

断層心エコー図法による術  
中冠動脈描出の試み

Intraoperative visualization of coronary arteries using two-dimensional echocardiography

諏訪 道博  
須磨 久善\*  
弘田 雄三  
河村慧四郎  
佐々木進次郎\*  
武内 敦郎\*  
辻 隆之\*\*

Michihiro SUWA  
Hisayoshi SUMA\*  
Yuzo HIROTA  
Keishiro KAWAMURA  
Shinjiro SASAKI\*  
Atsuro TAKEUCHI\*  
Takayuki TSUJI\*\*

**Summary**

We attempted intraoperative ultrasonic visualization of the coronary arteries of animal models and of patients who underwent coronary artery bypass surgery. Ultrasonic visualization of coronary vessels using a high frequency wide band micro-transducer (3.5-9.0 MHz) was first attempted in three open-chest dogs. The coronary arteries were well visualized from the epicardium with and without contrast perfusion, and the experimentally-occluded portion was well imaged. Subsequently, this technique was clinically applied in two patients undergoing cardiac surgery for valvular and congenital heart diseases, and in nine patients undergoing coronary artery bypass surgery. Gas-sterilized probes were placed directly over the cardiac surface. Ultrasonic imaging of the coronary artery was performed to 1) detect the coronary arteries beneath the fat tissue; 2) image the lesions in coronary vessels, especially those not visualized by angiography; 3) determine the site of bypass grafting and evaluate the graftability to the distal branch (the latter was poorly visualized via collateral circulation or not visualized angiographically because of total occlusion at a proximal site); and 4) observe the effects of bypass grafting and intraoperative angioplasty of coronary arteries after these procedures.

This ultrasonic technique was found to be useful for the intraoperative evaluation of coronary vessels for coronary artery bypass surgery.

**Key words**

Intraoperative echocardiography

Coronary artery disease

Coronary artery bypass surgery

大阪医科大学 第三内科

\*同 胸部外科

高槻市大学町 2-7 (〒569)

\*\*東京医科歯科大学 医用器材研究所

東京都千代田区神田駿河台 2-3-10 (〒101)

The Third Division, Department of Internal Medicine and \*Thoracic and Cardiovascular Surgery, Osaka Medical College, Daigaku-cho 2-7, Takatsuki, Osaka 569, and \*\*Tokyo Medical and Dental University, Tokyo

Received for publication January 11, 1985; accepted January 29, 1985 (Ref. No. 27-73)

## はじめに

近年, 冠動脈疾患の増加とともに, 冠動脈バイパス術 (A-C バイパス術) が広く行なわれるようになり, 内科的治療とともに有益な治療法となっている。現在, A-C バイパス術施行に際し, 冠動脈病変部の確認は術前の冠動脈造影により行なわれており, まれには術中冠動脈造影による評価も行なわれている<sup>1)</sup>。しかし, 術中における冠動脈の同定や病変部位の評価は, 通常, 視診および触診により行なわれているのが現状である。今回, 我々は術中に冠動脈の画像診断が可能ならば多くの情報を提供することが出来ると考え, 開胸下に断層心エコー図による冠動脈描出を試み, 併せて A-C バイパス術後の吻合状態の観察も行った。

## 対象と方法

対象は予備実験用の麻酔下開胸犬 3 頭と, A-C バイパス術を目的として当院胸部外科に入院した成人患者 9 名で, 対照として, 心房中隔欠損症および弁膜症患者各 1 名においても観察を行った。

A-C バイパス術施行患者の罹患病変は, 左主幹部 1 名, 3 枝病変 5 名, 2 枝病変 1 名, 1 枝病変 2 名で, 9 名中 4 名に心筋梗塞の既往を認めた。

使用した装置は東芝製 SAL-50A で, 5 MHz を中心とした wide band, 26 素子, 視野幅 26 mm の micro-probe に約 1 cm 幅の water bag を装着して使用した。なお, probe は ethylene oxide による 24 時間のガス滅菌を行った。断層心エコー図による各冠動脈の観察は, 体外循環下において, 開胸犬では電氣的細動下に, A-C バイパス術施行患者では全身冷却による心室細動下に, 大動脈遮断を行わず, 人工心肺による灌流下に行った。記録にはポラロイドフィルムを使用し, freezing system による冠動脈拡張時の静止像を撮影した。また, A-C バイパス完了後, 自己心拍再開後に各吻合部を検索した。

