

## 超音波による心組織の定量的評価

## Qualitative evaluation of the heart tissue by ultrasound

田中 元直

寺沢 良夫

引地 久春

Motonao TANAKA

Yoshio TERASAWA

Hisaharu HIKICHI

### Summary

Many heart diseases, such as endocarditis, myocardial infarction, valvular disease and so forth, are accompanied by tissue degeneration. The informations on pathological changes in the tissue are very important for the early diagnosis and for the selection of an adequate treatment. In order to obtain such informations, ultrasono-cardiotomography is very useful.

In the tomographic method, the following four data must be extracted from the tomographic images; (1) distribution of abnormal echoes, (2) the echo intensity, (3) the degree of attenuation of the ultrasound, (4) the deformation of tomographic pattern. The sensitivity graded tomogram pair method is used for the evaluation of the relationships of these four data. In this method, several series of tomograms taken at the same cardiac phase were employed. These were obtained by changing only the gain of receiving amplifier at certain decibel intervals. When intensity of the echo from the pericardium in normals is 0 dB, that from the epicardium was about 5 dB, that from the valve tissue about 10 to 15 dB, and that from the endocardium about 20 dB weaker than that from the pericardium, respectively. On the contrary, the echo intensity from a verruca on the valvular tissue was about 5 dB weaker than that from the pericardium and the echo from the verruca with calcification was almost as strong as that from the pericardium. Also it was found that the verruca was represented as an intensive nodular echo.

Echo intensity varied depending on the changes in the quality of the tissue. In fibrotic changes as in endocarditis, echo intensity was increased by about 5 to 10 dB than that in normals.

In the diseases associated with qualitative changes in the myocardium, the abnormal echoes together with the deformed wall pattern were recorded on the ultrasono-cardiotomogram. The abnormal echoes of the ventricular wall were classified as follows. One was an intensive echo of nodular or micronodular pattern, and the other an intensive band-shape pattern. The former indicated the presence of the focal degeneration scattered in the myocardium and the increment of the fibrous tissue in the interstitial space of the myocardium and the latter indicated the presence of the thick fibrous tissue in the endocardium or the presence of scar in the myocardium.

It was concluded in relation to the sections of specimen obtained at autopsy that the changes in pattern, intensity and character of the echo reflect the severity and quality of the organic changes in heart tissues. Thus the non-invasive ultrasono-cardiotomography seemed to enable us to evaluate organic

東北大学 抗酸菌病研究所  
仙台市星陵町 1 (〒980)

The Research Institute for Chest Diseases and  
Cancer, Tohoku University, Seiryō-cho 1, Sendi 980

Presented at the 13th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 25-26 1976

Received for publication December 21, 1977

changes in the heart tissue.

### Key words

Ultrasono-cardiotomography      Sensitivity graded tomogram pair method      Tissue character      Verruca  
echo      Myocardial degeneration

## 緒 言

心血管疾患では心内膜炎のごとく、炎症由来のわずかな線維性変化から、心筋梗塞における著明な癒痕形成、さらには弁膜症における石灰化まで、組織性状変化の幅は広く、かつ器質的变化の程度自体が疾患の本質をなしていることがしばしばである。したがって、このような器質的变化の状況についての情報は臨床的にきわめて重要であり、その検査方法としては従来、生検法が行われてきた。しかし、生検法には多くの問題点があり、非観血的検査手段が渴望されている。

心血管組織における器質的傷害の状況と程度の判断は、病理解剖学的には ① 正常ではみられないような変形の有無を判断する、② 正常ではみられない異常な組織の増加、疣状物、血栓の存在、石灰沈着などの有無を判断する、③ 組織構造の変化、組織の質的变化を肉眼的ないし、鏡検上から判断する、という3種類の情報を基礎として行っている。

このような情報を獲得する手段として超音波反射法はきわめて有効な特徴をもっており、そのエコー間隔から厚みの変化を、エコー強度からは反射体のもつ密度(比重)変化の状況を知ることができる。しかし、形の変化や異常組織の大きさ、範囲、存在位置を知るためには、静止した状態で組織の連続性、反射面の広がりを知ることが必要であり、その上で組織構造の変化を知るために高分解能の画像が要求される。

エコー強度を測定するためには生体内の減衰を考慮し、かつエコー強度に影響を及ぼすような見かけ上の画像のみを綺麗にするためのエコー信号の処理回路の使用も極力避けなければならないなど、装置の上でも種々の制約と精度とが要求され

る。このような点を考慮して、心断層図を用い、形の変化、異常エコーの検出、エコー強度の測定を行えば器質的变化の存在の有無とその範囲、組織性状の変化状況の評価が可能である。

