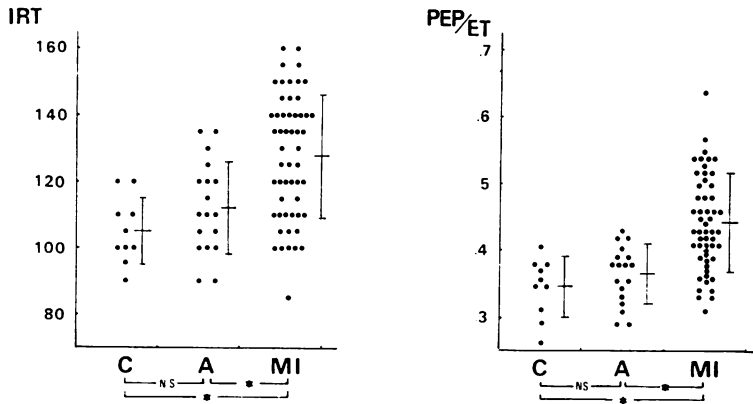


Fig. 2. IRT and PEP/ET in each group. C=control (healthy adult); A=angina; MI=old myocardial infarction; ★=significant ($p < 0.01$).

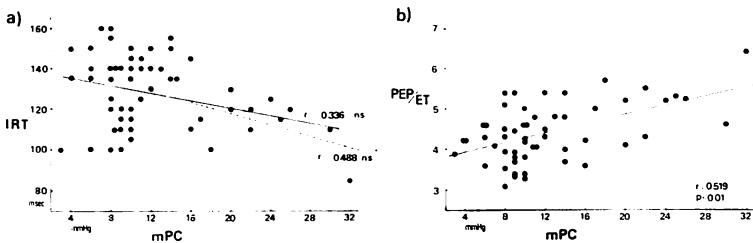


Fig. 3. Correlation between IRT and mean pulmonary capillary wedge pressure (mPC) in cases with MI (a), and correlation between PEP/ET and mPC (b).

Solid line shows a correlation in all cases with MI, and dotted line shows a correlation in selected cases of MI with mPC higher than 15 mmHg.

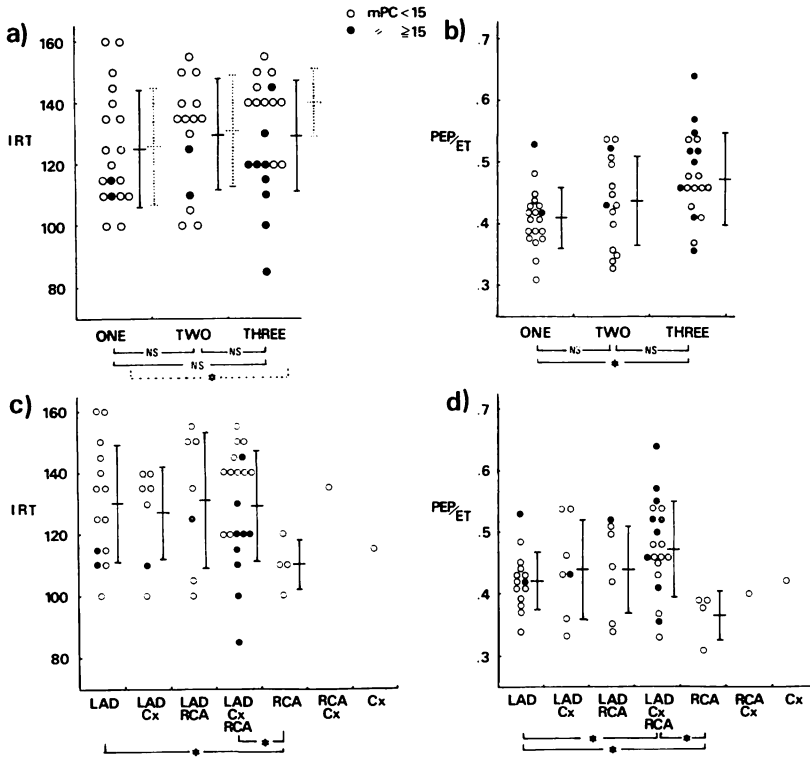


Fig. 4. Relationships between IRT or PEP/ET and the degree of coronary artery involvement.

Comparison between one, two and three vessel disease (a, b), and comparison of the involvement site of coronary artery (c, d).

Open symbols show the cases with mPC less than 15 mmHg, and closed symbols show the cases with mPC higher than 15 mmHg.

