

心プール ECT による右室
駆出分画の算出と右室局所
壁運動の評価

Right ventricular ejection and regional wall motion evaluated by cardiac blood pool emission computed tomography

成瀬 均
藤末 龍
大柳 光正
藤堂 泰宏
立石 順
川本日出雄
谷本 真穂
岩崎 忠昭
福地 稔*

Hitoshi NARUSE
Ryu FUJISUE
Mitsumasa OHYANAGI
Yasuhiro TODO
Jun TATEISHI
Hideo KAWAMOTO
Masaho TANIMOTO
Tadaaki IWASAKI
Minoru FUKUCHI*

Summary

Calculating right ventricular (RV) ejection fraction (EF) is difficult because of geometrical problems such as irregular trabeculations, a separate infundibulum, and variations in the right ventricular shape. We performed ^{99m}Tc ECG-(dual)gated cardiac blood pool emission computed tomography (ECT) in 10 patients with ischemic heart disease, three patients with dilated cardiomyopathy (DCM), and eight normal subjects as controls, and RVEF and % shortening of the RV were calculated to evaluate right ventricular function.

Methods were as follows:

1) RVEF: The region of interest (ROI) of the RV was determined on reconstructed short-axial images, and then the RV counts in the ROI were summed from the apical slice to the RA-RV boundary slice.

$$\text{RVEF (\%)} = \frac{\text{total end-diastolic RV counts} - \text{total end-systolic RV counts}}{\text{total end-diastolic RV counts}} \times 100$$

2) % shortening of the RV: At the RV mid-portion, the contour from the short-axial image was obtained using the threshold method; the end-diastolic contour was superimposed on the end-systolic contour, and then shortenings in the RV free wall and septum respectively, were calculated.

兵庫医科大学 第一内科

*同 RI センター診療部

兵庫県西宮市武庫川町 1-1 (〒663)

The First Department of Internal Medicine and *RI center, Hyogo College of Medicine, 1-1, Mukogawa-cho, Nishinomiya, Hyogo 663

Received for publication October 2, 1986; accepted November 17, 1986 (Ref. No. 32-K3)

To evaluate reliability of RVEF obtained by this method, left ventricular ejection fraction (LVEF) calculated using the same method was compared with results obtained by the previously validated method: There were significant correlations with contrast cineangiography ($r=0.69$) and the conventional multigated method ($r=0.90$), respectively.

Cases with decreased RVEF showed a variety of right ventricular abnormal findings, including positive uptake on ^{99m}Tc -PYP scintigraphy, occlusion of the right coronary artery, RV dilatation on echocardiography. The mean RV free wall shortening in the decreased RVEF group was lower than that of the normal group ($p<0.01$), whereas there was no significant difference in the decreased LVEF group. Mean septal shortening in both the decreased RVEF and decreased LVEF groups was lower than that of normal controls ($p<0.05$).

Thus we concluded that the cardiac blood pool ECT is a reliable method for calculating RVEF; the cause of decreased RVEF is not only septal hypokinesis and the effect of left ventricular dysfunction, but hypokinesis of the RV free wall as well. This method is of greater advantage for the geometrical problem and separation of the ventricles as compared with other methods.

Key words

Right ventricular ejection fraction
computed tomography

Right ventricular regional wall motion

Cardiac blood pool emis-

緒 言

右室梗塞^{1,2)}を初めとする虚血性心疾患, 弁膜症, 肺塞栓症, 肺性心³⁾等, 右心機能の評価が重要と考えられる疾患は多く存在しながら, その評価は右室の形態的特性等の問題により, 困難な事が多い. たとえば心臓カテーテル法では, 左室を回転楕円体と想定してその駆出分画を算出可能であるが, 右室では形態の違いがあり, 同じ方法で算出するには問題がある. これに対し, RI を用いる方法は容積変化をカウントの変化として扱うため, その形態に関係なく駆出分画を算出できる反面, 従来の平衡時法^{4,5)}では, 房室間の分離が困難であった.

今回我々は, 形態学的特性や心房の影響を受けずに右心機能の評価を行う目的で, 心電図同期心プール ECT (以下心プール ECT) を用い, 右室駆出分画 (RVEF) の算出および右室局所壁運動の評価を行い, 臨床的検討を加えたので報告する.

