

心筋梗塞症の超急性期における超音波断層所見：実験的検討

Echocardiography in superacute phase of myocardial infarction: An experimental study

小正 尚裕
谷本 真穂
木村 道
安富 栄生
斉藤 良夫
山本 忠生
池岡 清光
巻幡 修三
河合 喜孝
岩崎 忠昭

Naohiro KOMASA
Masaho TANIMOTO
Susumu KIMURA
Nagao YASUTOMI
Yoshio SAITO
Tadao YAMAMOTO
Kiyomitsu IKEOKA
Shuzo MAKIHATA
Yoshitaka KAWAI
Tadaaki IWASAKI

Summary

The significance and usefulness of two-dimensional echocardiography (2DE) in the evaluation of superacute phase of myocardial infarction were studied in 13 dogs with coronary occlusion, and 2DE findings were compared with the hemodynamic indices.

Myocardial infarction was produced by the occlusion of anterior descending branch of the left coronary artery in 13 anesthetized adult mongrel dogs. In 6 dogs, the end-diastolic area and percent fractional shortening (%FS) in each short-axis view of the left ventricle at the level of the mitral valve, chordae tendineae, papillary muscles, low papillary muscles and apex were measured during 60 minutes, and end-diastolic wall thickness of infarct area situated in the transitional zone between the septum and the anterior wall were compared with that of non-infarct area immediately and subsequent 60 minutes after occlusion. Positive $dP/dt/P$, time constant T and cardiac output were measured simultaneously with an echocardiographic study.

Severe enlargement and expansion of the left ventricular cavity (ballooning) and a decrease of %FS and thinning of the left ventricular wall perfused by the occluded artery occurred immediately after occlusion and persisted during subsequent 60 minutes. Time constant T was significantly prolonged, while positive $dP/dt/P$ and cardiac output were decreased immediately and continued up to 60 minutes after occlusion.

2DE findings corresponded well with the changes of cardiac function and hemodynamics de ter-

兵庫医科大学医学部 第一内科
西宮市武庫川町 1-1 (〒663)

The First Department of Internal Medicine, Hyogo
College of Medicine, Mukogawa-cho 1-1, Nishino-
miya 663

Presented at the 24th Meeting of the Cardiography Society held in Tokyo, March 23-24, 1982

Received for publication September 24, 1982

mined simultaneously. We concluded that the detection of the left ventricular ballooning is important in the diagnosis of superacute phase of myocardial infarction in dogs.

Key words

Acute myocardial infarction

Two-dimensional echocardiography

Ballooning of left ventricle

はじめに

心筋梗塞症を診断し、その病態を把握するため、心電図検査、血清酵素測定、核医学的手法、超音波法、心血管造影法等が用いられている。これらのうち、本症発症直後においては、時間的、手技的制約などにより、超音波法によるアプローチが非常に有利と考えられるが、疾患の性質上、この時期の患者に接することは少なく、その超音波所見も十分検討されていない。したがって今回、雑種成犬を用いて実験的に心筋梗塞を作製し、その超急性期 (superacute phase) における超音波断層図所見と、心機能および血行動態指標を経時的に対比することによって、心筋梗塞の superacute phase における超音波断層図の意義を検討した。

対象および方法

18~25 kg (平均 21 kg) の雑種成犬 13 頭をペントバルビタール (30 mg/kg) にて麻酔し、Harverd respirator による呼吸管理下に、特製の台上で右側臥位とし、左頸動脈より 2F Fogarty balloon catheter を内臓した冠動脈閉塞用特製カテーテル、右頸動脈より心内圧測定用 micro tip catheter (Millar pressure transducer PC-370)、また左頸静脈より心拍出量測定用 Statham Model SP 5005 flow directed thermodilution catheter (Gould 製) を挿入した。X 線透視下で冠動脈閉塞用カテーテルを左冠動脈前下行枝で回旋枝との分枝直下に進め、この部で balloon を脹らませて冠動脈を遮断した。このさい、選択的冠動脈造影を行い、完全閉塞であることを確認した。冠動脈閉塞後の重篤な不整脈に対しては、リドカイン 1~3 mg/kg を適宜静脈内に投与し対処した。超音波断層装置には東芝製 SSH-11A 電子走査型