LAD=left anterior descending branch; Cx=circumflex branch; RCA=right coronary artery.

いずれも正常群に比し有意に延長していた。各群の IRT には有意差はないが、三枝障害に mPC 15 mmHg 以上の重症例が多く (Fig. 4 a の黒丸), それらは前述のごとく正常域にあり, これを除外すると破線で示すごとく, 一枝, 三枝間に有意差をみた。PEP/ET も一枝, 三枝間に有意差をみた。

冠動脈障害部別にみると (Fig. 4 c, d), LAD 単独ないし合併例では, IRT, PEP/ET のいずれも正常群に比し有意に延長していたが, RCA 単独障害間には差はなかった。また c のごとく, IRT では LAD 単独, LAD を含む三枝障害と,

RCA 単独障害間に有意差をみた。PEP/ET は d のごとく, LAD 単独, 三枝障害と, RCA 単独障害との間, また LAD 単独と三枝障害との間に有意差を示した。

つぎに, AHA 分類の左室第 2, 第 3 分画, すなわち左室前側壁, 心尖部の壁運動と, IRT, PEP/ET との関連を検討した (Fig. 5)。なお mPC 15 mmHg を境として 2 分し, normal (N) と reduced (R), dyskinetic (D) と aneurysmal (A) を同一部に示した。15 mmHg 以下の例で見ると, N-R と none (No), D-A 間に有意差を認めたが, No と D-A 間には差はなかった。15

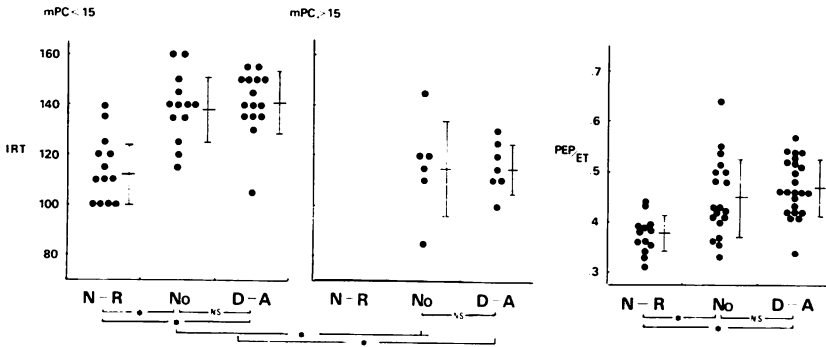


Fig. 5. Comparison between IRT, PEP/ET and anterolateral, apical movements in LV angiography.

N=normal; R=reduced; No=none; D=dyskinetic; A=aneurysmal according to the AHA classification.

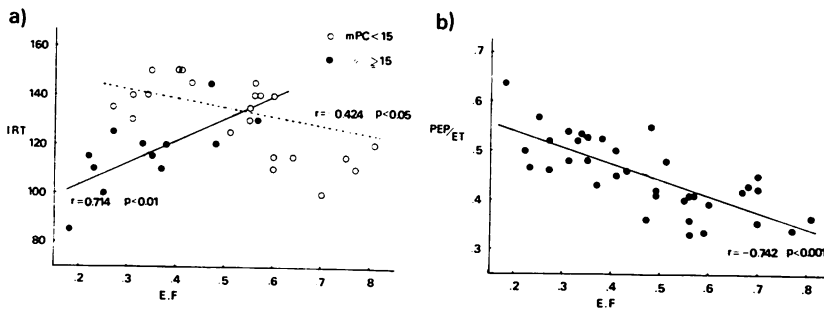


Fig. 6. Correlation between IRT and ejection fraction (EF) (a) and correlation between PEP/ET and EF (b).

EF is measured by Dodge's method using LV angiography.

mmHg 以上の例では、N-R は 1 例もなく、No と D-A 間に有意差はなかった。しかし、No と D-A の mPC 15 mmHg 以下と以上との間には有意差を認めた。PEP/ET も IRT の結果と同様に、N-R と No、D-A 間に有意差を認めたが、No と D-A 間に差を認めなかった。

そこで左室造影第 1 斜位像から Dodge 法にて求めた駆出率と心機図計測値との関連をみると (Fig. 6), mPC 15 mmHg 以下の白丸で示したものは、IRT と駆出率との間に弱い負の相関 ($r = -0.42$) を得、一方、黒丸の mPC 15 以上の例では $r = 0.71$ という高度の正相関を認めた。