対 象

対象は 1985 年に当科へ入院した心疾患患者のうち, 心臓カテーテル検査および心プール ECT

を行った 13 例である. 内訳は前壁心筋梗塞 6 例, 下壁心筋梗塞 3 例, 拡張型心筋症 3 例, A-C bypass 術後 1 例で, 男性 8 例, 女性 5 例, 年齢は 41 歳から 68 歳, 平均 57 歳であった. 対照として, 病歴, 心電図, 心エコー図, 心臓カテーテル法による左室造影および冠動脈造影等で異常の無い事を確認した 8 例 (男性 4 例, 女性 4 例, 平均年齢 52 歳) を選んだ.

方 法

1. RVEF 算出

^{99m}Tc 25 mCi 静注による赤血球 in vivo 標識⁶⁾を行い, 撮像には GE 製 MaxiCamera 400 A/T を用い, 心電図同期, gate 幅 60 msec で, 拡張および収縮末期に 360 度/64 方向よりデータの集積を行った. データ処理には核医学データ処理システム MaxiStar を用い, 体軸横断像より短軸像, および水平, 垂直長軸像を作成した (スライス幅 0.6 cm/1 pixel). RVEF 算出の方法は短軸像で拡張末期, 収縮末期の右室 ROI を設定し, 心房・心室間より心尖部までの各スライスにおいて ROI 中の count を合計した (Fig. 1). このときバックグラウンドの影響を取り除くため, global

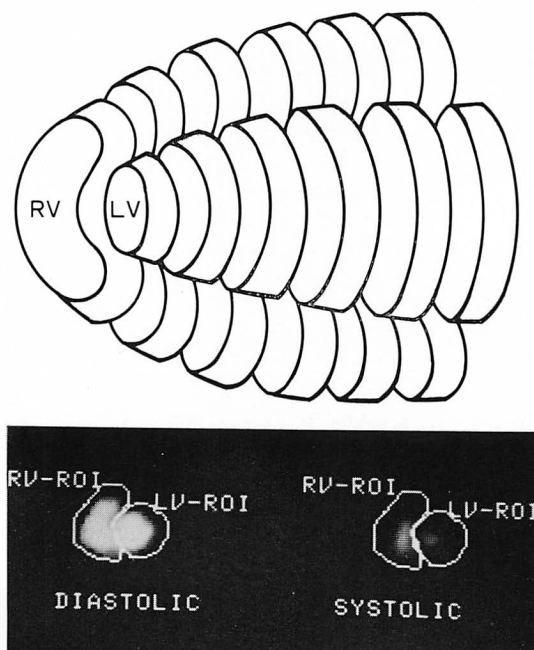


Fig. 1. Schema of reconstructed short-axial slices using cardiac blood pool ECT (upper), and the region of interest in end-diastolic and end-systolic phases (lower).

The right ventricular counts in the region of interest (ROI) from the apical slice to boundary slice are summed and right ventricular ejection fraction (RVEF) is calculated by the following formula:

$$\text{RVEF (\%)} = \frac{\text{total end-diastolic RV counts} - \text{total end-systolic RV counts}}{\text{total end-diastolic RV counts}} \times 100$$

max count の 45% 以上の部分について計算した。また右房・右室間の境界は水平および垂直長軸像を参考にして決定し (Fig. 2), RVEF は (拡張末期 count - 収縮末期 count) / 拡張末期 count $\times 100$ として求めた。

2. 右室局所壁運動

心室中央部の短軸像において、65% の閾値レベルで右室の辺縁抽出を行い、拡張末期、収縮末期の辺縁を空間上の同じ点で重ねあわせた。Fig. 3 の上段は正常例における拡張期、収縮期それぞれのイメージで、中段は抽出した辺縁であり、また下段左は拡張期と収縮期の合成像である。右室局所壁運動の評価法を下段右に示す。拡張期短軸像の中央部で短径の中点を拡張期の中心点 M とし、拡張期の辺縁までの長さを a とした。同じ線上で

右室自由壁、心室中隔それぞれの拡張期と収縮期における差を求め、b (free wall), c (septum) とした。その b/a を自由壁の短縮率 (shortening), c/a を心室中隔の短縮率とし、百分率で表した。なお有意差検定は unpaired t-test にて行った。