心断層装置を使用し、右胸部に probe を当て超音波像を記録した (記録装置はビクター製ビデオカセットレコーダー、モデル 6060)。

超音波断層 (2DE) 像の評価は、再生像をトレースして長軸像を観察するとともに、短軸にて僧帽弁、腱索、乳頭筋、下乳頭筋、心尖の 5 レベルを設定して、それぞれの断面における拡張末期面積の変化を、閉塞前を 100% として求めた。また拡張末期面積と収縮末期面積の差を拡張末期面積で除したものを % fractional shortening (%FS) として、閉塞前、閉塞直後、10 分、20 分、30 分、45 分、60 分後の各時間で求めた。さらに各断面の心筋梗塞該当部である心室中隔と前壁の移行部および心尖前壁部を infarct zone、これに該当しない後側壁部を non-infarct zone とし、その拡張末期における壁厚を、閉塞前、閉塞直後、60 分後で比較検討した。

血行動態および心機能の指標としては、Statham cardiac output computer SP1425 (Gould 製) を用いて心拍出量を測定し、また Hewlett Packard 製 polygraph (bioelectric amplifier 8811 A, derivative computer 8814A) を用いて心電図、左室内圧、 dP/dt を Mingograf 800 (Siemens 製) に紙送り速度 100 mm/sec で記録した。収縮の指標として positive $dP/dt/P$ 、また拡張の指標として Weiss ら¹⁾、Hirota ら²⁾ が用いた時定数 T を閉塞前を 100% として、超音波記録に対応する時点でそれらを求めた。

