

右室収縮・拡張機能と心室
中隔部虚血性病変の関連

Right ventricular systolic
and diastolic functions
assessed by ^{81m}Kr scinti-
graphy and relation to
ventricular septal ische-
mia

杉原 洋樹
足立 晴彦
中川 達哉
稲垣 末次
窪田 靖志
海老沢 哲也
古川 啓三
朝山 純
勝目 紘
伊地知 浜夫

Hiroki SUGIHARA
Haruhiko ADACHI
Tatsuya NAKAGAWA
Suetsugu INAGAKI
Yasushi KUBOTA
Tetsuya EBIZAWA
Keizo FURUKAWA
Jun ASAYAMA
Hiroshi KATSUME
Hamao IJICHI

Summary

Right ventricular (RV) systolic and diastolic functions were assessed in patients with previous anteroseptal myocardial infarction to ascertain the influence of interventricular septal ischemia on RV function. Gated right ventriculography with continuous infusion of krypton-81 m was performed in 12 normal subjects and 28 patients with infarction but without significant stenosis of the right coronary artery. Furthermore, RV contractile reserve by postextrasystolic potentiation was evaluated by gated radionuclide ventriculography with ^{99m}Tc -HSA. The patients with anteroseptal infarction were divided into two groups by the presence or absence of three hours' redistribution in the septal region on exercise thallium-201 myocardial scintigraphy. Two indices of systolic function (ejection fraction and the peak ejection rate) and three indices of diastolic function (1/3 diastolic filling rate, the peak filling rate and time to the peak filling rate) were derived from the right ventricular time-activity curve and its derivative curve.

There was no difference in systolic function among normal subjects and patients with or without redistribution. However, diastolic function was impaired only in the patients without redistribution. The RV contractile reserve in the patients without redistribution was less than in those with it.

京都府立医科大学 第二内科
京都市上京区河原町広小路 (〒602)

The Second Department of Medicine, Kyoto Prefec-
tural University of Medicine, Kawaramachi-Hirokoji,
Kamigyo-ku, Kyoto 602

Received for publication October 13, 1986; November 25, 1986 (Ref. No. 32-PS37)

Thus, RV systolic function was maintained in the patients with anteroseptal infarction, but contractile reserve deteriorated only in severe septal ischemia. Similarly, diastolic function was maintained in mild septal ischemia, but impaired in severe septal ischemia.

We concluded that RV systolic and diastolic functions are closely related to interventricular septal ischemia.

Key words

Right ventricular function Interventricular septal ischemia ^{81m}Kr scintigraphy

はじめに

右室梗塞は稀ではなく¹⁾, 下壁梗塞にしばしば合併することが知られ, その臨床的意義, 診断法, 機能評価については多くの報告がみられる²⁻⁴⁾. しかし, 右室梗塞は右室自由壁の梗塞を意味し, 左室と右室を隔てる心室中隔部の梗塞または虚血は, 通常, 左室の梗塞または虚血として捉えられ, その右室機能に及ぼす影響についてはほとんど知られていない.

一方, ラジオアイソトープ法を用いた心血管造影法は非観血的に右室機能を知るのに有用とされ, とりわけ ^{81m}Kr^{5,6)} は右室機能把握に優れているとされる.

本研究では, ^{81m}Kr および ^{99m}Tc を用い, 右冠動脈に有意狭窄のない陳旧性前壁中隔梗塞症の右室機能を検討し, 運動負荷タリウム心筋シンチグラムの所見, 心臓カテテル検査の所見と対比し, 中隔部の梗塞または虚血と右室機能の関係を検討した.

対 象

右冠動脈に有意な狭窄のない陳旧性前壁中隔梗塞症 28 例, 健常対照者 12 例を対象とし, 前者を運動負荷タリウム心筋シンチグラムの 3 時間後像で, 中隔部に完全または不完全再分布のみられる Rd(+) 群 11 例, およびみられない Rd(-) 群 17 例に分別した (Table 1). 心筋梗塞の診断は病歴, 心電図, 断層心エコー図, 冠動脈造影, および左室造影により行った. すべての対象者は洞調律で, 少なくとも検査 48 時間前より無投薬とした.