結 果

1. RVEF 算出

心プール ECT による RVEF 算出の妥当性を検討するために、RVEF 算出法と同様に、左室の房室レベルから心尖部までの左室各スライス ROI 中カウントより LVEF を算出し、他の方法による LVEF と比較した結果、心臓カテーテル法と $r=0.69$, 従来の心プール法と $r=0.90$ の有意の相関が得られ、本法による EF 算出は十分妥当

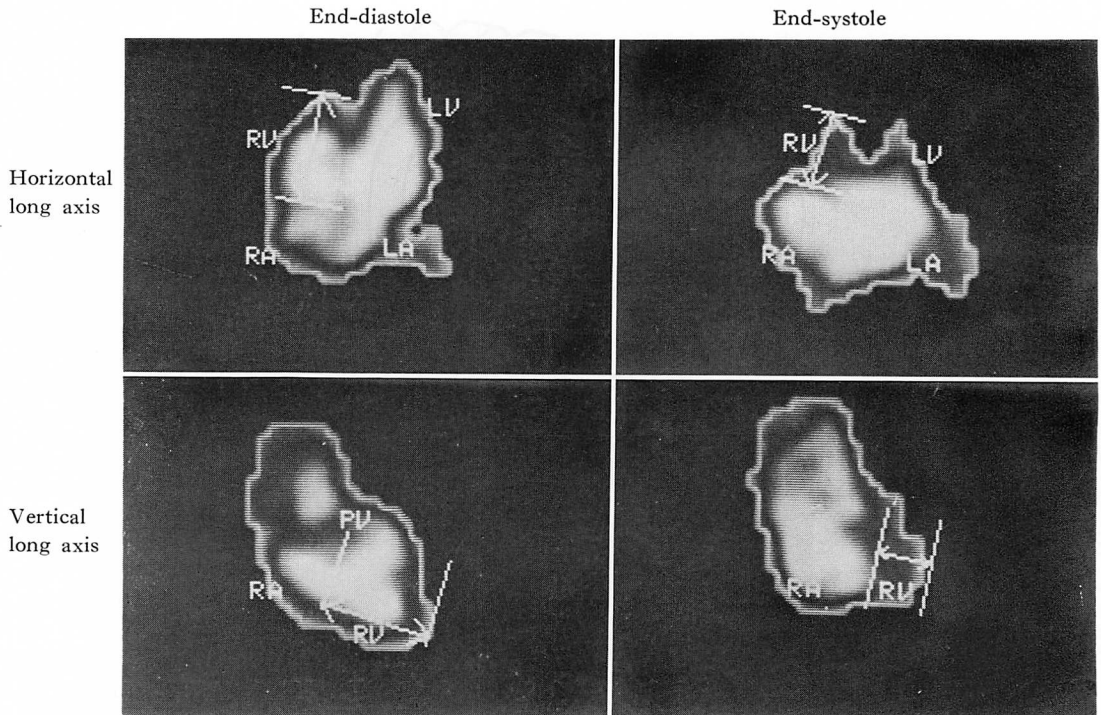


Fig. 2. Determination of boundary slice between the right atrium and ventricle.

性があると考えられた (Fig. 4). 次に臨床例 13 例での検討では, RVEF が 8 例の正常者から求めた正常下限 (40%) よりも低下している 10 例 (平均 RVEF: $29 \pm 10\%$) の内訳は, ピロリン酸心筋シンチや右心カテーテル等で右室梗塞と診断された 2 例, 胸部レントゲン像, 心エコー図法等で両室の拡大が見られた拡大性心筋症 3 例 (冠動脈正常), 右冠動脈起始部や右室枝に有意狭窄のある左室梗塞 3 例であった. しかし症例 4, 5 の 2 例では特に右室の障害所見はなかった (Table 1). 症例 4 は左冠動脈の 2 枝病変例で, TI-201 心筋イメージでは前壁から心尖部にかけて広範な欠損があり, 心尖部心室瘤を認めた. また症例 5 は正常冠動脈であったが, TI-201 心筋イメージ上, 前壁から心尖部にかけて広範な欠損が認められ, 梗塞後に血栓が再開通したか, 冠動脈攣縮による梗塞等の機序が推察された.