結 果

13 頭中 60 分間生存し、十分な超音波像が記録できたものは 6 頭であった。

Fig. 1 は代表例での冠動脈閉塞前、5 分、30 分、60 分後の左室長軸断層像、および下乳頭筋レ

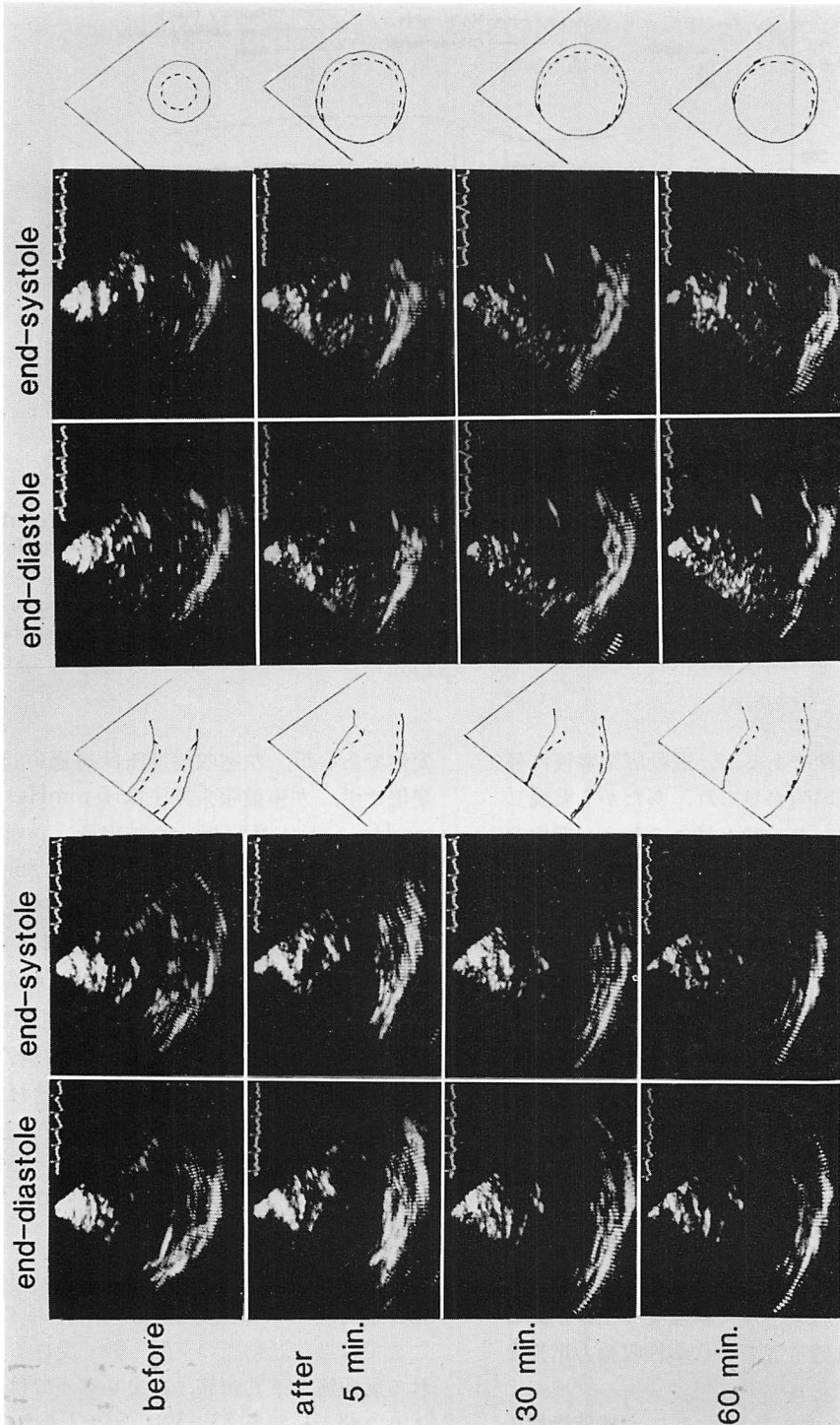


Fig. 1. Sequential two-dimensional echocardiograms in end-diastole and end-systole before and after coronary occlusion.

Left panels show the long-axis view. Right panels show the short-axis view at the level of low papillary muscles. The ballooning (expansion) of the left ventricle is observed after coronary occlusion.

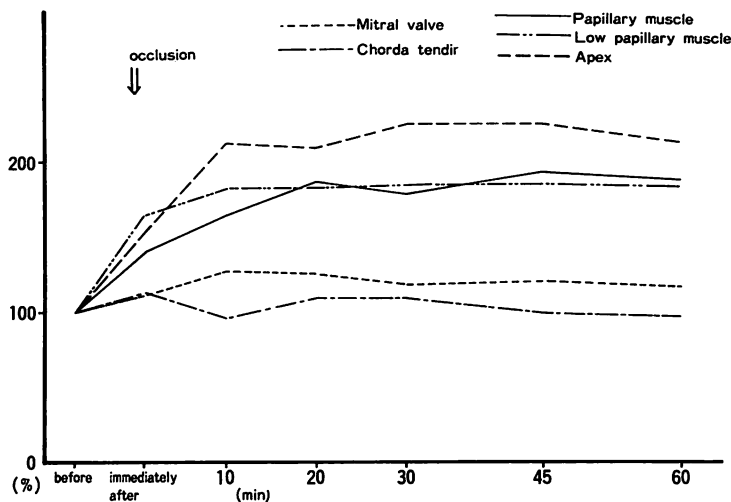


Fig. 2. Sequential changes of end-diastolic area of the left ventricle at the levels of the mitral valve, chordae tendineae, papillary muscles, low papillary muscles and apex before and after coronary occlusion in the same case as in Fig. 1.

A sequential change of end-diastolic area of the left ventricle is expressed as a percent change to the value (100%) of pre-occlusion. A significant enlargement is observed at the levels of the papillary muscles, low papillary muscles and apex.

ベルでの短軸断層像であるが、冠動脈閉塞後に著明な心腔の拡大と緊張が見られ、あたかも緊満した風船状を呈していた。我々はこのような変化をballooningと表現した。また下乳頭筋レベル短軸で見られるように、当該冠動脈支配領域では明らかな心筋壁の菲薄化が認められた。

Fig. 2 は同例の各レベルにおける拡張末期面積の変化を閉塞前値を100%として示したものであるが、乳頭筋、下乳頭筋、心尖レベルで、閉塞直後より10分にかけて著明な拡大を示し、その後も60分まで持続した。この例は左前下行枝優位で、高位までその影響が及んでいるものと考えられた。