ここでは器質变化の発現頻度が多い弁と心筋について検討した結果を示す。

## 心臓組織性状の評価

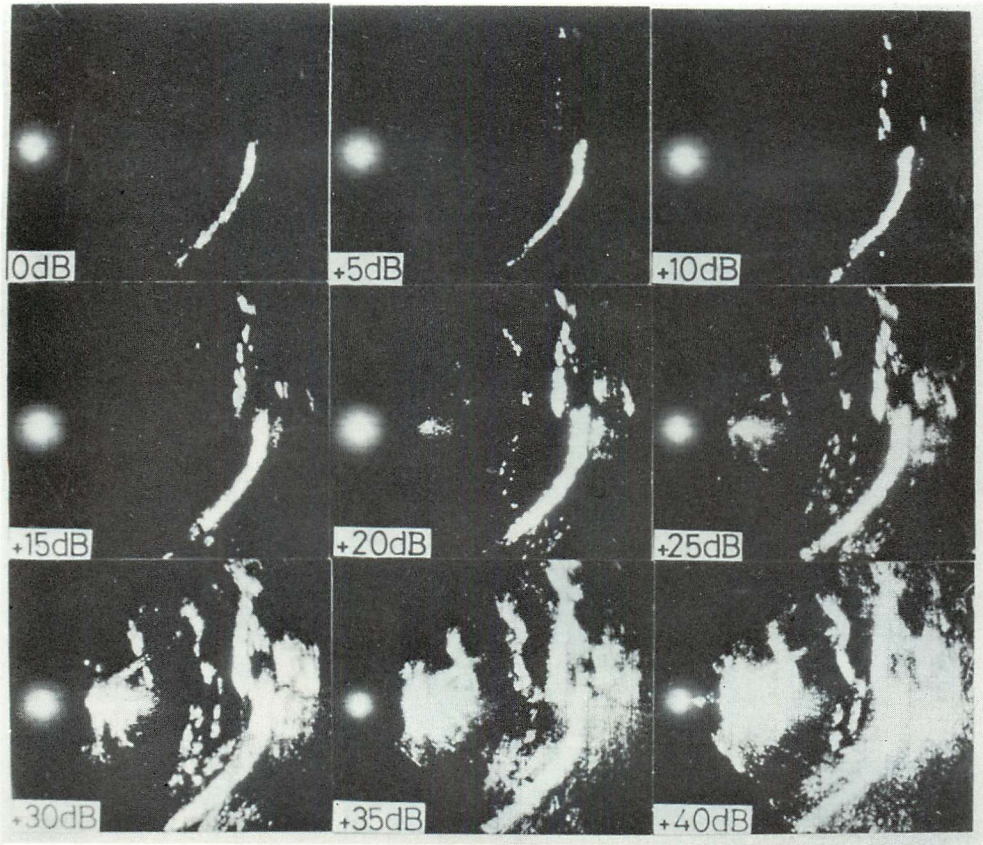
### 1. 正常心におけるエコー強度

**Fig. 1** は収縮極期における正常心の像を示したものであるが、エコー強度も評価できるように感度断層図、すなわち超音波装置の他の条件を変えずに、受信器感度のみを一定ステップで変える方法で表示してある。図からわかるように、正常僧帽弁では弁尖と腱索エコーとはほとんどエコー輝度に差がなく、なめらかに推移する形状を示しており、エコー輝度の差は曲面に対する入射角度の差として表現される範囲内の变化で示されている。正常心におけるエコー強度の差は心膜エコーを基準(0 dB)にすると心外膜は +5 dB、弁尖は 10~15 dB、内膜エコーは 20 dB の強度差があることがわかる。

### 2. 弁尖の器質的变化の評価

弁尖に器質的变化が発生すると、収縮期あるいは拡張期における弁尖の形状が変化し、同時に異常な塊状エコーが出現してくる。また、腱索に病変があると腱索部分を通る断面上で、**Fig. 2** の2および6のごとく、太く輝度の強い索状エコーが示され、弁尖の厚みよりも太さが増加することがある。**Fig. 3** に示したように、異常な塊状のエコーは疣贅の存在を示す。

弁尖肥厚および疣贅のごとく線維性変化を主体にした部分のエコー強度は **Fig. 4**のごとく、感度断層法でみると、心膜エコーに対して約 5 dB



**Fig. 1. Sensitivity graded tomogram pair of the normal case.**

Tomograms are taken by changing the gain of receiver at every 5 dB intervals in the direction of the long axis of the left ventricle. The pericardial echo is the most intensive. The echoes reflected from the epicardium is about 5 dB weaker than that of the pericardium. That from the valve and aortic wall is about 10–15 dB weaker, and that from the endocardium is about 15–20 dB weaker than that of the pericardium, respectively.

程度の差で出現し、心外膜エコーとほぼ同時に現れ、正常弁より 5 dB 前後強いエコーとして示される。これに対し石灰化を伴う組織変化が起こってくると、**Fig. 5** のように弁尖先端付近の石灰化エコーは心膜エコーとほぼ同程度の輝度の像となって示されてくる。この例は MS で手術を施行し、弁尖の石灰化を確認している。なお、この例では心房内に組織化血栓を認めた例であるが、組織化血栓は心膜エコーに対し、約 10~15 dB で現れ、石灰化エコーよりは約 5 dB 低く、**Fig. 3**

における疣贅のエコーとほぼ同程度であり、線維性変化に起因するものと考えられたものである。

大動脈弁弁膜症においても僧帽弁と全く同様に弁帆の器質的変化の存在によって、弁帆の形の異常と肥厚および弁帆エコー強度の増加がみられるようになる。石灰化の著明なものでは **Fig. 6** のごとく、心膜エコーとほぼ同程度ないし、これより強いエコーとして表示され、そのために石灰化弁尖の後方には音響陰影を生ずるほどになっている。

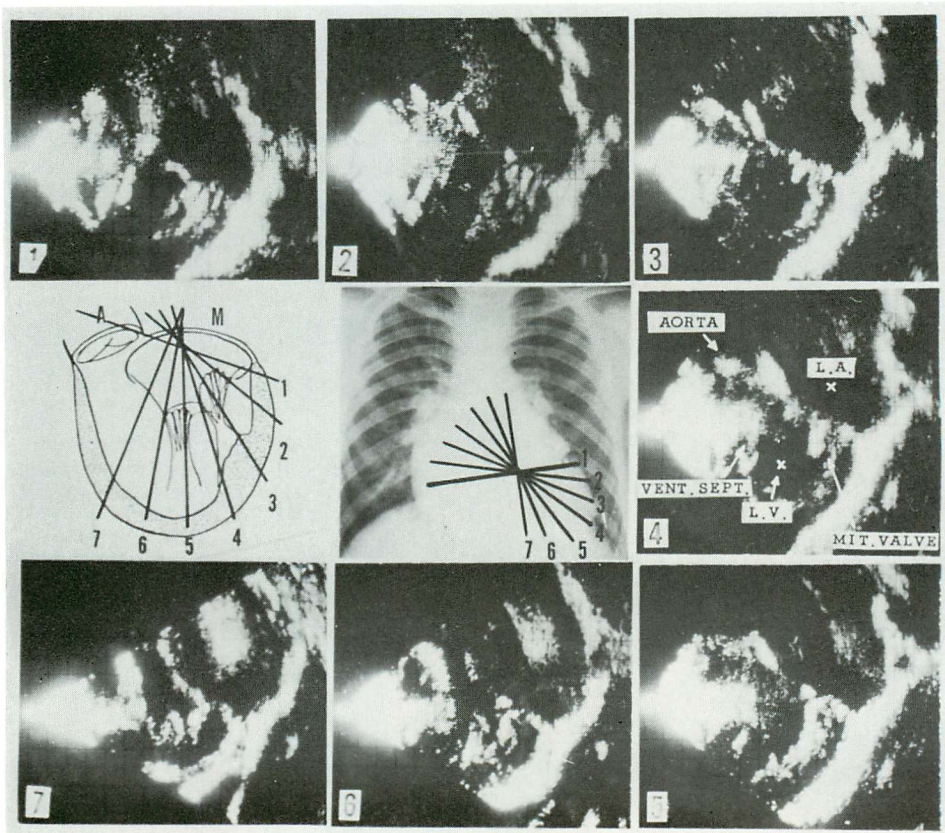


Fig. 2. Azimuthal tomogram pair of the heart in a case with mitral regurgitation.

The azimuthal angle of the scanning plane was changed as shown by the black line demonstrated on the chest roentgenogram. The thickening, shortening and adhesion of the chordae tendineae which belong to the anterior and posterior papillary muscles are demonstrated in photographs 2 and 6.