2. 右室局所壁運動

心室中隔と右室自由壁の左室および右室の駆出分画への影響をみるため臨床例 13 例を LVEF 低下群 10 例と RVEF 低下群 10 例に分類し (7 例重複) 短縮率との関係を検討した. EF 低下の基準は正常 8 例から求めた正常下限 (LVEF = 45%, RVEF = 40%) より低下している例とした.

RVEF 低下群の右室自由壁短縮率 (平均 $38 \pm 26\%$) は正常群 (平均 $77 \pm 22\%$) より低値で ($p < 0.01$), LVEF 低下群 (平均 $48 \pm 34\%$) では差がなかった. 中隔の短縮率は RVEF 低下群 (平均 $8 \pm 19\%$), LVEF 低下群 (平均 $-7 \pm 39\%$) とともに正常群 (平均 $42 \pm 31\%$) よりも低値で ($p < 0.05$), 右室自由壁, 中隔ともに RVEF の低下に関与している事が示唆された (Fig. 5).

症例呈示

症例: 52 歳, 男性 (Fig. 6)

Table 1. Clinical findings of 13 cases with decreased ejection fraction

No.	Age	Sex	Diagnosis	Coronary angiography			Other findings	EF Shortening			
				RCA	LAD	Lcx		LV	RV	FW	Sep
1	62	M	A-C bypass	No. 2 (90%) RV (90%)	No. 6 (100%) No. 9 (75%)	No. 13 (90%)	RV dilatation	47	19	25	13
2	65	M	Inferior MI	No. 1 (100%)		No. 14 (75%)	RV dilatation	56	37	75	13
3	61	F	Inferior, RVMI	No. 1 (100%)			Tc-PYP uptake	58	14	20	20
4	55	F	Anterior MI		No. 7 (100%)	No. 14 (75%)		34	37	89	22
5	54	F	Anterior MI	Normal coronary artery				42	40	46	27
6	66	F	Anterior MI	No. 1 (75%) No. 2 (75%)	No. 6 (90%) No. 7 (90%)	No. 13 (90%) No. 14 (90%)		29	37	33	33
7	41	M	DCM	Normal coronary artery			RV dilatation	26	27	31	0
8	47	F	DCM	Normal coronary artery			RV dilatation	33	30	33	13
9	64	M	DCM	Normal coronary artery			RV dilatation	22	12	33	13
10	52	M	Inferior, RVMI	No. 1 (100%)	No. 7 (75%) No. 10 (75%)		Tc-PYP uptake	53	30	7	7
11	68	M	Anterior MI	4 PD (75%)	No. 7 (90%)			25	48	100	100
12	49	M	Anterior MI	4 AV (100%)	No. 9 (100%)	No. 14 (100%)		30	48	30	30
13	57	M	Anterior MI		No. 7 (100%)	No. 14 (99%)		31	48	94	0

Patient No. 1—No. 3: decreased LVEF; Patient No. 4—No. 10: decreased LVEF and RVEF; Patient No. 11—No. 13: decreased RVEF.

Abbreviations: M=male; F=female; FW=free wall; Sep=septum; MI=myocardial infarction; RCA=right coronary artery; LAD=left anterior descending branch; Lcx=left circumflex branch; LV=left ventricle; RV=right ventricle; EF=ejection fraction; PD=posterior descending artery; AV=atrioventricular node artery; DCM=dilated cardiomyopathy.

前胸部痛を主訴に当科入院した急性下壁および右室心筋梗塞例で、発症当日の心電図では II, III, aVF と右側胸部誘導に q 波と ST 上昇が見られた。急性期には右冠動脈 Seg. 1 に完全閉塞が見られ、ピロリン酸心筋シンチでは下壁の強い集積とともに、右室にも肋骨と同程度の摂取が見られた。スワングアンツカテーテルによる圧データでは、肺毛細管楔入圧 6 mmHg, 肺動脈圧 18/4 mmHg, 右室圧 20/8 mmHg, 右房平均圧 10 mmHg であった。心プール ECT による RVEF は 30% と低下していた。また右室の局所壁運動は自由壁、心室中隔ともに 7% で、正常に比べ著しく低下していた。