Fig. 3 に同例の%FSの変化を示した。冠動脈閉塞直後より、乳頭筋、下乳頭筋、心尖レベルで、著明な低下が認められる。しかしその後、僧帽弁、腱索、乳頭筋レベルでは軽度の上昇が認められ、この変化は健常部での代償性収縮力増強を示唆した。

Fig. 4 は同例の血行動態および心機能指標の

変化であるが、左室収縮期圧は経過中ほとんど変化せず、左室拡張末期圧は6 mmHgより24 mmHgへと上昇した。心拍出量、positive dP/dt/Pは、閉塞直後にそれぞれ65%、86%まで低下し、その後はほとんど変化せずに経過した。また時定数Tは直後から10分にかけて128%、157%と著明に延長し、その後60分後まで持続した。

Fig. 5 は6頭の僧帽弁、腱索、乳頭筋、下乳頭筋、心尖レベルにおける拡張末期面積の変化を、閉塞前値を100%として、その平均値および標準誤差で示したものであるが、閉塞直後にそれぞれ、 $107 \pm 10\%$ 、 $114 \pm 10\%$ 、 $120 \pm 18\%$ 、 $154 \pm 17\%$ 、 $174 \pm 17\%$ と最も強い変化を示し、10分後よりその変化は比較的少なかった。

Fig. 6 は6頭の各レベルにおける%FSの変化を平均値および標準誤差で示したものである。ここでは当該冠動脈の支配を強く受けると考えられる乳頭筋、下乳頭筋、心尖レベルでは閉塞直後より、 48 ± 1 から $33 \pm 3\%$ 、 53 ± 2 から $18 \pm 3\%$ 、

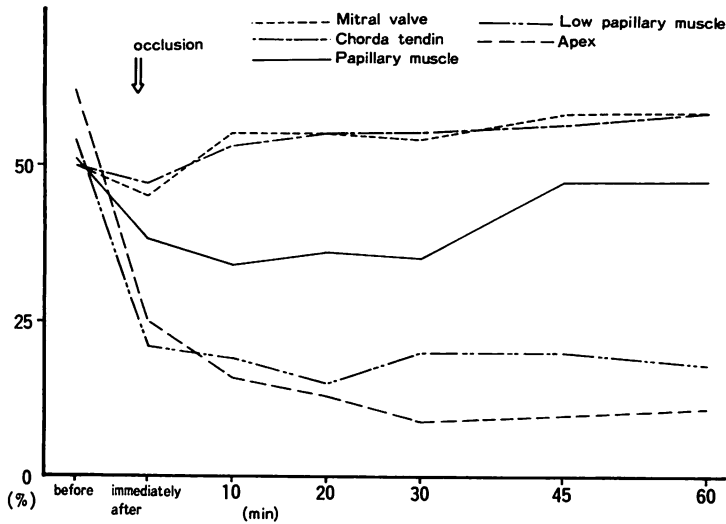


Fig. 3. Sequential changes of % fractional shortening (%FS) at each level before and after coronary occlusion in the same case as in Fig. 1.

$$\%FS: \frac{\text{end-diastolic area} - \text{end-systolic area}}{\text{end-diastolic area}}$$

A significant decrease of %FS is observed at the levels of the papillary muscles, low papillary muscles and apex immediately after coronary occlusion.

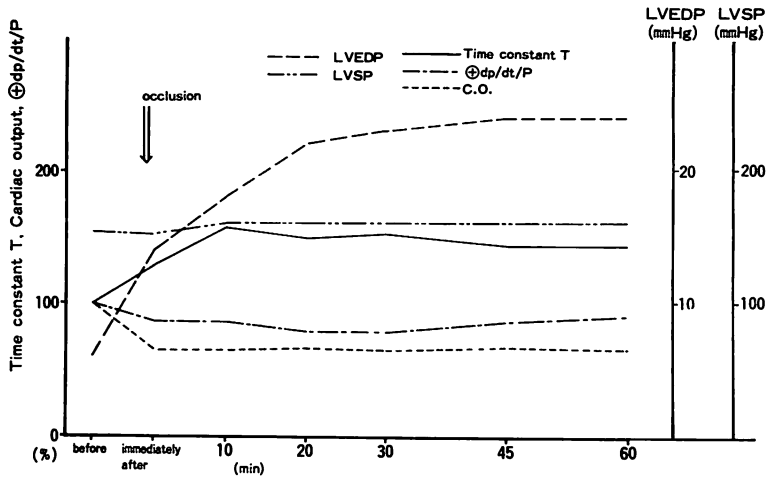


Fig. 4. Sequential changes of cardiac functional and hemodynamic indices before and after coronary occlusion in the same case as in Fig. 1.