このように弁尖の器質的変化の程度と範囲および組織が正常であるか、線維性変化があるか、石灰化を伴うほどであるか、など組織性状に関連する評価をかなりの信頼性をもって心断層図から評価できるといえる。

### 3. 心筋組織性状変化の評価

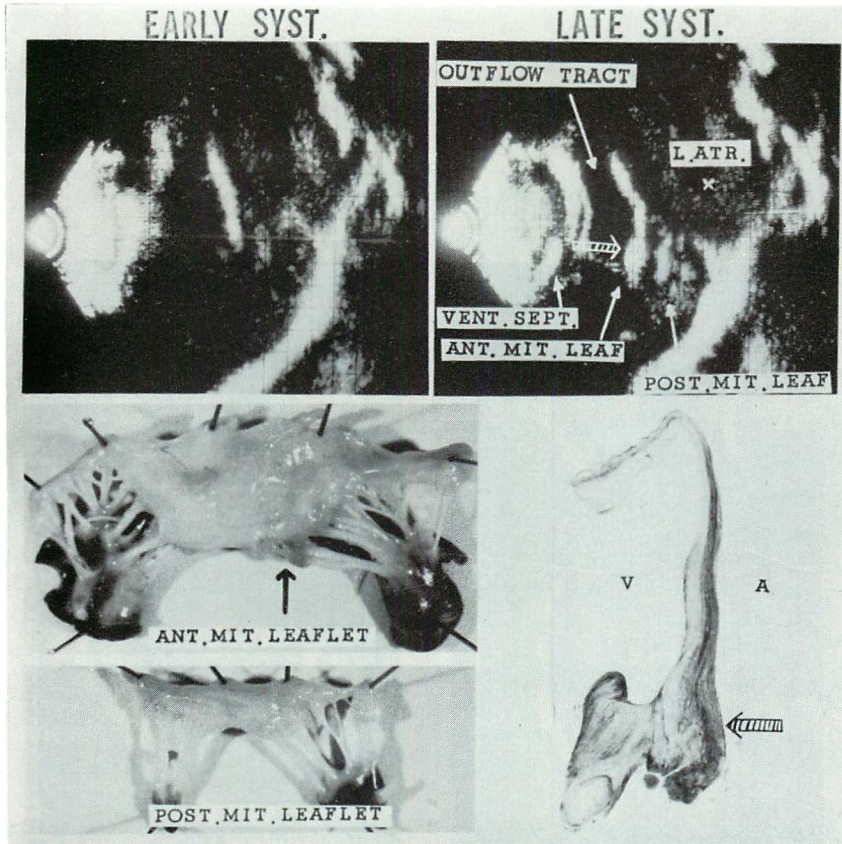
心筋部における器質的変化、ないし組織性状変化の評価も、形の変形、異常エコーの発現、およびエコー輝度の増加、などから行うことができる。

#### 1) 広範、び慢性心筋変性

Fig. 7 は心内膜炎の既往のある弁膜症、およびうっ血型心筋症における心筋部エコー像を示した

ものである。心内膜炎の既往のあるものではいずれも内膜エコーの輝度が強く示され、ときに外膜エコーとほぼ同程度に出現するものもある (Fig. 7 の矢印)。心筋部エコーは弱く示されるものと、顆粒状エコーが示されてくるものとがみられる。心内膜炎後の内膜エコー強度は、通常、心膜エコーより約 10 dB 弱く、心外膜エコーとほぼ同程度の強さである。また、健全な内膜と比べると約 10 dB 強くなっており、組織化した血栓とほぼ同程度であり、線維性変化の存在が示唆される。

心筋内で生ずる顆粒状異常エコーは、Fig. 8 に示したように、心筋肥大を伴う場合にもしばしば



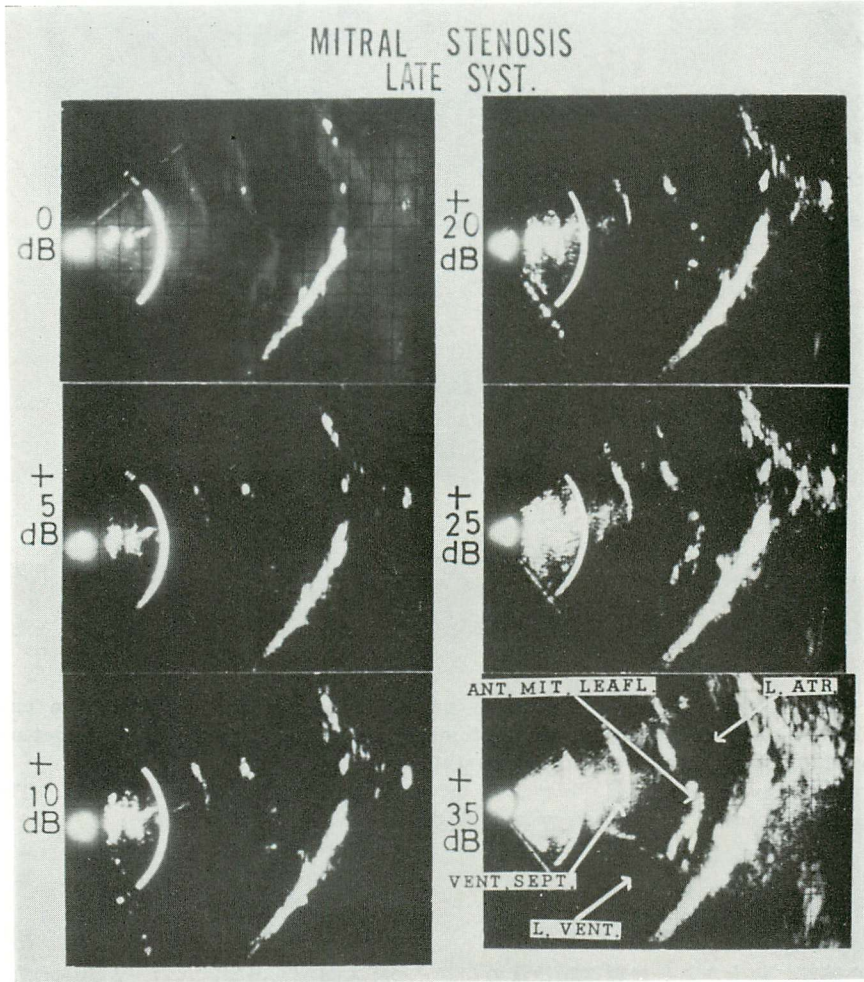
**Fig. 3.** Comparison between the findings on ultrasono-cardiotomograms in a case of mitral insufficiency and those on the sections of a specimen of the valve leaflet with a verruca which was excised by surgical operation.

Abnormal conglomerate echo is observed at the tip of the anterior mitral valve leaflet. The size and form of the echo are in good agreement with those of the excised specimen.