考 察

右心機能の global な指標である RVEF の算出は各検査法により試みられているが、心臓カテ-

テル法は体積計算による方法であり、右心の形態的特性のため誤差が大きい。また RI 法では first pass 法が行われているが⁷⁾, bolus 注入や背景雑音の処理に問題が生じる可能性がある。このため左室と異なり、右室の EF は算出困難なことが多い。

これに対し心プール ECT では、左右心室や房室間の分離が容易で、RI カウント数による方法のため、その形態に関係なく算出でき、また平衡時法であるため bolus 注入の問題もなく、左右の EF を同じ算出法で非侵襲的に繰り返し求める利点がある。我々はこれらの利点に注目し、心プール ECT を臨床例に施行したが、現在 RVEF を算出する golden standard といえる方法がなく、我々の方法による RVEF 算出法の信頼性を検討することが困難である。しかし同じ方法により算出した LVEF は、現在すでに確立された方

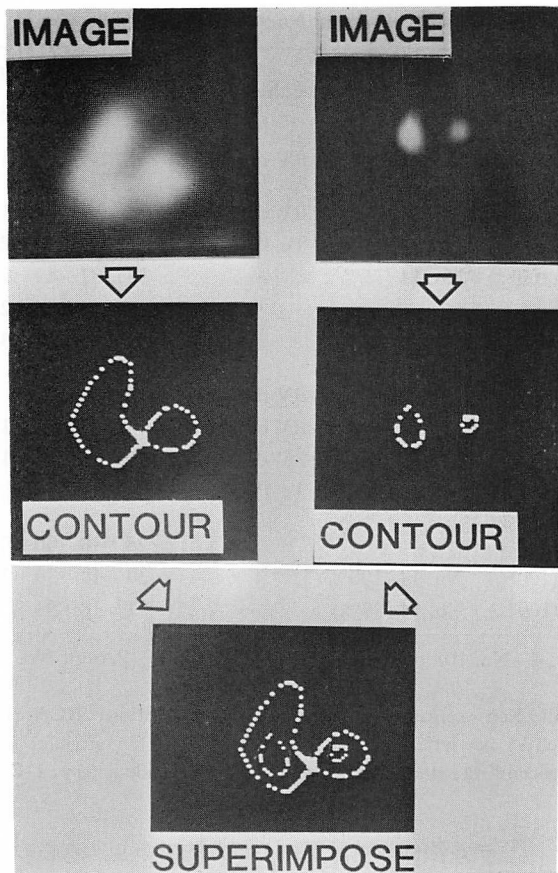
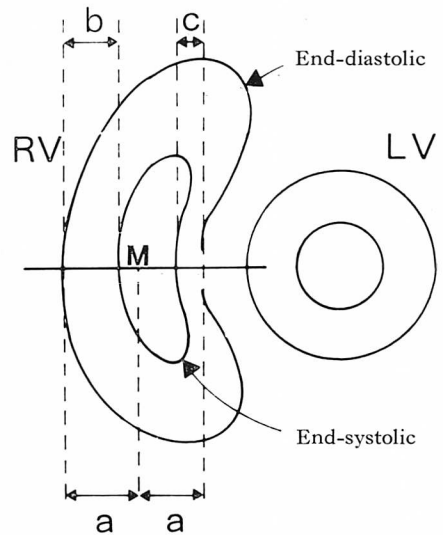


Fig. 3. Calculation of RV wall shortening.

At the RV mid portion, the contour is extracted from the short-axial image using the threshold method, and the end-diastolic contour is superimposed on the end-systolic contour.



$$\text{free wall shortening} = \frac{b}{a}$$

$$\text{septum shortening} = \frac{c}{a}$$

法である心臓カテーテル法や平衡時心プール法とよく一致しており, したがって本法には妥当性があると考えられた. また本法による RVEF は心エコー図, 心臓カテーテル法, ピロリン酸心筋シンチグラフィ等, 他の方法による臨床所見とよく一致していた. すなわち RVEF 低下例では右室梗塞や右室拡大, 又は右室枝を含む有意狭窄が見られた. また症例 4 と 5 に共通することは, 左室の広範な障害であり, そのような例では右室からみた後負荷の増大, 中隔を共有すること (ただしこの 2 例には中隔短縮率の低下は見られなかった) 等により, 二次的に右室機能が低下したと考