Table 1. Subjects

Group	Number	Age (yrs)
Control	12	52 ± 9
AS-MI		
Rd (+)	11	55 ± 8
Rd (-)	17	54 ± 10

AS-MI: patients with anteroseptal myocardial infarction

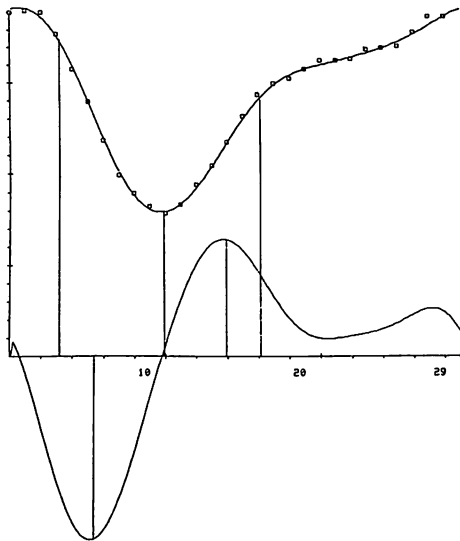
Rd (+): patients with redistribution in the septal region

Rd (-): patients without redistribution in the septal region

方 法

1. ^{81m}Kr による右室機能測定

中エネルギー用コリメーターを装着したガンマカメラを被検者の右前斜位 15~30 度に位置させ, 安静時下で撮像した. 持続注入ポンプにより 5% ブドウ糖液を 10 ml/分の速度で ^{81m}Kr ジェネレーターに注入し, 得られた ^{81m}Kr-ブドウ糖液を被検者の右外頸静脈より 5 分間注射した. ミニコンピュータ島津シンチパック 1200 に, 心電図同期にて, 1 心拍を 30 等分するフレームモードでデータ採取した. 得られたデータをフーリエ変換による位相解析を行い, 位相像および振幅像を得た. 右室拡張末期像において, この振幅像を参考として右室に関心領域を設定し, 心尖部から下壁に半月上のバックグラウンドを設定し, 固定関心領域で右室容量曲線を作成した. 得られた右室容量曲線をフーリエ三次項で近似した曲線, およびその一次微分曲線とから, 収縮期指標として



SYSTOLIC INDICES

Ejection fraction (EF)
Peak ejection rate (PER)

DIASTOLIC INDICES

Peak filling rate (PFR)
Time to peak filling (TPF)
1/3 mean normalized diastolic filling rate
(1/3 MNDFR)

Fig. 1. Right ventricular volume curve and its first derivative curve.

From these curves two systolic and three diastolic indices are obtained.

ejection fraction (EF), peak ejection rate (PER), 拡張期指標として peak filling rate (PFR), time to peak filling (TPF), 1/3 mean normalized diastolic filling rate (1/3 MNDFR) を算出した (Fig. 1, 2).

2. 心電図同期心プールシンチグラフィによる postextrasystolic potentiation (PESP) の評価

経静脈的に右室心尖部に電極カテーテルを挿入し, cardiac stimulator フクダ電子製 BC-02A を用いて, 早期刺激の時期を刺激前の R-R 間隔の 40~50% に設定して, 心室性三段脈を作成した (Fig. 3). 一方, 心電図同期心プールシンチグラフィは, ^{99m}Tc-HSA を 20 mCi 投与後の平衡時に高感度平行孔型 コリメーターを装着した γ -シ

ンチレーションカメラを使用し, 左室と右室の明瞭に分離される左前斜位で行った. 心室性三段脈時のデータ採取はミニコンピューター島津シンチパック 1200 を用い, リストモードにて 12 分間データを採取した. また, コントロール心拍はフレームモードで 5 分間データを採取した. 得られたリストモードデータより得られる R-R 間隔のヒストグラムは三峰性を示し (Fig. 3), これらは R-R 間隔の短いものから順にコントロール心拍, 期外収縮後第 1 拍, 期外収縮後第 2 拍と同定される. これらを個別に編集し, 期外収縮後第 1 拍とコントロール心拍における右室の駆出率を算出し, その差 Δ EF を求めた.