認められる。最上段は高血圧による左室肥大の例で、中段は非閉塞性、下段は閉塞性の肥厚性心筋症例である。心筋部に粗大あるいは微細顆粒状の異常エコーを認め、網目状構造のごとく示されている。このような異常エコーは心膜エコーの強度より約 10 dB 弱く、心外膜 (epicardial echo) とほぼ同程度で、感度を下げてもあまりエコー性状に変化がみられない。このようなエコー性状を示す部分の心筋部の変化は、顆粒状、網目状エコーが多く分布する内膜側には結合組織の網目状の増殖がみられ、心筋組織には変性を起こしている所

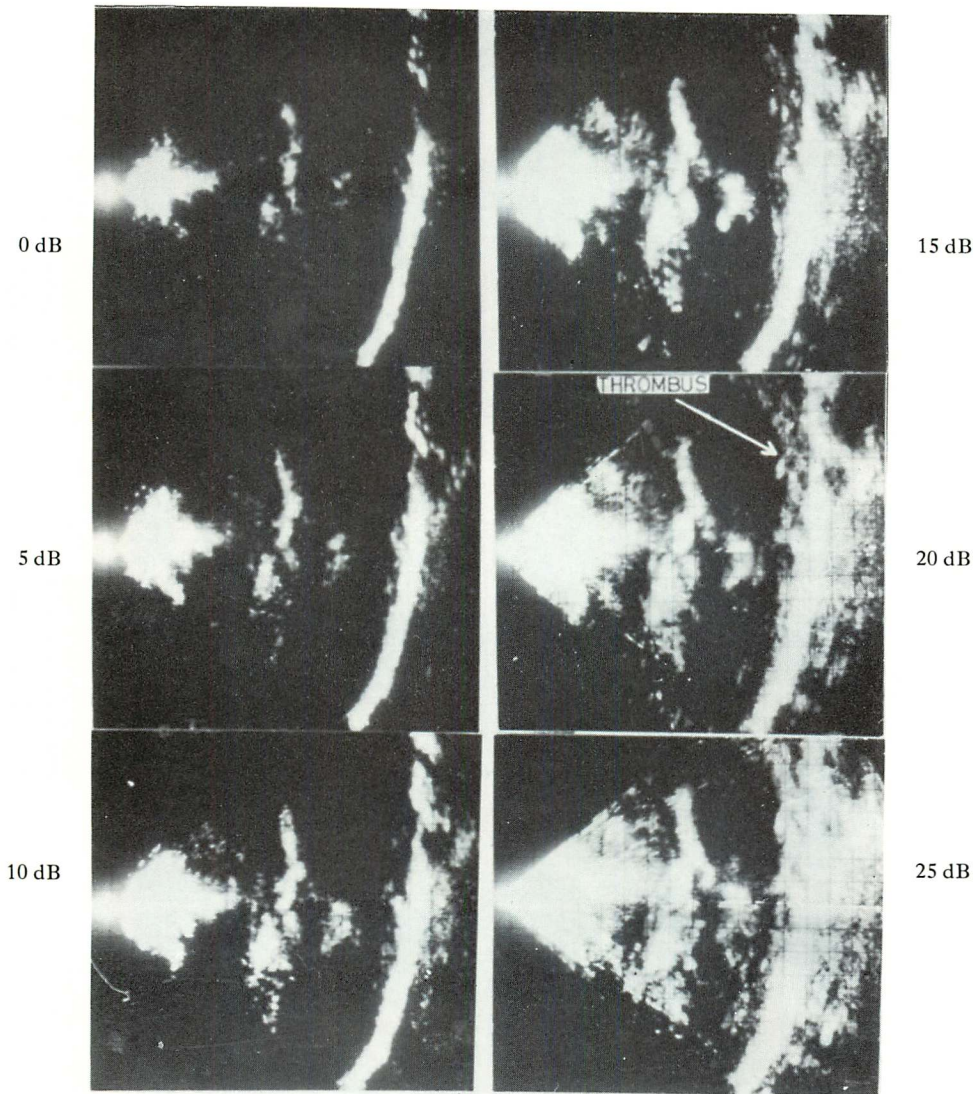
見がみられる。

**Fig. 9** の上段は内膜面エコーが著明に強く、かつ粗大顆粒状の異常エコーがみられた例で、同時に心室壁の肥厚がみられる。内膜エコーは心膜エコーの強さと同程度である。かかる例の心筋部の変化は、上段右図のごとく内膜側は線維化が強く、結合組織の増加がみられ、顆粒状エコーが強くみられる部分では心筋組織は島状に残存し、その周囲に結合組織が網目状に増加している様子がみられる。中段の例も同じような例であるが、下段は実験的に作成した貫壁性心筋梗塞で瘢痕形



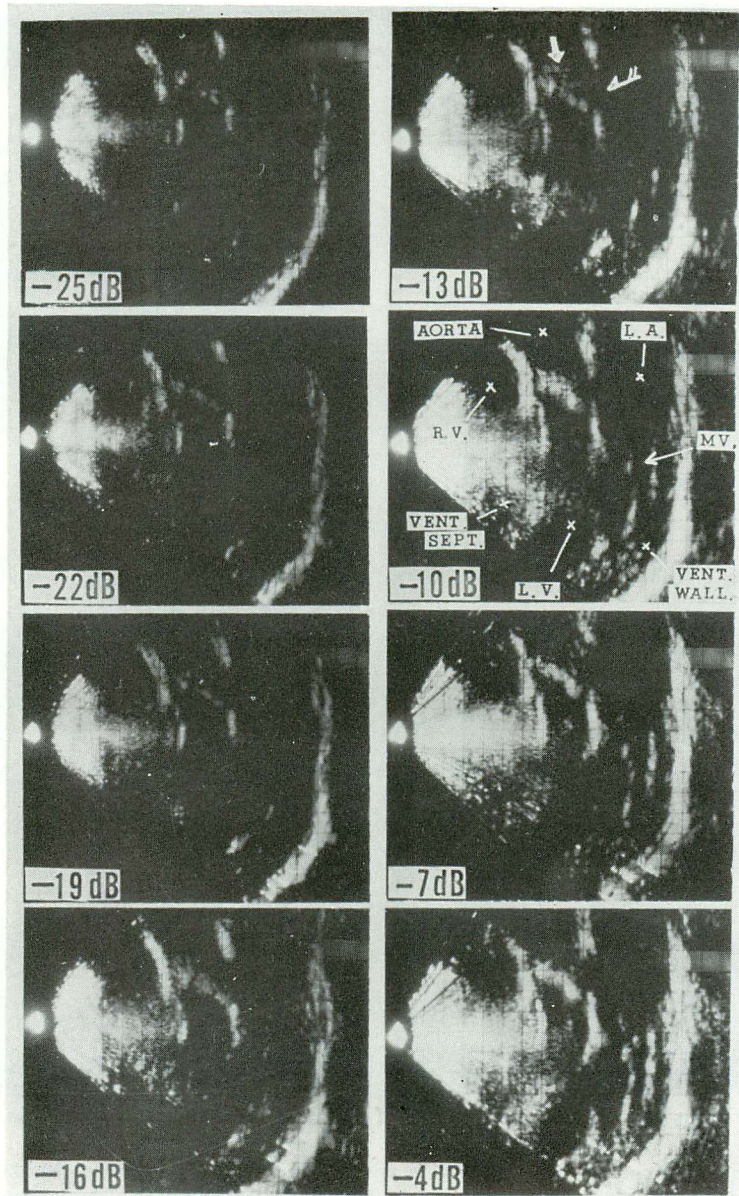
**Fig. 4. Sensitivity graded tomogram pair of the mitral valve with thickening of the leaflets and chordae.**