Sequential changes of cardiac output, positive $dP/dt/P$ and time constant T are expressed as a percent change to the values of pre-occlusion. Values of LVEDP and LVSP are expressed by an absolute value. LVEDP: left ventricular end-diastolic pressure.

LVSP=left ventricular systolic pressure.

Cardiac output and positive $dP/dt/P$ are significantly decreased, and time constant T is significantly prolonged after coronary occlusion.

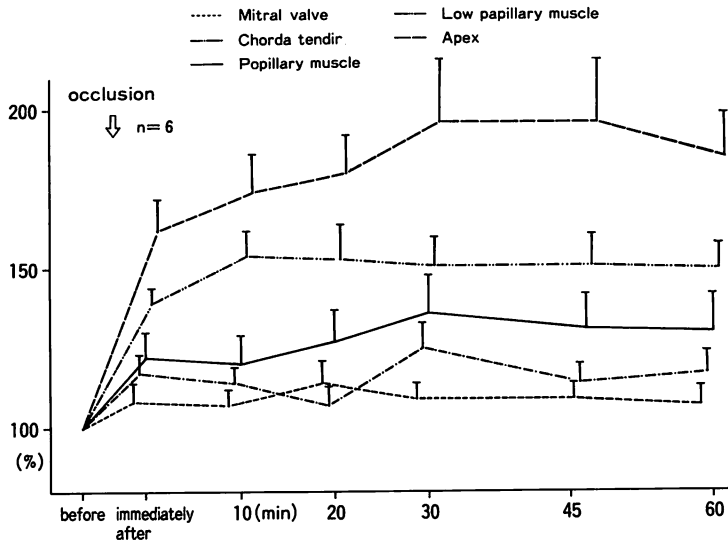


Fig. 5. Sequential changes of end-diastolic area of the left ventricle at each level before and after coronary occlusion in 6 dogs.

A sequential change of the end-diastolic area is expressed as a percent change to the values of pre-occlusion. (mean \pm standard error)

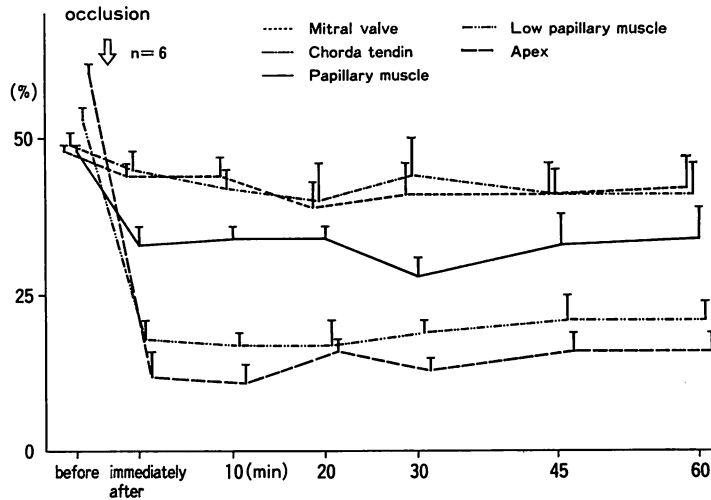


Fig. 6. Sequential changes of %FS at each level before and after coronary occlusion in 6 dogs. (mean \pm standard error)