なお, 統計解析には Student's t test を用い, 危険率 5% 以下を有意とした.

結 果

1. 右室収縮機能

EF は Control 群 $52.0 \pm 5.4\%$, Rd(+) 群 $48.0 \pm 8.8\%$, Rd(-) 群 $49.1 \pm 8.1\%$, PER は Control 群 $5.33 \pm 0.56/\text{sec}$, Rd(+) 群 $5.21 \pm 0.91/\text{sec}$, Rd(-) 群 $5.49 \pm 0.85/\text{sec}$ であり, いずれも 3 群間に差がなかった (Fig. 4).

2. 右室拡張機能

1/3 MNDFR は Control 群 $293 \pm 35/\text{sec}$, Rd(+) 群 $275 \pm 63/\text{sec}$, Rd(-) 群 $207 \pm 71/\text{sec}$ であり, Rd(-) 群は Control 群, Rd(+) 群に比し, 有意に低下した. TPF は Control 群 $142 \pm 41 \text{ msec}$, Rd(+) 群 $151 \pm 37 \text{ msec}$, Rd(-) 群 $186 \pm 48 \text{ msec}$ であり, Rd(-) 群のみ Control 群より有意に低下した. PFR は Control 群 $4.10 \pm 0.54/\text{sec}$, Rd(+) 群 $4.18 \pm 0.91/\text{sec}$, Rd(-) 群 $4.09 \pm 0.68/\text{sec}$ であり, 3 群間に差がなかった (Fig. 5).

3. 肺動脈圧

肺動脈収縮期圧は Rd(+) 群 $24.3 \pm 3.4 \text{ mmHg}$, Rd(-) 群 $25.0 \pm 4.4 \text{ mmHg}$, 拡張期圧は Rd(+) 群 $9.1 \pm 1.9 \text{ mmHg}$, Rd(-) 群 $10.4 \pm 3.0 \text{ mmHg}$, 平均圧は Rd(+) 群 $13.9 \pm 2.6 \text{ mmHg}$, Rd(-) 群 $15.2 \pm 5.2 \text{ mmHg}$ であり, いずれも両群間に差が

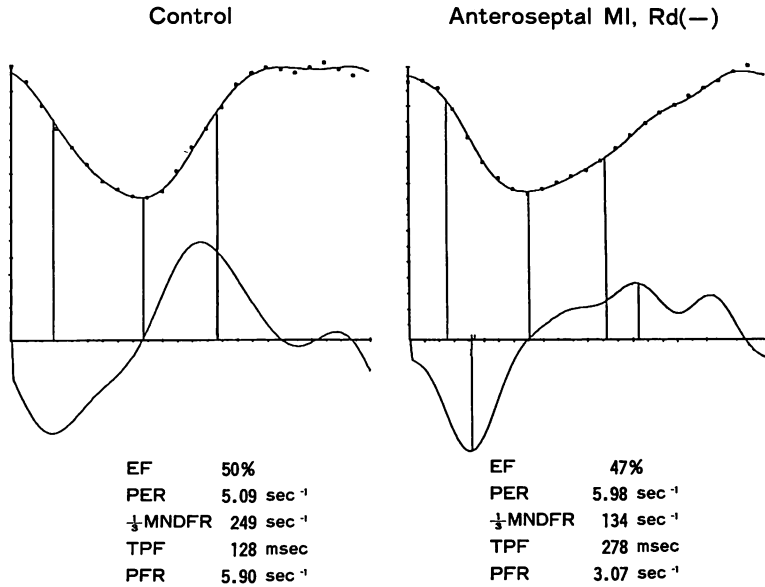


Fig. 2. Examples of curves obtained from a control subject (left) and a patient with anteroseptal myocardial infarction (AS-MI, right).