Difference in intensity between the echo reflected from the pericardium and that from the verruca is about 5 dB. The echo from the fibrous thickening is about 5 dB stronger than that from the normal valve tissue.



**Fig. 5.** Sensitivity graded tomogram pair of the verruca with calcification in the mitral valve.

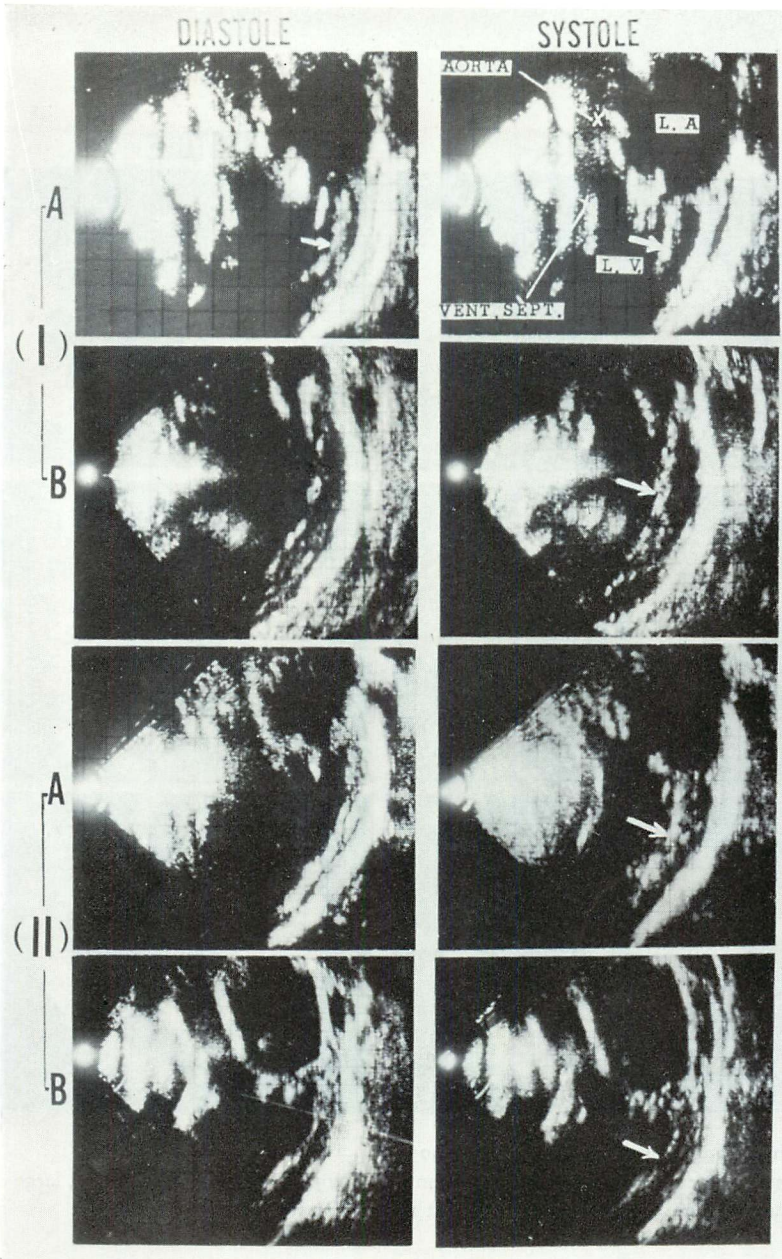
The echo intensity increases markedly and is as strong as the echo from the pericardium. In this case, an echo from thrombus is observed in the left atrium. The echo intensity of the thrombus is as strong as that of the verruca. These results indicate that fibrous changes occur in the intra-atrial thrombus.



**Fig. 6. Sensitivity graded tomogram pair of the aortic valve in aortic insufficiency.**

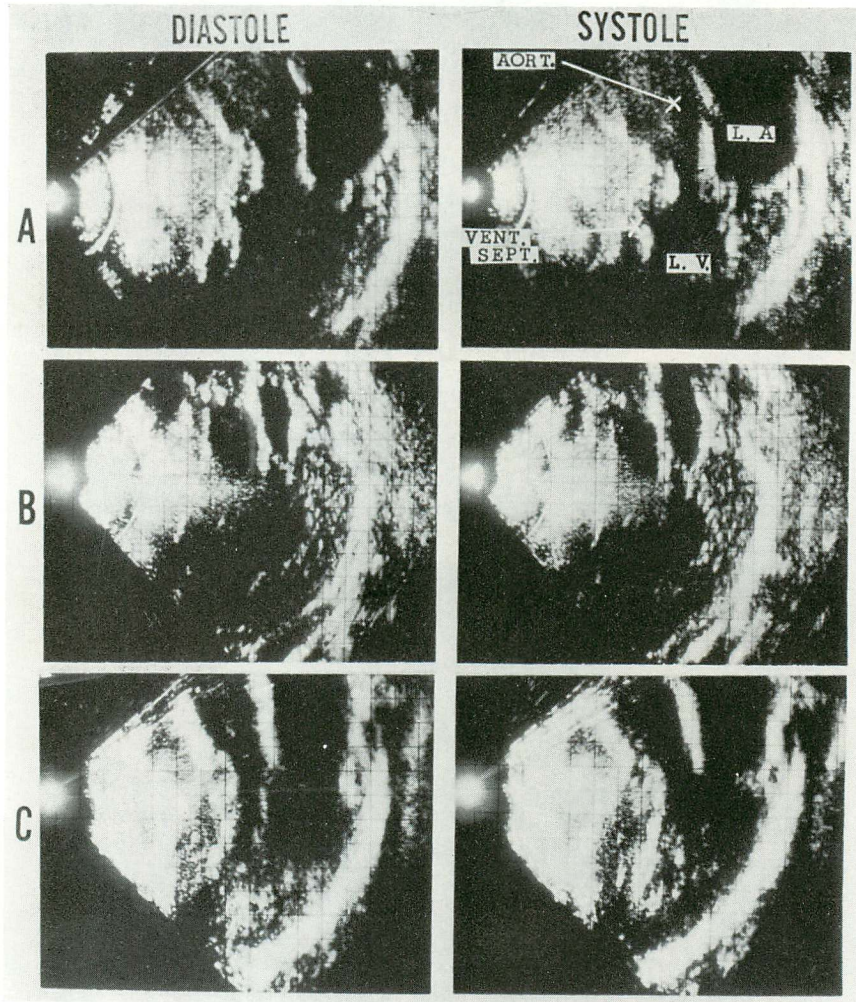
The echo reflected from the valve cusp is of marked intensity. The posterior wall echo of the aorta is absent because of the presence of the acoustic shadow which is presumably caused by the verruca in the valve cusp. These findings indicate the presence of calcification in the valve cusp.