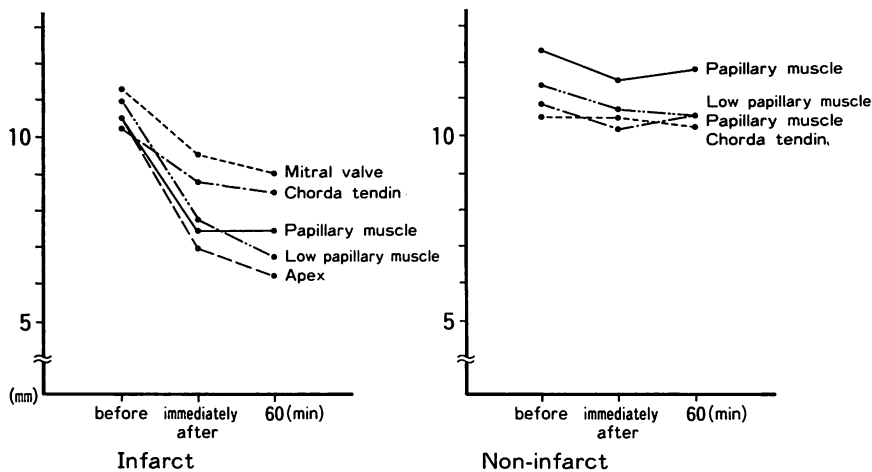


Fig. 7. Sequential changes of end-diastolic thickness of the left ventricular wall at each level before and after coronary occlusion in 6 dogs.

Left panel shows the end-diastolic thickness in infarct zone. Right panel shows the end-diastolic thickness in non-infarct zone.

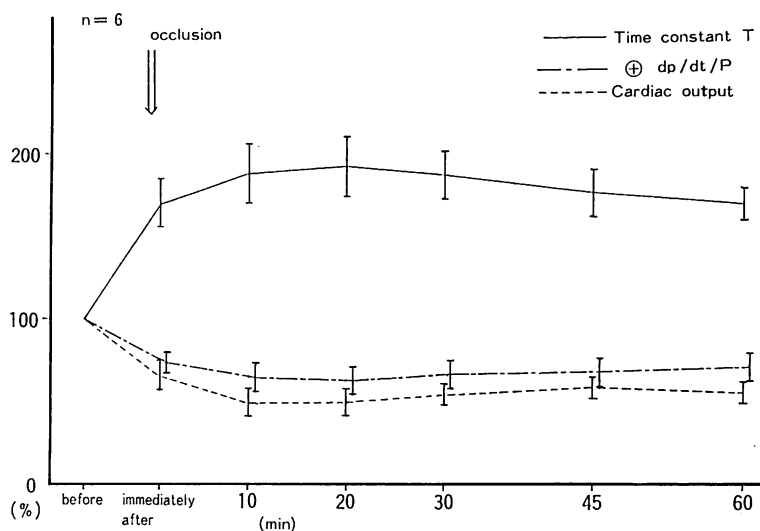


Fig. 8. Sequential changes of cardiac functional and hemodynamic indices before and after coronary occlusion.

Values of cardiac output, positive $dp/dt/P$ and time constant T are expressed as a percent change to the values of pre-occlusion. (mean \pm standard error)

63±2 から 12±4% と著しく低下し, その後はほとんど変化せず, 僧帽弁, 腱索レベルでの変化は軽微であった.

Fig. 7 は各レベルの infarct zone, non-infarct zone における拡張末期の壁厚を閉塞前, 閉塞直後, 60 分後で比較したものであるが, non-infarct zone に対し, infarct zone では明らかな壁の菲薄化が認められた.

このように, 心筋梗塞においては発症直後より, 超音波断層上, 心腔の拡大と緊張 (ballooning), %FS の変化に見られるような収縮の低下, また冠動脈支配領域での心筋壁の菲薄化が認められ, これらの所見によって極めて早期より本症を診断し得るものと考えた.

Fig. 8 は血行動態および心機能指標として測定した心拍出量, positive dP/dt/P, 時定数 T の変化を, 閉塞前値を 100% として, 6 頭の平均および標準誤差で示したものである. 心拍出量は閉塞直後, 10 分後にそれぞれ 65±9%, 40±8% と低下し, positive dP/dt/P も同じく 73±6%, 64±7% と低下し, その後は安定している. この変化を %FS に見られる収縮の低下と比較すれば, 血行動態および心機能の指標が, 超音波上の変化よりやや遅れるものの, やはり閉塞直後に最も強い影響を受けていることがわかる.