えられる. さらに右室の局所壁運動に関しては, RVEF 低下群では自由壁, 中隔ともにその壁運動が低下しており, これらの壁運動がともに RVEF の低下に関与している事が示唆された. Hirsowitz ら⁸⁾は下壁梗塞での RVEF 低下は左心機能低下の二次的影響として現れるのではなく, 中隔の運動低下によるとしており, Starr ら⁹⁾は, イヌの右室自由壁焼灼は血行動態に変化をきたさないと報告した. また Tani¹⁰⁾は実験的に, 右冠動脈と中隔枝の両者を結紮したときのみ, 右室梗塞の血行動態が出現するとした. 今回の RVEF 低下群における検討では, 中隔, 自由壁の

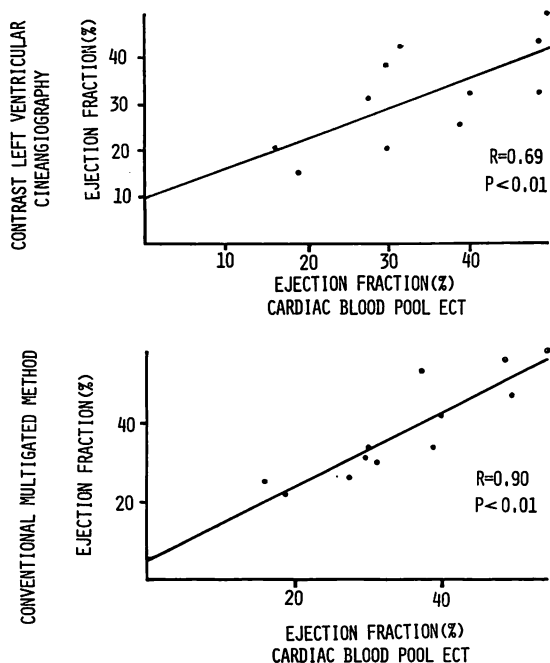


Fig. 4. Correlations between LVEF calculated by cardiac blood pool ECT, and LVEF calculated by left ventriculography (upper) and LVEF by the conventional multigated method (lower).

いずれも運動低下を示しているか、または自由壁のみの運動低下例もみられた。したがって RVEF 低下の機序としては、左室の機能低下による心室中隔を介した二次的な右室機能低下¹¹⁾の他に、右室自由壁自体の関与も考えられた。しかし右室自由壁のみの運動低下による RVEF の低下については今後の検討課題と思われた。

結 語

1. 心電図同期心プール ECT により、RVEF 算出と右室局所壁運動の評価を試みた。
2. RVEF と同じ方法で算出した LVEF は、心臓カテーテル法や平衡時心プール法による LVEF とよく一致していた。
3. 心プール ECT による RVEF は、心臓カテーテル法やピロリン酸心筋シンチグラフィ等、他の方法により得られた臨床所見とよく一致

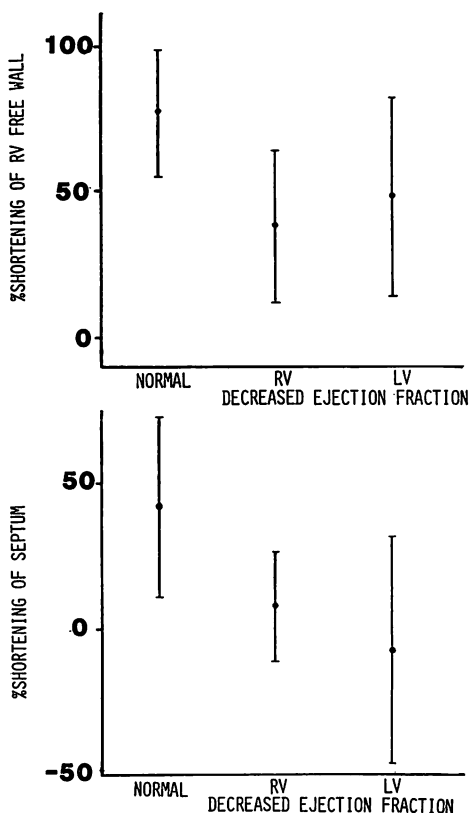


Fig. 5. Shortening of the interventricular septum and RV free wall in the decreased EF group and in the normal controls.