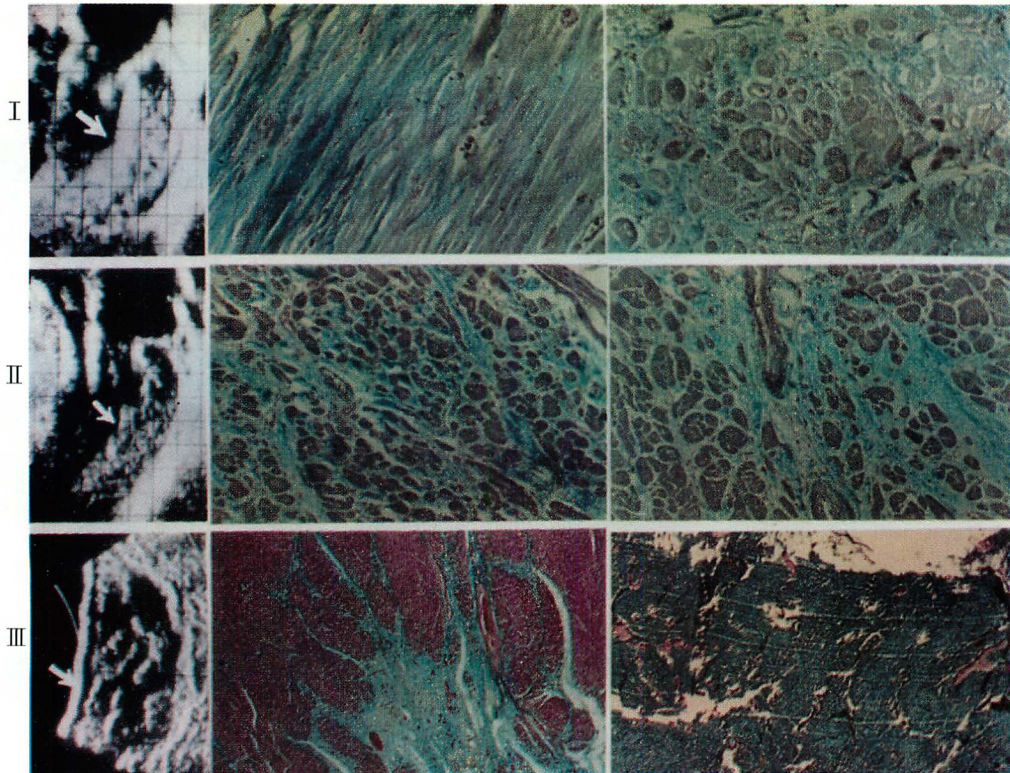
**Fig. 7. Increment of the intensity of echoes from the endocardium.**

Intensive band-shape echo is observed at the endocardium and intensity of this echo is about 10 dB stronger than that of the echo of the normal case.



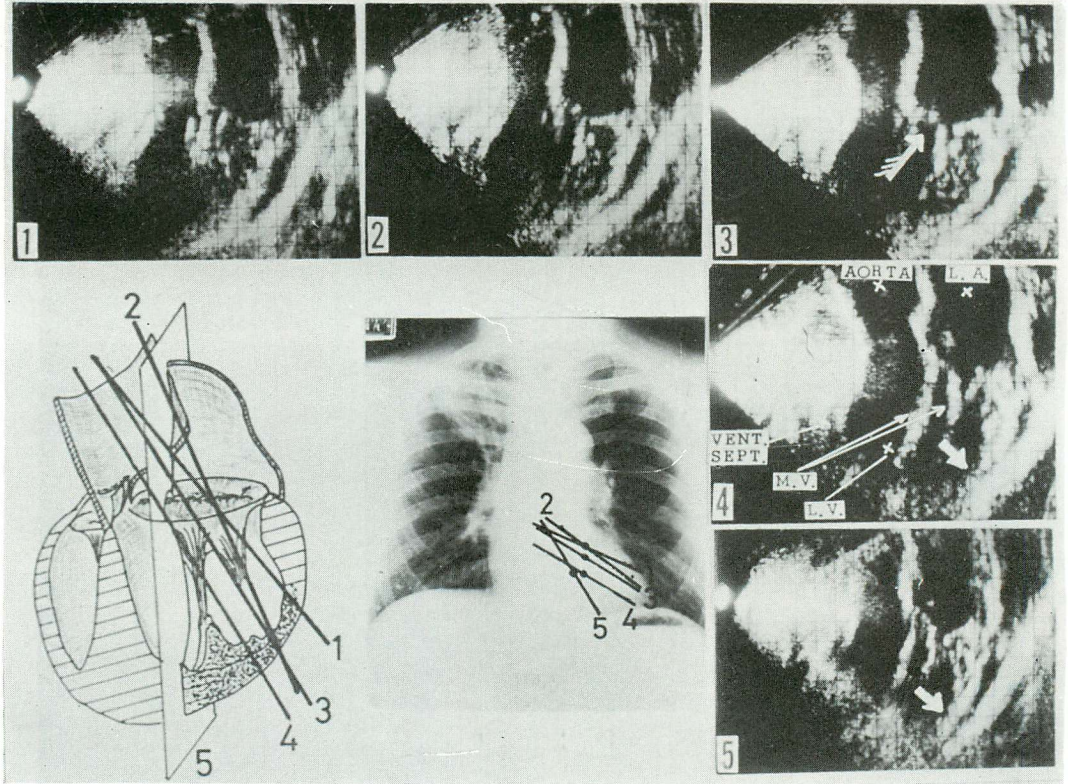
**Fig. 8. Three patterns of myocardial echoes.**

In the cases associated scattered degeneration or increment of the fibrous tissue, large or medium or fine granular echoes are observed in the left ventricular wall.