時定数 T は, 現在, 拡張期の心機能特性を見るのに有用なものとして種々の検討に用いられている. しかし, 超音波記録に対応する閉塞直後の時点では, 169±15%, 10 分後, 20 分後にはそれぞれ 184±18%, 190±21% と著明な延長を示し, 冠動脈閉塞直後より, すでに強い拡張障害が出現するものと考えられた. この時期に, 超音波断層上, ballooning が見られることは, この変化が上記の拡張障害に対応するものと考えられた.

考 案

心筋梗塞症では, 超音波検査により虚血心筋の壁運動異常 (asynergy), 収縮期壁厚増加率の減少, 心筋壁の菲薄化, エコー輝度の増強等がみら

れ, また合併症として心室瘤, 仮性心室瘤, 心室中隔破裂, 心内血栓, 乳頭筋断裂, 乳頭筋不全等が検出され得るようになった. これにより本症患者の病態を把握し, 予後を推定する上で, 心エコー図法は最も有用な検査法の 1 つとして用いられるに至っている. しかし本疾患の性質上, 発症直後の患者に接する機会は少なく, その超音波所見も十分検討されているとはいえない.

今回の研究では, 臨床上, 非常に重篤に経過すると考えられる左冠動脈前下行枝閉塞の実験的検討を行い, その超音波断層所見の特徴を捉え, またその変化を心機能および血行動態指標と対比して, その評価を試みたものである. 全例において, 冠動脈閉塞直後より, 腱索あるいは乳頭筋レベルより心尖に至る強い心腔の拡大と緊張 (ballooning) と, %FS の変化で表わされる収縮の低下が認められ, 当該冠動脈支配領域での心筋壁の菲薄化が見られた. Stefan ら⁸⁾, Kerber ら^{4,5)} は超音波法を用いた実験的検討で, 心筋が虚血に陥った場合, ほとんど直ちに壁運動異常が見られることを報告したが, 我々の検討でも同様の変化が認められ, 臨床上, この時期の超音波によるアプローチが本疾患の診断上有用となり得るものと考えた.

一方, Savage ら⁶⁾, Heger ら⁷⁾ は心筋梗塞前壁病変における高率の心尖部病変合併を指摘しているが, 今回の前下行枝閉塞実験でも, **Fig. 1** に示すごとく, 心臓の下位レベルで強い ballooning が見られ, 心尖部では拡張末期面積, %FS ともに最も強い変化を受けていた. イヌでは, 冠動脈の分布, 側副血行路に関し強い個体差が指摘されているが, 左冠動脈前下行枝の心尖部での優位性は明らかであろうと考えられる. またこの心尖部は臨床的には最も描出し難い部位であるが, イヌでは比較的明瞭に記録し得た.

虚血心筋の壁厚については, 収縮期の壁厚増加率の変化について多くの報告⁸⁻¹⁰⁾ がなされており, その減少および消失が, 虚血を示す変化と考えられている. 今回の検討では, 拡張末期における壁厚を閉塞前後で, infarct zone, non-infarct

zone に分けて計測を試みたが、infarct zone では明らかな壁菲薄化が認められた。この変化は、虚血による心筋の伸展に対応するものと考えられる。

同時に測定した心機能指標のうち、収縮期の指標として用いた positive $dP/dt/P$ は左室圧一次微分である dP/dt から、左室内圧への依存性を消去した等容収縮期の指標である。これを超音波断層図上の収縮の指標である %FS と対比してみると、超音波上の収縮低下がやや先行し、遅れて心臓機能としての収縮低下が起こっており、心拍出量の変化もこれに対応している。 dP/dt は小さい梗塞ではほとんど影響を受けない指標とされており、今回の実験の結果は、梗塞範囲が広いことを示す所見でもある。