During the early phase of diastole, right ventricular filling is impaired in AS-MI.

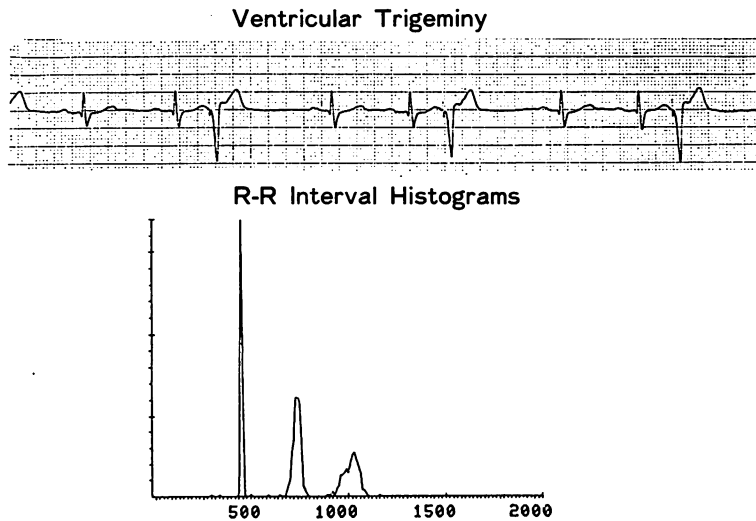


Fig. 3. Electrocardiogram presenting pacing induced ventricular trigeminy (upper) and R-R interval histograms during ventricular trigeminy (lower).

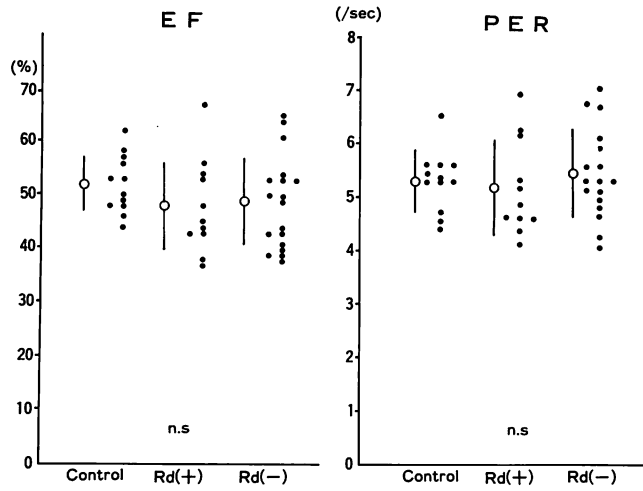


Fig. 4. Ejection fraction (EF) and the peak ejection rate (PER) in the controls, and in patients with or without redistribution.

Rd(+): patients with redistribution in the septal region in exercise thallium-201 scintigram;
 Rd(-): patients without redistribution in the septal region.