PEP/ET では $r = -0.74$ という高度の負相関を得た。

以上のごとく、IRT は mPC の影響を強く受けながらも、同時に梗塞部位、左室壁運動異常の有無、そして駆出率ないしは心ポンプ機能を現すと考えられる。また PEP/ET も mPC、梗塞部位、壁運動、駆出率と関連する所見を得た。しかし、いずれも単独で臨床評価に供するには、mass に対しては有効だが、個々の症例に対しては不十分であり、以下、両者の組み合わせによる分析の有用性を検討した。

各群の平均値とその偏位から、PEP/ET 0.41,

Table 1. Number of cases with MI summarized in comparison with PEP/ET and IRT

		PEPET 0.41	↑	↓	↓	↓
		IRT 130	↑	↓	↓	↓
N-R						
mPC \geq 15	No		5	1		
	D-A		7			
N-R						
mPC <15	No	6	4	3		
	D-A	14				1

Arrows indicate increased or decreased values in the respective measurement. The materials are grouped by mPC and the findings in LV angiography. Abbreviations: see Fig. 5.

IRT 130 msec を境界値とし、その増減と mPC 15 mmHg 前後での左室第2, 第3分画の壁運動を比べたものが **Table 1** である。mPC 15 mmHg 以上では N-R 群は1例もなく、また両者の値がともに上昇、または低下(正常)するものもなかった。No や D-A という強い壁運動異常を有するものでは、1例を除き PEP/ET は上昇、IRT は低下(正常化)を示した。mPC 15 以下の例でみると、N-R 群では両者とも多くは低下しているが、4例の偏位をみ、No では両者とも低下するものはないが、その増減は多少変化に富んでいた。D-A 群では、1例を除き、両者とも上昇していた。

IRT を横軸、PEP/ET を縦軸とし、虚血性心疾患の諸病態をみたものが **Fig. 7a**、これを基に図式化したものが **b** である。なお、境界値としては、PEP/ET 0.41, IRT 130 を用いた。PEP/ET, IRT とともに正常範囲の左下(図表の A)には正常、狭心症群、および左室第2, 第3分画の壁運動正常、また心機能が正常範囲で mPC も 15 mmHg 以下、NYHA 分類 I~II 度の MI 例などが位置した。この MI は RCA 一枝障害を

主とするが、LAD, Cx 単独障害の数例も含まれる。PEP/ET, IRT とともに延長を示す右上(図表の B)に位置するのは、LAD 単独障害ないしその合併例で、壁運動異常を有し、駆出率の低下はあるが mPC 15 以下のもの、NYHA 分類 II~III 度の MI であった。PEP/ET の上昇、IRT 低下(正常)の左上(図表の C)の領域には、壁運動異常を有し、駆出率が低下し、mPC 15 mmHg 以上の重症 MI が位置し、多くは三枝障害で、NYHA 分類 III~IV 度の例であった。

考 案

非観血的心時相分析の検討において、新しい指標の検索も重要であるが、そのさいにおいても、まず対象疾患をある程度限定し、その病態(心筋梗塞においては発症からの時期)、重症度を念頭に入れ、その時相に關与する諸因子をできるだけ steady な状態下におき観血的所見と対比することが、mass として分析しがちな現状の打解策の1つではないかと思う。そこで、本研究では STI として、心拍数の影響が少なく、一般に心機能の表示^{1,2,4,7)}として評価の定まった PEP/ET を用い、再検討した。また、本研究は同時に ACG の IRT (IIA-O time) に關与する諸因子を検索する目的もあり、心内圧、冠動脈、左室造影所見と対比した。

その結果、陳旧性心筋梗塞では以下のことがいえる。

- 1) Mass としては IRT の有意延長をみるが、約半数は正常値を呈する。
- 2) 左房圧の有意上昇は短縮因子として働く。
- 3) IRT は左房圧に強く影響されながらも、同時に梗塞部位、左室壁運動異常の有無、駆出率の増減で変化する。すなわち、梗塞部の壁運動異常にて駆出率が低下しても、左房圧が正常域にあれば IRT は延長するが、左房圧が有意に上昇すると、IRT の正常化をみる。故に、心機能低下は IRT の延長因子として働くと考えられる。
- 4) 同様に、PEP/ET も左房圧との関連を有し、

全体または一部を含む IIA-O 時間は, total な拡張早期(弛緩)時間として, その有用性を評価できるかもしれない^{19,27)}.