拡張期の指標として用いた時定数 T は Weiss ら¹⁾により提唱され、現在拡張期の特性を示す有力な指標として、種々の検討がなされている。Weiss ら¹⁾は虚血からの回復時に有意な延長を示すとし、また Mann ら¹¹⁾は虚血性心疾患患者に pacing 負荷を行い、時定数 T が延長することを報告している。我々の検討においては、冠動脈閉塞に引き続いて著明な T の延長が認められ、このような広範囲な梗塞においては、早期より強い拡張障害が起こるものと考えられた。これに対応する超音波断層所見として見られた著明な心腔の拡大と緊張 (ballooning) は、本症発症直後ににおける重要な所見と考えた。

要 約

雑種成犬を用い、麻酔、閉胸下に左冠動脈前下行枝分枝直下を閉塞して心筋梗塞を作製し、その超音波断層 (2DE) 像と、同時に測定した心機能および血行動態指標とを対比して、本症超急性期 (superacute phase) における 2DE 所見の意義と、本法の有用性につき検討した。

2DE は、短軸にて僧帽弁、腱索、乳頭筋、下乳頭筋、心尖の 5 レベルを設定して、各レベルの拡張末期面積、% fractional shortening (%FS)

[(拡張末期面積-収縮末期面積)/拡張末期面積]を 60 分間経時的に測定し、また、心筋梗塞該部である心室中隔と前壁の移行部および心尖前壁部を infarct zone、これに該当しない後側壁部を non-infarct zone として、その拡張末期の壁厚変化を見た。

心機能および血行動態指標としては、positive $dP/dt/P$ 、時定数 T 、心拍出量を 2DE 記録に対応した時点で求めた。

2DE 上、冠動脈閉塞直後より、当該冠動脈支配領域を中心とした著明な心腔の拡大と緊張 (ballooning) と %FS の低下が見られ、拡張末期壁厚も減少していた。

2DE 所見として、冠動脈閉塞直後より見られた ballooning、%FS の低下および心筋壁菲薄化は、同時に測定した心機能および血行動態指標とよく対応した変化を示し、とくに ballooning は拡張障害を示唆する所見として、本症急性期の診断および病態把握上重要な所見と考えた。

文 献

- 1) Weiss JL, Frederiksen JW, Weisfeld ML: Hemodynamic determinants of the time-course of fall in canine left ventricular pressure. *J Clin Invest* 58: 751, 1976
- 2) Hirota Y: A clinical study of left ventricular relaxation. *Circulation* 62: 756, 1980
- 3) Stefan G, Bing RJ: Echocardiographic findings in experimental myocardial infarction of the posterior left ventricular wall. *Am J Cardiol* 30: 629, 1972
- 4) Kerber RE, Abboud FM: Echocardiographic detection of regional myocardial infarction. *Circulation* 47: 997, 1973
- 5) Kerber RE, Marcus ML, Ehrhardt J, Wilson R, Abboud M: Correlation between echocardiographically demonstrated segmental dyskinesia and regional myocardial perfusion. *Circulation* 52: 1097, 1975
- 6) Savage RM, Wagner GS, Ideker RE, Podolsky SA, Hackel DB: Correlation of postmortem anatomic findings with electrocardiographic changes in patients with myocardial infarction: Retrospective study of patients with typical anterior and posterior infarcts. *Circulation* 55:

小正, 谷本, 木村, ほか

279, 1977

- 7) Heger JJ, Weyman AE, Wann LS, Dillon JC, Feigenbaum H: Cross-sectional echocardiography in acute myocardial infarction: Detection and localization of regional left ventricular asynergy. *Circulation* **60**: 531, 1979
- 8) Goldstein S, Willen de Jong J: Changes in left ventricular wall dimension during regional myocardial ischemia. *Am J Cardiol* **34**: 56, 1974
- 9) Komer RR, Edalji A, Hood WB: Effects of nitroglycerin on echocardiographic measurement of left ventricular wall thickness and regional myocardial performance during acute coronary ischemia. *Circulation* **59**: 926, 1979
- 10) Kerber RE, Martins JB, Marcus ML: Effect of acute ischemia, nitroglycerin and nitroprusside on regional myocardial thickening, stress and perfusion. *Circulation* **60**: 121, 1979
- 11) Mann T, Goldberg S, Hudge GH, Grossman W: Factors contributing to altered left ventricular diastolic properties during angina pectoris. *Circulation* **59**: 14, 1979