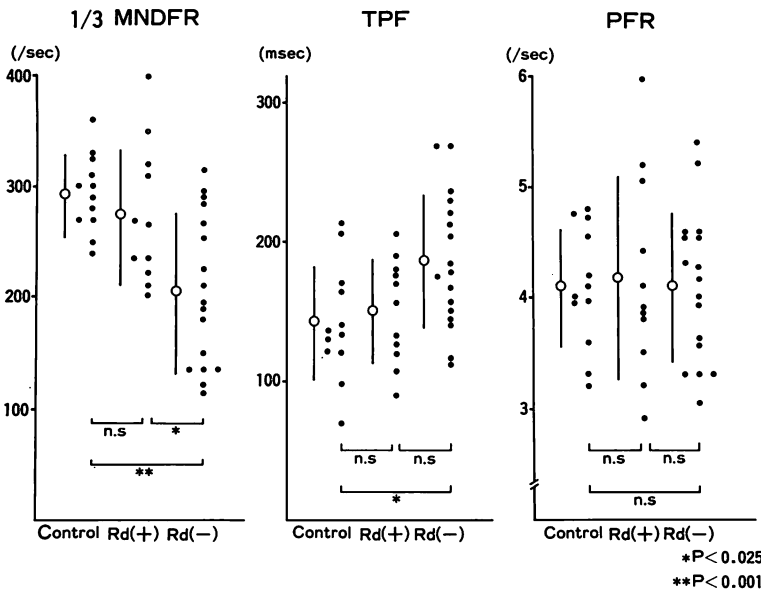


Fig. 5. One-third mean normalized diastolic filling rate (1/3 MNDFR), time to the peak filling (TPF) and the peak filling rate in the controls, and in patients with or without redistribution.

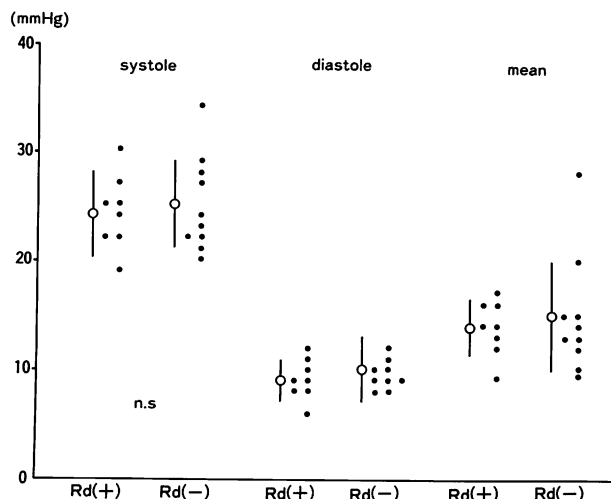


Fig. 6. Systolic, diastolic and mean pulmonary arterial pressures in patients with and without redistribution.

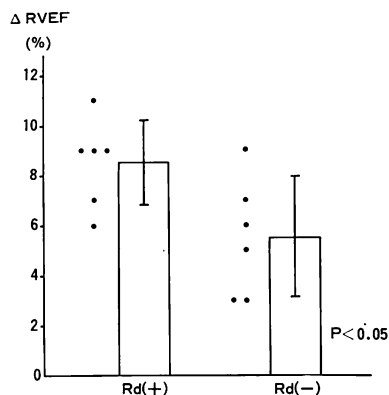


Fig. 7. Change of right ventricular ejection fraction by postextrasystolic potentiation in patients with and without redistribution.

なかった (Fig. 6).

4. PESP による右室駆出率の変化

PESP 心拍と Control 心拍の駆出率の差 Δ EF は Rd(+) 群 $9.3 \pm 1.5\%$, Rd(-) 群 $5.5 \pm 2.8\%$ であり, Rd(+) 群が有意に大であった (Fig. 7).

考 按

右心室は極めて複雑な形態を有するため, X線右室造影による容量, 駆出率測定などの評価も

geometry の仮定を要し, 必ずしも満足のいくものではなく, 左心室に比しその機能評価が困難な一つの要因と考えられる. また, 右室機能に影響を及ぼす因子としては, 前負荷, 後負荷, 右室自由壁および心室中隔の収縮性, 心膜の存在などがあるが, 心室中隔を含めた左室機能に影響される因子が多く, 右室機能の解析, 解釈は困難, 複雑をきわめる.