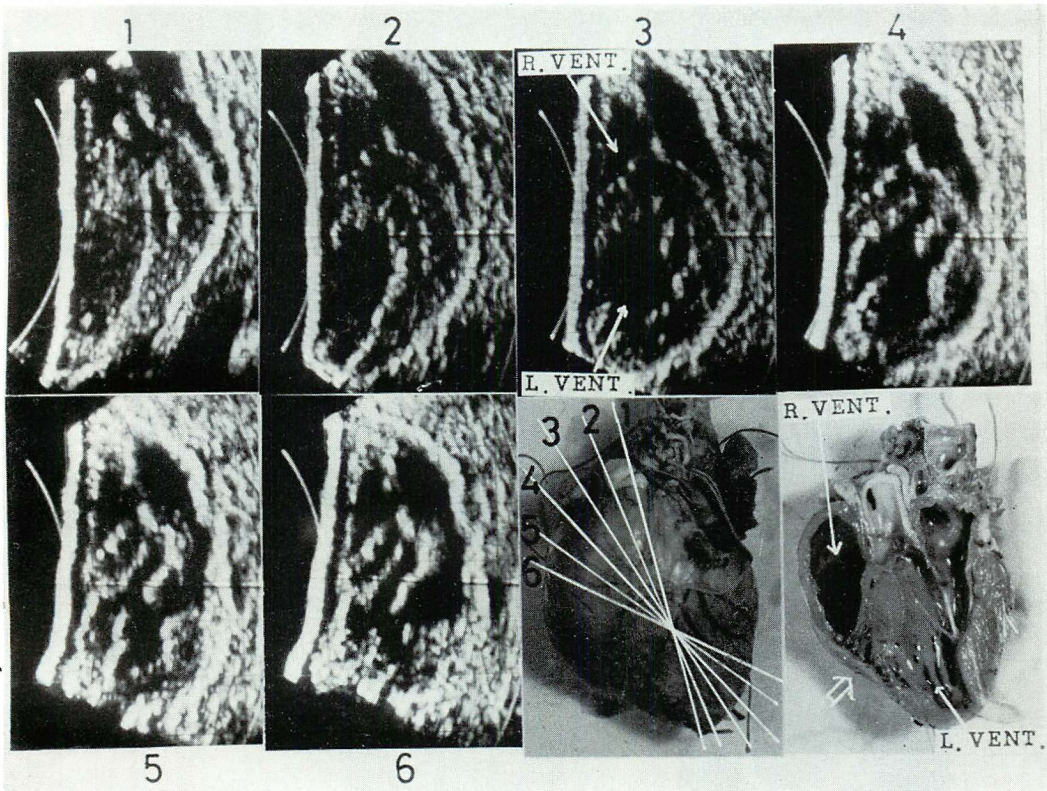
**Fig. 9. Comparison between the myocardial echo pattern and actual histological findings of the specimen obtained at autopsy.**

As shown by the white arrow in Case I, thick fibrous tissues are observed at the area which is demonstrated by a wide intensive echo. Degeneration of the myocardium and increment of the fibrous tissues are demonstrated in the area of nodular echoes of various size. As shown by the white arrow in Case III, scar is found at the area of the narrow intensive and band-shape echo. This is a case of anterior myocardial infarction in an experimental dog.



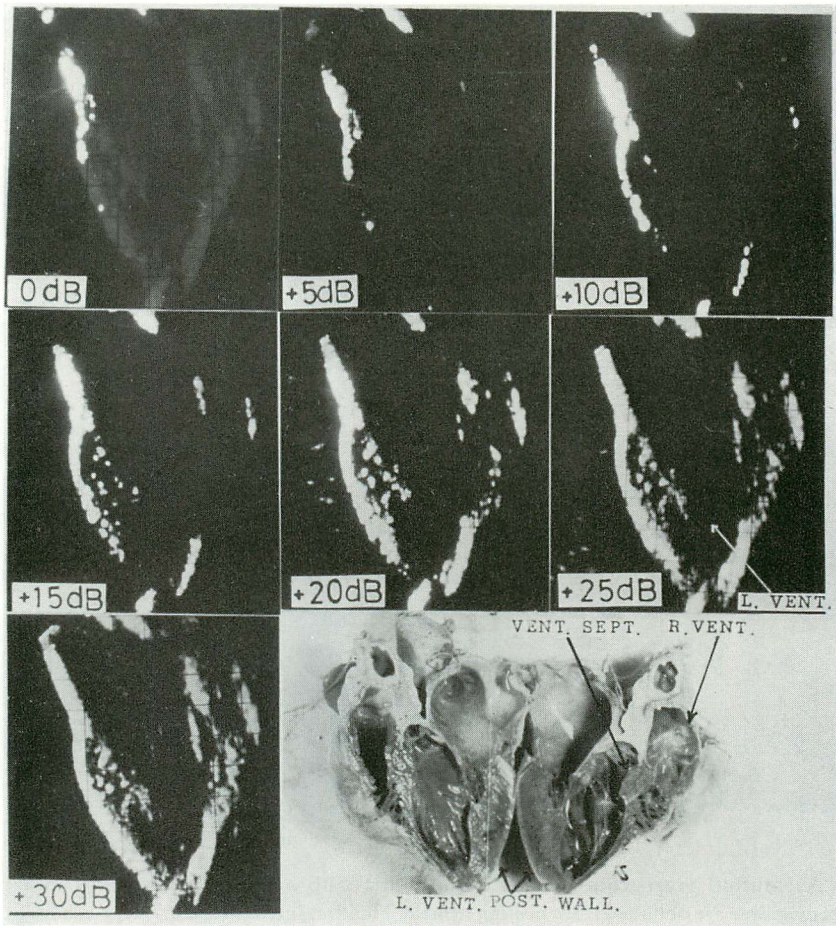
**Fig. 10. Azimuthal tomogram pair obtained from a case of posterior myocardial infarction of the transmural type.**

The white arrow indicates the area of scar in the posterior wall. A thin and intensive echo is found at this area demonstrated. The tomograms of No. 1 to No.5 are recorded along the black lines of the corresponding number drawn on the chest X-ray picture and on schematic figure. Myocardial infarction is clearly demonstrated on the tomograms of No. 4 and No. 5.