Mean shortening of the free wall in the decreased RVEF group is lower than that in the normal controls ($p<0.01$), although there is no significant difference between shortening in the decreased LVEF group and that in the normal controls. Mean shortening of the septum in both the decreased RVEF group and decreased LVEF group is lower than that in the normal controls ($p<0.05$).

していた。

4. 心プール ECT を用いた右室局所壁運動の検討では、RVEF 低下群では自由壁、中隔ともに壁運動が低下しており、この両者がともに RVEF の低下に関与している事が示唆された。

要 約

ECG ゲート心プール断層シンチ (ECT) を虚

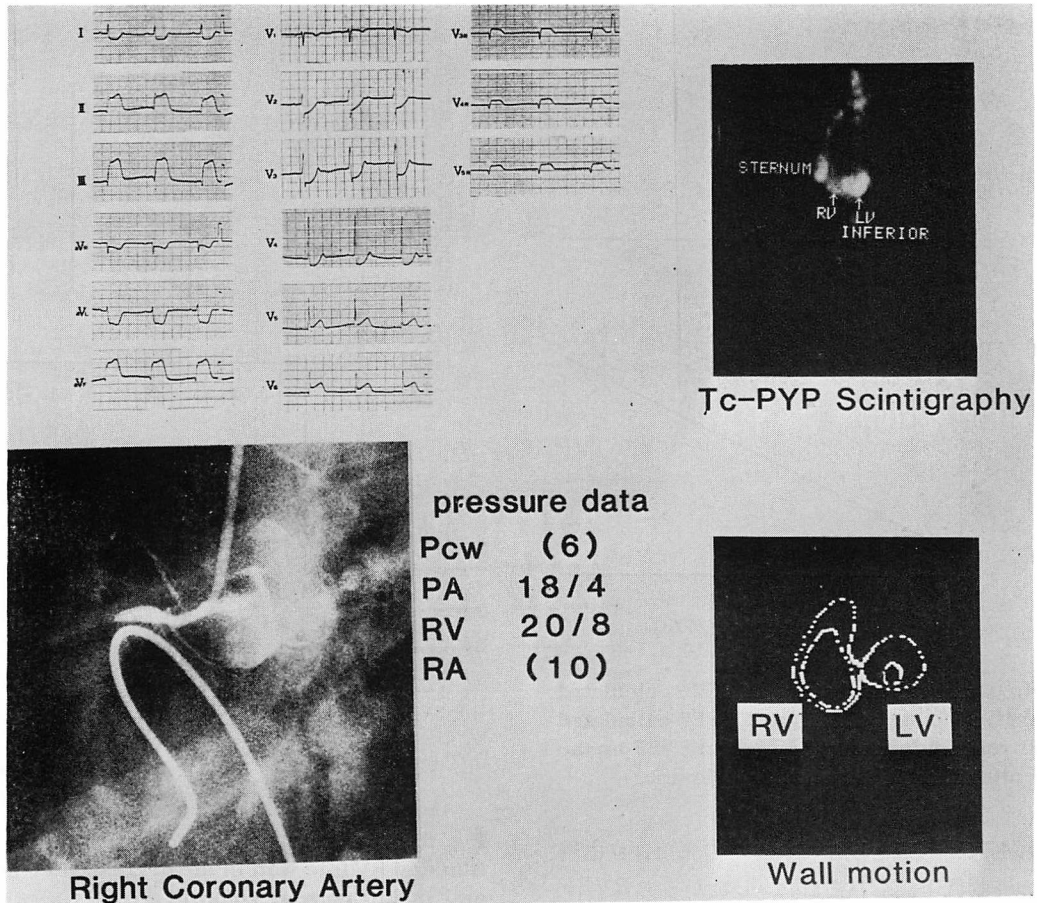


Fig. 6. Electrocardiogram, coronary angiogram and cardiac blood pool ECT in a case with acute RV and inferior wall infarction.

Note ST elevations in II, III, aVF and right precordial leads. The ^{99m}Tc-pyrophosphate scintigram shows uptake at the RV and inferior wall. The coronary angiogram discloses complete obstruction of the right coronary artery (No. 1).

In this case, both the septal and free wall shortening is 7%, and RVEF is 30%.