Starr ら⁷⁾の実験では, 右室自由壁を焼却すると, 体血圧は低下せず, 静脈圧の上昇もみられなかったが, Rose ら⁸⁾は, 右房と肺動脈をバイパスし, 肺動脈を結紮すると, 体血圧の下降, 静脈圧の上昇をみたとしている. この両者の差異は, 前者では右室の壁を構成する心室中隔が健全な型で残され, 後者では右室が完全に取り除かれるからと考えられている. したがって, 通常, 左室の一部としてのみみなされている心室中隔は右室の構成成分の一つとしても重要と考えられる. また, Agarwal ら⁹⁾は中隔枝の結紮にて Starling の機能曲線から右室機能は低下し, 左室機能は正常に保たれたと報告し, 中隔虚血が単独で右室機能に影響を及ぼすことを報告している. しかし, ヒトにおいて心室中隔の虚血が右室機能に及ぼす影響に

についての報告はほとんどみられない。この点に関し、本研究では中隔梗塞が慢性期に右室機能に影響を及ぼすか否かを臨床的に検討した。

^{81}mKr は ^{81}Rb - ^{81}mKr generator を非電解質溶液で溶出することにより得られる。1968年に Yano と Anger¹⁰⁾ により超短半減期の imaging agent として初めて使用された ^{81}mKr は、静脈内投与により正確に右房と右室の分離の可能な右前斜位でイメージングが可能であり、短半減期で肺胞から全て呼気中に排出されるため、左心系の放射活性は全く無視でき、精度の高い右室のみのデータが得られる。また、多方向より右心系のイメージングが可能な利点も有する。右前斜位 15~30 度が右房、右室を分離する最良の位置とされ、今回も右前斜位 30 度を基本的な撮像位置とし、テスト撮像により右房と右室の分離を確認した。さらに、位相解析の振幅イメージを参考にすることにより、右室の拡張末期像に関心領域を設定することは容易であった。右室容量曲線を作成し、収縮期および拡張期のパラメーターを算出するため、固定の関心領域を採用したが、一心周期にわたる三尖弁の位置の移動は、シネモード表示の検討から、右前斜位では小さく無視し得ると考えた。

一方、近年、陳旧性心筋梗塞症の運動負荷タリウム-201 心筋シンチグラムで負荷直後の欠損像が 2~3 時間後には部分的あるいは完全に改善する例が存在するとの報告が散見される¹¹⁾。この再分布現象については不明なことが多いが、種々の報告より、梗塞部再分布の現象は viable な残存心筋を鋭敏に反映していると考えられ、今回の Rd(+) または Rd(-) は中隔に viable な心筋が存在するか否かを分別するものと考えられる。

今回、 ^{81}mKr 持続注入法による検討では、右冠動脈に有意狭窄のない陳旧性前壁中隔心筋梗塞症の右室の EF および PER は、運動負荷タリウム心筋シンチグラムの 3 時間後像での再分布の有無にかかわらず、健常人と差がなかった。このことから右室の収縮機能は心筋梗塞により左室の収縮力の低下時正常に保たれ、左室の収縮機能には直

接依存することはないと考えられる。この理由として、虚血により低下した中隔の壁運動が右室駆出には関与しない可能性と、中隔の壁運動低下の影響を右室自由壁が代償している可能性が考えられる。これに対し、Rd(-) 群で 1/3 MNDFR の低下および TPF の延長がみられ、Rd(+) 群ではこれらの異常のみみられなかったことより、高度の中隔壊死例のみが右室拡張期流入障害をきたすものと考えられる。また、PFR は Rd(-) および Rd(+) 群ともに健常者と差がなかったことは、PFR が拡張期の早期の機能指標であることを考えあわせると、流入障害はより拡張早期に存在するものと考えられる。このような Rd(+) 群と Rd(-) 群の拡張期指標の差は、右冠動脈に有意狭窄のない例を対象としたことより、右室自由壁には虚血は存在しないこと、および Rd(+) 群と Rd(-) 群で肺動脈圧に差がなく、右室の後負荷には差がないことから、中隔虚血の程度の差による影響と考えられる。