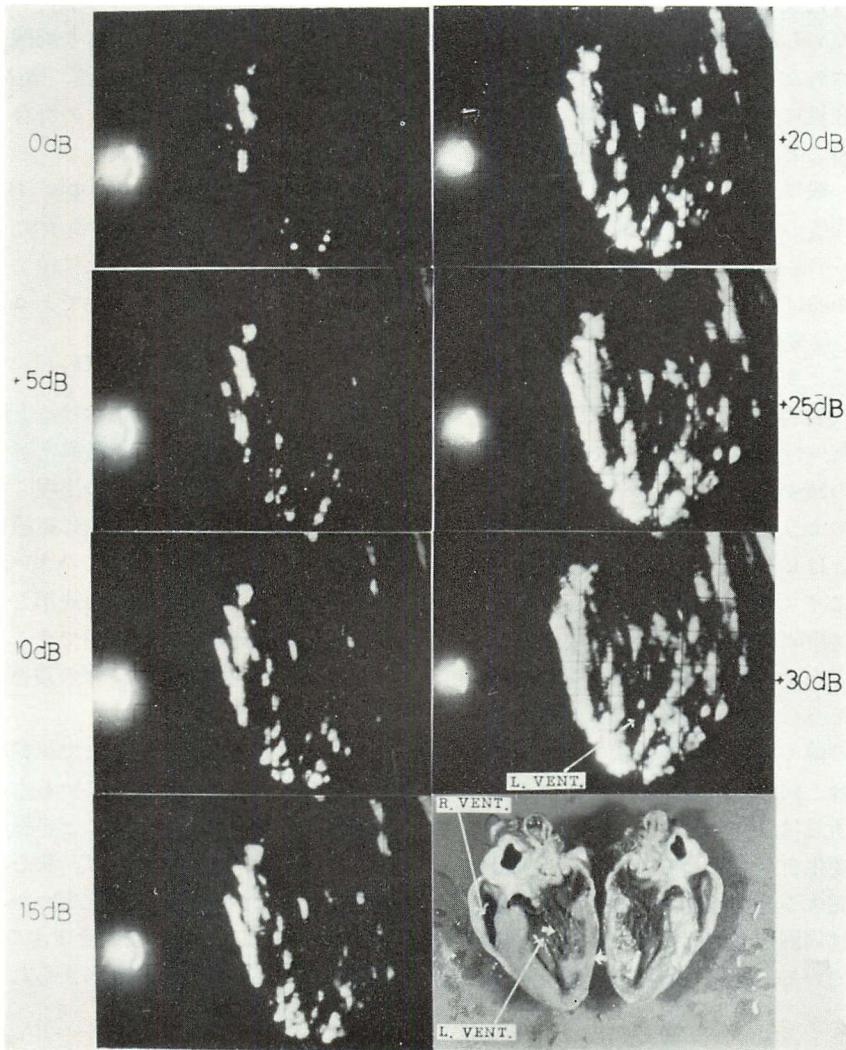
**Fig. 11. Azimuthal tomogram pair of a dog heart with anterior myocardial infarction.**

These tomograms are obtained from beating heart. Thin but intensive band-shape echoes caused by degeneration of myocardial tissue and scar formation are observed at the area shown by the white arrow. The ventricular septum suffering myocardial infarction becomes thinner as observed on the actual cross section of the excised heart.



**Fig. 12. Sensitivity graded tomogram pair taken in an excised dog heart.**

A case of posterior myocardial infarction. The heart is examined by the proximity immersion method. At the area of the scar formation, the myocardial echo is narrow and is more intensive than that of the non-infarcted area. The echo reflected from the scar appears at +10 dB and is about 10 dB stronger than that from the normal myocardium.



**Fig. 13.** Sensitivity graded tomogram pair obtained from an excised dog heart (subendocardial infarction).

The echo from the infarcted area is about 10 dB stronger than that from the normal myocardial tissue in the vicinity. As shown by the white arrow, the small nodular echo scattered in the myocardium adjacent to the endocardium can also be observed.

成を示した例の組織像の変化の状況を示したものである。

このような所見から、心内膜面エコー輝度の増加は内膜の線維性変化の存在を示し、心筋内に輝度の強い粗大ないし微細顆粒状のエコーが網目構造のごとく示されたときには、心筋に比較的小さい壊死巣が散在性に生じ、結合組織等の異常増加が起こっていることを示していると判断される。エコー強度は一般に大きく、心膜エコー強度と比べ 5~10 dB 程度の差があり、心筋部と比べ 10 dB 程度の差が示され、明らかな違いが起こっていることがわかる。

## 2) 限局性心筋変性

限局性に心筋に変化が起こる疾患としては、心筋梗塞がその代表的なものである。

**Fig. 10** は貫壁性の後壁梗塞の例である。梗塞部位では壁厚の減少とともにエコー強度の増加がみられる。このような心筋梗塞で、その組織所見を確認することはヒトでは難しい点が多いところから、実験的にイヌで心筋梗塞を作成し検討した。**Fig. 11** は前壁中隔に作成した貫壁性梗塞の例である。種々の方向から断層図を描かせ梗塞部を検出したものであるが、図中 5 および 6 の部分に中隔下部に厚みの薄くなった強い帯状のエコーを認め、ヒトの場合と同様の所見が示されている。この部分の組織所見は **Fig. 9** の下段に示したものであり、組織変化をよく現している。その摘出心を水浸法で検討すると、**Fig. 12**のごとく梗塞部の帯状エコーは周囲の心筋部エコーより約 10 dB 強度が増加している。同様の所見は後壁に作成し

た貫壁性梗塞でもみられた。

これに対し、内膜下梗塞を作成した例では、**Fig. 13**のごとく厚みの変化、左室の変形とともに、内膜側に粗大顆粒状のエコーの点在する所見がみられ、このエコーの強さはやはり周囲心筋エコーより約 10 dB 程度増加している。鏡検上、前述の心筋症における顆粒状エコーの場合と類似した点状の癍痕形成が認められた。

いずれも実際の macroscopic および microscopic な組織変化の存在する所に一致して異常所見がみられ、超音波像の上にはこのような組織性状の異常を示すことが可能であるといえる。

## 結 び

以上のことから、弁尖におけると同様、心筋部に器質的变化が発生し、組織異常が生じたときにも、形の変化、異常エコーの出現、エコー強度に注目して検討すると非観血的に組織の性状の変化を把握することができる。このさい、感度断層法を適用すると、心膜エコーを規準としてエコー強度を数値的に評価することができ、これを目安にして臨床的に有用な診断情報の獲得が可能であると考えられる。

しかし、超音波法はあくまで組織境界の音響インピーダンスの差を利用しているものであるから、組織変化の場合にも、実際にどの程度の組織変性から検出可能か、換言すれば、狭心症のごとく虚血性変化のどの状態から変化をつかみうるかを確定させるには、なお研究を要する問題があり、今後の検討が必要であると考えられる。