血性心疾患 10 例, 拡張型心筋症 3 例, および正常 8 例に施行して右室駆出分画 (RVEF) と右室壁短縮率を算出し, 右心機能の評価を行った.

RVEF: 短軸像において右室関心領域を設定し, 心尖部スライスと右房・右室境界スライスの間において右室カウントを合計し, (拡張期右室 count - 収縮期右室全 count) × 100 / 拡張期右室 count をもって RVEF とした.

右室短縮率 (%): 右室中央部において, 閾値

法により, 短軸像で右室辺縁を抽出し, 拡張末期と収縮末期の辺縁を重ねあわせ, 右室自由壁と中隔の短縮率を算出した.

本法による RVEF 算出の信頼性を評価するため, 同じ方法により左室駆出分画 (LVEF) を算出し, 他の方法 (左室造影) により得られた LVEF と比較, 両者間に $r=0.69$, 本法と従来のマルチゲート心プールシンチとは $r=0.90$ の相関があった.

臨床例における RVEF 低下群はほとんどの例で、ピロリン酸心筋シンチ陽性像、右冠動脈閉塞、心エコー図上の右室拡大等、右室機能障害を示していた。

RVEF 低下群の平均右室自由壁短縮率は正常群より低値であったが ($p < 0.01$)、LVEF 低下群では有意差がなく、またこれら両群とも中隔短縮率の平均は正常群より低値であった ($p < 0.05$)。

以上の成績より、心プール ECT により算出した RVEF には信頼性があると思われる。壁短縮率の算出より、RVEF 低下の原因として、中隔の運動低下や左室機能障害の影響だけでなく、右室自由壁の運動低下の関与が考えられた。

本研究に際して御協力をいただいた RI センター診療部の技師の方々に深謝いたします。

文 献

- 1) Cohn JN, Guiha NAH, Broder MI, Limas CJ: Right ventricular infarction: Clinical and hemodynamic features. *Am J Cardiol* **33**: 209-214, 1974
- 2) Isner JM, Roberts WC: Right ventricular infarction complicating left ventricular infarction secondary to coronary heart disease. *Am J Cardiol* **42**: 885-894, 1978
- 3) Ellis JH, Kirch D, Steele PP: Right ventricular ejection fraction in severe chronic airway obstruction. *Chest* **71** (Suppl): 281-282, 1977
- 4) Maddahi J, Berman DS, Matsuoka DT, Waxman AD, Stankus KE, Forrester JS: A new technique for assessing right ventricular ejection fraction using rapid multiple-gated equilibrium cardiac blood pool scintigraphy. *Circulation* **60**: 581-589, 1979
- 5) Rigo P, Murray M, Taylor DR, Weisfeldt ML, Kelly DT, Strauss HW, Pitt B: Right ventricular dysfunction detected by gated scintiphotography in patients with acute inferior myocardial infarction. *Circulation* **52**: 268-274, 1975
- 6) Hegge FN, Hamilton GW, Larson SM, Richie JL, Richards P: Cardiac chamber imaging: A comparison of red blood cells labeled with Tc-99m in vitro and in vivo. *J Nucl Med* **19**: 129-134, 1978
- 7) Morrison DA, Turgeon J, Ovitt T: Right ventricular ejection fraction measurement: Contrast ventriculography versus gated blood pool and gated first pass radionuclide methods. *Am J Cardiol* **54**: 651-653, 1984
- 8) Hirsowitz GS, Lakier JB, Goldstein S: Right ventricular function evaluated by radionuclide angiography in acute myocardial infarction. *Am Heart J* **108**: 949-954, 1984
- 9) Starr I, Jeffers WA, Maede RH: The absence of conspicuous increments of venous pressure after severe damage to the right ventricle of the dog, with a discussion of the relation between clinical congestive failure and heart disease. *Am Heart J* **26**: 291-301, 1943
- 10) Tani M: Roles of right ventricular free wall and ventricular septum in right ventricular performance and influence of the parietal pericardium during right ventricular failure in dogs. *Am J Cardiol* **52**: 106-302, 1983
- 11) Steele P, Kirch D, Lefree M, Battock D: Measurement of right ventricular ejection fraction by radionuclide angiography in coronary artery disease. *Chest* **70**: 51-70, 1976