虚血心における右室流入動態に関する検討は少ないが、Fujii ら¹²⁾ は 2-D パルス・ドップラー法を用い、前壁中隔梗塞例における右室の軽度な流入障害を報告し、この原因として、中隔の障害と左前下行枝により右室自由壁の一部が灌流されていることによる二つの可能性を推定している。しかし、今回の検討では、中隔の障害の程度のつよい Rd(-) 群でのみ右室流入障害のみみられたことから、この流入障害は中隔の障害に起因するものと考えられる。また、Gaglar ら¹³⁾ は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HSA による平衡時心プールシンチグラフィを用い、下壁梗塞群では右室流入障害が存在するが、右冠動脈に有意狭窄のない前壁中隔梗塞群では障害されていないとしている。しかし、かれらの指標は PFR と TPF であり、また中隔の梗塞の程度には注目していないため異なる結果になったものと思われる。

現在、左室の収縮予備能または壁運動の改善は、種々の負荷法にて判定されている。すなわち、ニトログリセリン、ノルエピネフリンなどの薬剤負

荷, PESP などによる評価などである. ことに PESP による収縮予備能評価は大動脈-冠動脈バイパス術の適応決定に有用な情報をもたらすとされている^{14,15}). しかし, 右室の収縮予備能については十分検討されておらず, 特に右室の PESP に関する報告はほとんどみられない. PESP による収縮予備能の評価は主に X 線左室造影により行われるが, 本法のごとく, 心電図同期心プールシンチグラフィによる PESP の評価は, X 線左室造影法による評価に比し侵襲度が少なく, コンピューター解析により種々の心機能解析が容易なことに加えて, 右室の PESP の評価も可能なことも利点である¹⁶). PESP のメカニズムとしては心筋内へのカルシウム流入の増加による心筋収縮力の増強, 代償休止期の間の血管抵抗の減少, 代償休止期の間の心室流入の増加などの関与が考えられているが, 完全には解明されていない. しかし, 臨床応用上, 心収縮予備能を把握する方法としての有用性は広く認められている. 本検討では PESP による右室収縮予備能を駆出率の変化から検討したが, Rd(+) 群で Rd(-) 群より有意に ΔEF が高値を示したことは, Rd(+), Rd(-) 群は, ともに右冠動脈に有意狭窄のない例を対象としているので, 右室自由壁に虚血はないと考えられ, 中隔の viability が右室の収縮予備能に大きく関与することを示唆する所見である.

以上のことから, 心室中隔の虚血により右室収縮機能は保持されるが, 収縮予備能は高度の虚血で低下し, 一方, 拡張期機能は高度の虚血時のみ障害され, 右室機能と心室中隔部の虚血は密接に関連するものと考えられた.

要 約

陳旧性前壁中隔心筋梗塞症の右室の収縮および拡張機能を検討した.

右冠動脈に有意狭窄のない前壁中隔梗塞症 28 例および健常者 12 例を対象として ^{81m}Kr 持続注入による右室造影を施行し, さらに一部の症例では ^{99m}Tc-HSA による平衡時心プールシンチグ

ラフィーによる postextrasystolic potentiation (PESP) から, 右室収縮予備能を評価した.

前壁中隔梗塞症例を運動負荷タリウム心筋シンチグラム上, 中隔に再分布のみられる Rd(+) 群とみられない Rd(-) 群に分別すると, 右室収縮期機能は健常群, Rd(+) 群および Rd(-) 群で差がなかったが, 拡張期機能は Rd(-) 群でのみ低下を示した. PESP により評価した右室収縮予備能は, Rd(-) 群で Rd(+) 群よりも低下していた.

心室中隔の虚血性病変により, これが軽症の場合は右室収縮機能および拡張機能は保持され, 右室の収縮予備能も低下しないが, 高度の場合には右室収縮予備能の低下および拡張機能の障害が認められた.

以上のごとく, 右室収縮および拡張機能は心室中隔の虚血の程度と密接に関連することが示された.