真の IRT 測定は, 観血的にも, さらにまた非観血的にも困難であり, その表示に問題は多いものの, 本研究では IIA-O 時間を IRT として使用, 表示した. 今回の IRT が他の方法の値^{15,16,37)}より長いのはおもに以上の理由に基因するが, 今回測定した正常値は ACG による諸家の値とほぼ一致した^{10,13,14,23,24)}. しかし今回の IRT 正常境界値とした 130 msec はさらに検討を要する^{13,14)}.

2. IRT の関与因子について

従来, 左室 IRT に影響する因子として, 左室弛緩速度, 大動脈弁閉鎖時左室圧(または大動脈切痕圧), 僧帽弁開放時左房圧等があげられている^{10,11,16)}. 今回の研究では, 高血圧例を除外しており, 大動脈弁閉鎖時の左室圧, ないし大動脈切痕圧の影響は一応少ないものとして検討を加えなかった³⁷⁾. 左房圧の反映として mPC を用い検討したが (Fig. 3), 左房圧の有意上昇は IRT の短縮因子として働くことを再認した^{10,11)}. IRT の変化が従来の報告のごとく^{16,26)} おもに左房圧と左室弛緩速度との大小で決まるとすると, mPC 15 mmHg 以上の有意上昇例では, その弛緩速度低下による IRT 延長を左房圧上昇の短縮作用が凌駕し, IRT の正常化をみたといえるかもしれない.

一方, 左室壁運動異常の有無, 心ポンプ機能を表す左室駆出率と IRT との間に高度の相関をみたことは, Benchimol ら¹⁰⁾の報告のように, IRT が心機能に左右されることを示している. また, IRT は心収縮性指標ともある程度 parallel に動き^{25,27,28)}, 常にその変化は心筋弛緩速度等の拡張早期の表現以外に, 収縮期諸現象, また total な心機能変化に関係あると考えられる. その意味では, ACG の IRT は, 左室 maximum negative dP/dt と同様の現象をとらえている可能性が高く^{25,29,30)}, 対象例にもよるが, 拡張早期指標,

弛緩期指標として限定評価することには問題が多い^{18,27)} (なお IRT と左室 maximum negative dP/dt とは, MI において弱い相関をみるに過ぎない²⁷⁾). しかし, 以上から等容収縮期指標, 心機能変化が弛緩速度を規定し, IRT は弛緩速度によって直接左右されないと断定するものではない. 収縮, 拡張という一連の心動態に, その両期現象が相互に影響し合うことは当然予想され²⁷⁻³²⁾, 互いにどのような形でどの程度関与し合うか, また独立した指標が存在するかどうかは今後観血的検査上でも残された問題であろう. 今回の結果からも, 程度の差はあれ, その相互影響の存在することは, 改めて銘記すべきと思う.

3. IRT の臨床評価

このように, IRT に関与する因子は種々であるが, 今回 IRT は左房圧 (Fig. 3 a), 左室壁運動 (Fig. 5), 駆出率ないし心機能 (Fig. 6 a), 心収縮性^{25,27,28)}, 左室弛緩速度^{16,25-27)}に関連するものとして, また, PEP/ET は左房圧 (Fig. 3 b), 壁運動³⁾ (Fig. 5), 心ポンプ機能^{1,33)} (Fig. 6 b), 心収縮性³⁴⁻³⁶⁾に関連するものと考え, それぞれを横軸, 縦軸に IHD, MI の諸病態を検索し, ある程度の臨床評価を期することができた (Fig. 7). 同様の表示は IHD 以外に, 高血圧性心臓病, 特発性心筋症その他の心筋疾患, またこれらの心不全にも代用が可能と思われる. すでに仁村ら³⁷⁾はドップラー法にて PEP と IRT による表示を発表している. 本研究もそれとほぼ同意であるが, 心機図が日常臨床に繁用されていること, PEP/ET 0.41, IRT 130 を境界値とする本表示法は, さらに臨床的に有用ではないかと考える.

ま と め

虚血性心臓病, とくに陳旧性心筋梗塞 (MI) を中心に, 心尖拍動図を用いた IIA-O 時間を左室等容拡張期時間 (IRT) とし, これに関与する因子を心内圧, 冠動脈, 左室造影所見から検索し, 以下の結果を得た.