なお, 観察は可能なかぎり冠動脈起始部より遠

位側へ連続して行ない, 左冠動脈主幹部 (LMT), 左前下行枝 (LAD), 左回旋枝 (LCX) および右冠動脈 (RCA) を観察した。Fig. 1 は, 術中 LAD 近位部の観察状況を示している。また, 断層心エコー図による冠動脈狭窄度の評価を行い, 従来の冠動脈造影での評価と対比検討した。断層心エコー図による冠動脈内径は, 原則として血管壁厚を除外した内腔のみの測定より求めたが, 病変部は連続して得られる内腔エコー像の最小内径を計測した。さらに, 冠動脈造影より求められる area reduction と対応させるため, 断層心エコー図より求められる luminal narrowing を次の式より算出した。

$$\frac{\{(Dp/2)^2 - (Ds/2)^2\}}{(Dp/2)^2}$$

Dp: 冠動脈狭窄部の近位側における正常冠動脈内径

Ds: 狭窄部の冠動脈内径

## 結 果

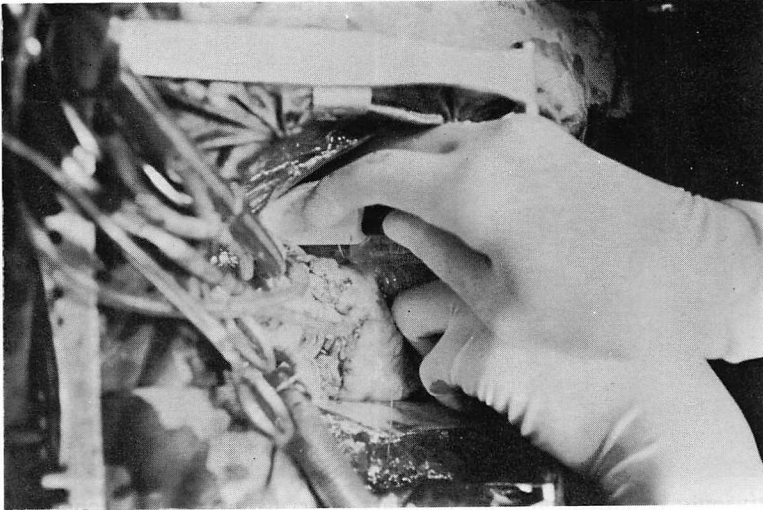
### 1. 開胸犬および正常人冠動脈における予備実験

予備実験として開胸犬において冠動脈の観察を行った結果, LAD および RCA が明瞭に描出された (Fig. 2)。ついで, 描出される管腔が冠動脈であることを確認するため, 第 1 対角枝より逆行性に LAD に挿入したカニューレより indocyanine green を注入し, コントラスト法を試みた。注入後, contrast agent により管腔が造影され, LAD であることが証明された (Fig. 3)。また, 断層心エコー図法による冠動脈狭窄部の描出が可能であるかを検討するために, LAD に external constriction を行い, 同部を観察した。その結果, 狭窄部も健常部と同様, 明瞭に描出可能であることが実証された (Fig. 4)。

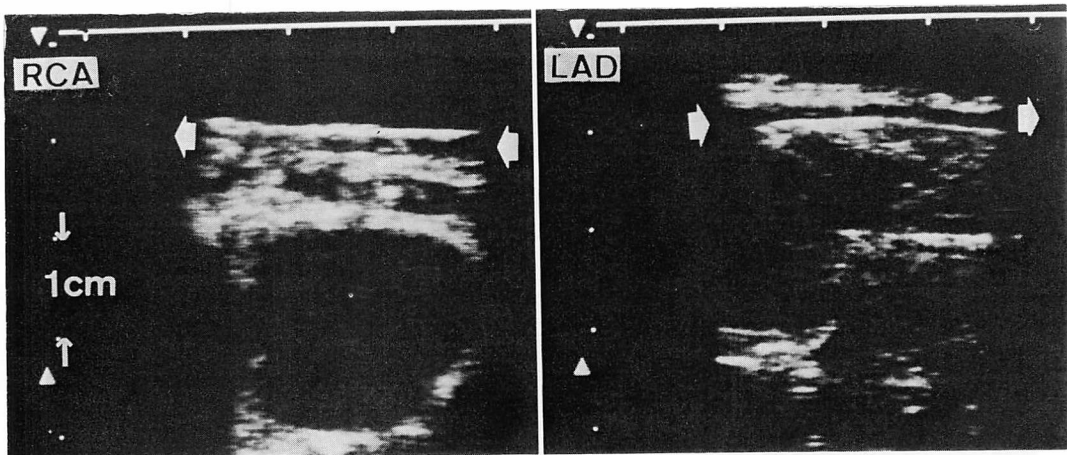
以上の結果をもとに, 臨床応用として 2 名の非冠動脈疾患患者においても観察を行い, 断層心エコー図によるヒト冠動脈描出が可能であることが証明された。