文 献

- 1) 堀江俊伸, 関口守衛, 広沢弘七郎: 右室梗塞. 呼吸と循環 26: 1065, 1978
- 2) Cohn J, Guiha N, Broder M, Limas C: Right ventricular infarction: Clinical and hemodynamic features. Am J Cardiol 35: 209, 1974
- 3) Isner J, Roberts W: Right ventricular infarction complicating left ventricular infarction secondary to coronary heart disease: Frequency, location, associated findings and significance from analysis of 236 necropsy patients with acute or healed myocardial infarction. Am J Cardiol 42: 885, 1978
- 4) Ratliff NB, Hackel DB: Combined right and left ventricular infarction: Pathogenesis and clinicopathologic correlations. Am J Cardiol 45: 217, 1980
- 5) Knapp WH, Helms F, Lambrecht RM, Elfner R, Gasper H, Vollhaser HH: Kr-81 m for determination of right ventricular ejection fraction. Eur J Nucl Med 5: 487 1980
- 6) Nienabar CA, Spielmann RP, Wasmus G, Mathey DG, Montz R, Bleifeld WH: Clinical use of ultrashort-lived radionuclide krypton-81 m for noninvasive analysis of right ventricular performance in normal subjects and patients with right ventricular dysfunction. J Am Coll Cardiol 5:

- 687, 1985
- 7) Starr I, Jeffers WA, Maede RH Jr: 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 heart failure and heart disease. *Am Heart J* **26**: 291, 1943
 - 8) Rose JC, Lazaro EJ, Broida HP: Dynamics of complete right ventricular failure in dogs maintained with an extracorporeal left ventricle. *Circ Res* **4**: 173, 1956
 - 9) Agarwal JB, Yamazaki H, Bodenheimer MM, Banka VS, Helfant RH: Effects of isolated interventricular septal ischemia on global and segmental function of the canine right and left ventricles. *Am Heart J* **102**: 654, 1981
 - 10) Yano Y, Anger HO: Ultrashort-lived radioisotopes for visualizing blood vessels and organs. *J Nucl Med* **9**: 2, 1968
 - 11) Massie BM, Wisneski JA, Inoue IK, Hollenberg M, Gertz EW, Henderson SBS: Detection and quantification of previous myocardial infarction by exercise-redistribution tomographic thallium-201 scintigraphy. *Am J Cardiol* **53**: 1244, 1984
 - 12) Fujii J, Yazaki Y, Sawada H, Aizawa T, Watanabe H, Kato K: Noninvasive assessment of left and right ventricular filling in myocardial infarction with a two-dimensional Doppler echocardiographic method. *J Am Coll Cardiol* **5**: 1155, 1985
 - 13) Gaglar NM, Araki H, Taira Y, Fukuyama T, Nakamura M: Right ventricular systolic and diastolic function at rest in patients with coronary artery disease: Assessment with equilibrium radionuclide ventriculography. *Jpn Heart J* **26**: 425, 1985
 - 14) Popio KA, Gorlin R, Bechtel D, Levine JA: Postextrasystolic potentiation as a predictor of potential myocardial viability: Preoperative analyses compared with studies after coronary bypass surgery. *Am J Cardiol* **39**: 944, 1977
 - 15) Nesto RW, Cohn LH, Collins JJ, Wynne J, Holman L, Cohn PF: Inotropic contractile reserve: A useful predictor of increased 5 year survival and improved postoperative left ventricular function in patients with coronary artery disease and reduced ejection fraction. *Am J Cardiol* **50**: 39, 1982
 - 16) Sugihara H, Adachi H, Nakagawa H, Kitamura H, Kohda M, Higami M, Nakanishi T, Tsuji H, Harima S, Furukawa K, Asayama J, Katsume H, Ijichi H: Evaluation of postextrasystolic potentiation by gated radionuclide ventriculography. *Jpn Nucl Med* **22**: 867, 1985 (in Japanese)