1) MI では IRT の有意延長をきたすが, 正

常域にあるものも少なくない。

- 2) 左房圧上昇は IRT の短縮因子として働く。
- 3) IRT は左房圧に強く影響されながらも、同時に梗塞部位、左室壁運動異常の有無、駆出率の変化に伴って動く。IRT 延長因子として、心機能低下が考えられた。

同様に、左室収縮時間 (STI) として用いた PEP/ET も左房圧との関連を有し、梗塞部位、壁運動異常、駆出率を表すが、おのおの単独で評価するより、IRT と PEP/ET とを組み合わせ評価することがそれぞれの長所を出し、欠点を補うことができ、虚血性心臓病、とくに MI の心機能、重症度分析に有用と思われた。

文 献

- 1) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Bed-side technics for the evaluation of ventricular function in man. *Amer J Cardiol* **23**: 577-583, 1969
- 2) Stack RS, Lee CC, Reddy BP, Taylor ML, Weissler AM: Left ventricular performance in coronary artery disease evaluated with systolic time intervals and echocardiography. *Amer J Cardiol* **37**: 331-339, 1976
- 3) Büyüköztürk K, Kimbiris D, Segal BL: Systolic time interval. Relation to severity of coronary artery disease, intercoronary collateralization and left ventricular dyskinesia. *Amer J Cardiol* **28**: 183-190, 1971
- 4) Lewis RP, Doudoulas H, Welch TG, Forester WF: Usefulness of systolic time intervals in coronary artery disease. *Amer J Cardiol* **37**: 789-796, 1976
- 5) Parker ME, Just HG: Systolic time intervals in coronary artery disease as indices of left ventricular function: fact or fancy? *Brit Heart J* **36**: 368-376, 1976
- 6) Hodges M, Halpern BL, Friessinger GC, Dagenais GR: Left ventricular preejection period and ejection time in patients with acute myocardial infarction. *Circulation* **45**: 933-942, 1972
- 7) 幸治隆一, 竹沢正気, 竹沢英郎, 北村尚臣, 角田裕, 浜田正行, 小寺 崇, 洞山典久, 伊藤早苗: 虚血性心疾患の左室収縮時間について. *J Cardiography* **6**: 543-550, 1977
- 8) 宮武邦夫, 津田定成, 河村信治, 大野穰一, 高橋良夫, 杉田 実, 松尾裕英, 榑原 博, 仁村泰治: 虚血性心疾患の心機能: 超音波ドプラ法による心時相分析. *Cardiovascular Sound Bull* **3**: 411-419, 1973
- 9) 坂本二哉: 心尖拍動図法. 呼吸と循環 **18**: 243-255, 1970
- 10) Benchimol A, Ellis JG: A study of the period of isovolumic relaxation in normal subjects and in patients with heart disease. *Amer J Cardiol* **19**: 196-206, 1967
- 11) Gray W, Bell H: 2-0 interval as an indicator of left atrial pressure. *Chest* **62**: 553-556, 1972
- 12) Austin TW, Ahuja SP, Boughner DR: A traumatic study of left ventricular events following acute myocardial infarction. *Amer J Cardiol* **29**: 745-748, 1972
- 13) Wikstrand J, Berglund G, Wilhelmsen L, Wallentin I: Value of systolic and diastolic time intervals studies in normotensive and hypertensive 50-year-old men and in patients after myocardial infarction. *Brit Heart J* **40**: 256-267, 1978
- 14) Wayne HH: Noninvasive Technics in Cardiology. Year Book Medical Publishers, New York, 1973, p. 155-215
- 15) 梅田 徹, 尾本良三, 古田昭一, 町井 潔, 松田光生, 山口 徹: UCG, 心音図, 頸動脈波曲線による左室等容性収縮期, 等容性拡張期の計測とその意義. *心臓* **7**: 325-330, 1975
- 16) 榑原 博, 津田定成, 宮武邦夫, 河村信治, 永田正毅, 別府慎太郎, 浅生雅人, 大森文夫, 松尾裕英, 仁村泰治: 虚血性心疾患の等容性弛緩時間に関する考察; 超音波ドプラ法による検討. *J Cardiography* **6**: 673-681, 1976
- 17) Willems JL, de Geest H, Kesteloot H: On the value of apex cardiography for timing intracardiac events. *Amer J Cardiol* **28**: 59-66, 1971
- 18) 古賀義則, 藤山増昭, 戸嶋裕徳: 心音図, 心エコー図同時記録による等容弛緩期 (IRT) の検討. 心尖拍動図, 左房圧, 大動脈圧との関係について. 第45回日循会九州地方会発表. 1978
- 19) Prewitt T, Gibson D, Brown D, Sutton G: The 'rapid filling wave' of the apex cardiogram. *Brit Heart J* **37**: 1256-1262, 1975
- 20) 友田春夫, 岡部真也: 臨床例における左室拡張性にかんする研究. *日内会誌* **66**: 14-21, 1977
- 21) 加藤 洋, 吉川純一, 大脇 嶺, 柳原皓二, 奥町富久丸, 高木義博, 李 英徹, 笠 正明, 田中久米夫: 僧帽弁狭窄の重症度判定における心音図; その臨床的評価の再検討. *J Cardiography* **6**: 469-476, 1976
- 22) Konecke LL, Feigenbaum H, Chang S, Corya BC, Fischer JC: Abnormal mitral valve motion in patients with elevated left ventricular diastolic

- pressure. *Circulation* **47**: 989-996, 1973
- 23) Jain SR, Lindahl J: Apex cardiogram and systolic time intervals in acute myocardial infarction. *Brit Heart J* **33**: 578-584, 1971
 - 24) Harmjan D, Bottcher D, Schertlein G: Correlations of electrocardiographic pattern, shape of ventricular septum, and isovolumetric relaxation time in irregular hypertrophic cardiomyopathy (obstructive cardiomyopathy). *Brit Heart J* **33**: 928-937, 1971
 - 25) Manolas J, Rutishauser W: Relation between apex cardiographic and interval indices of left ventricular relaxation in man. *Brit Heart J* **39**: 1324-1332, 1977
 - 26) 松尾裕英, 浜中康彦, 高橋良夫, 松本正幸, 宮武邦夫, 浅夫雅人, 仁村泰治: 特発性心筋症の心時相についての検討. *Cardiovasc Sound Bull* **4**: 425-434, 1974
 - 27) 藤山増昭, 古賀義則, 戸嶋裕徳: 拡張期時相に関する研究: 第二報, 左室等容拡張期時間に及ぼす因子の検討. 第45回日循会九州地方会 1978
 - 28) Palacios L, Powell WJ: Effect of acute global ischemia on diastolic relaxation in canine hearts. *Amer J Cardiol* **39**: 282, 1977 (abst)
 - 29) Cohn PF, Liedtke AJ, Serue J, Sonnenblick EH, Urshel CW: Maximal rate of pressure fall (peak negative dP/dt during ventricular relaxation). *Cardiovasc Res* **6**: 263-267, 1972
 - 30) Weisfeldt ML, Scully HE, Frederiksen J, Rubenstein JJ, Pohost GM, Beierholm E, Bello AG, Daggett, WM: Hemodynamic determinants of maximum negative dP/dt and periods of diastole. *Amer J Physiol* **227**: 613-621, 1974
 - 31) Parmley WW, Sonnenblick EH: Relation between mechanics of contraction and relaxation in mammalian cardiac muscle. *Amer J Physiol* **216**: 1084-1091, 1969
 - 32) Meerson FZ, Kapelko VI: The significance of the inter-relationship between the intensity of the contractile state and the velocity of relaxation in adapting cardiac muscle to function at high work loads. *J Mol Cell Cardiol* **7**: 793-806, 1975
 - 33) Garrard CL Jr, Welssler AM, Dodge HT: The relationship of alterations in systolic time intervals to ejection fraction in patients with cardiac disease. *Circulation* **42**: 455-462, 1970
 - 34) Ahmed SS, Levinson GE, Schwartz CJ, Ettinger PO: Systolic time intervals as measures of the contractile state of the myocardium in man. *Circulation* **46**: 559-571, 1972
 - 35) McConahay DR, Martin CM, Cheitlin MD: Resting and exercise systolic time intervals. Correlations with ventricular performance in patients with coronary artery disease. *Circulation* **45**: 592-601, 1972
 - 36) 幸治隆一: 心筋障害の非観血的評価, 心機図を中心として: 左室 STI. *脈波* **5**: 176-179, 1975
 - 37) Nimura Y, Matsuo H, Mochizuki S, Aoki K, Wada O, Abe H: Analysis of a cardiac cycle of the left side of the heart in cases of left ventricular overloading or damage with the ultrasonic Doppler method. *Amer Heart J* **75**: 49-65, 1968
 - 38) Kalmanson D, Veyrat C, Bernier A, Witchitz S, Chiche P: Opening snap and isovolumic relaxation period in relation to mitral valve flow in patients with mitral stenosis. Significance of A₂-OS interval. *Brit Heart J* **38**: 135-136, 1976
 - 39) Laniado S, Yellin E, Kotler M, Levy L, Stadler J, Terdiman R: A study of the dynamic relations between the mitral valve echogram and phasic mitral flow. *Circulation* **51**: 104-113, 1975