### 2. 冠動脈病変部への応用

冠動脈疾患例への応用にさいしては, 各冠動脈

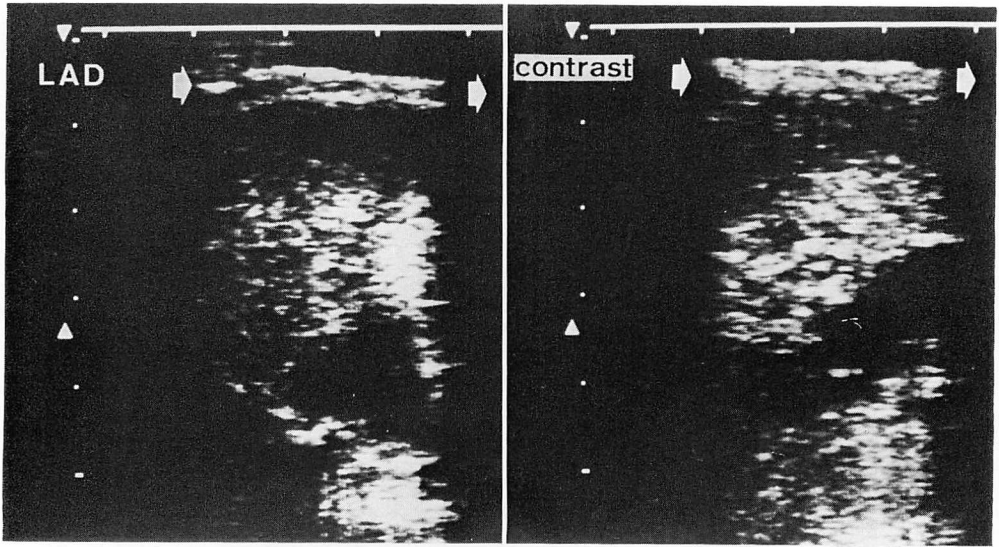


**Fig. 1. Intraoperative manipulation of the ultrasonic micro-transducer.**  
The micro-probe is directly placed over the left coronary artery using a water bag as a coupler.



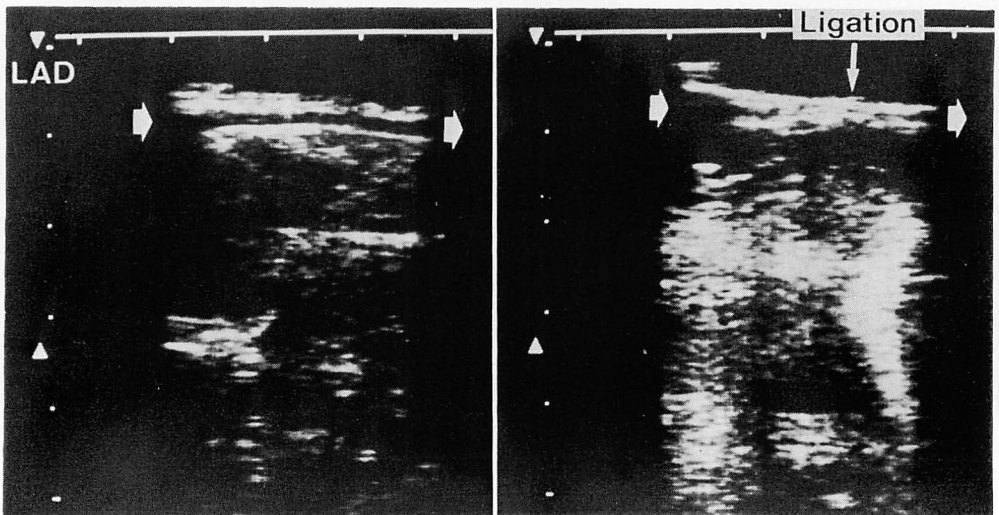
**Fig. 2. Longitudinal ultrasonic images of the right coronary artery (RCA) and the left anterior descending coronary artery (LAD) of an open-chest dog.**

The LAD lies beneath the thin fat pad represented by a bright echo, but such a fat pad is not seen above the RCA. The calculated diameter of the LAD and RCA is each 2 mm. Arrowheads point to the direction of blood flow.



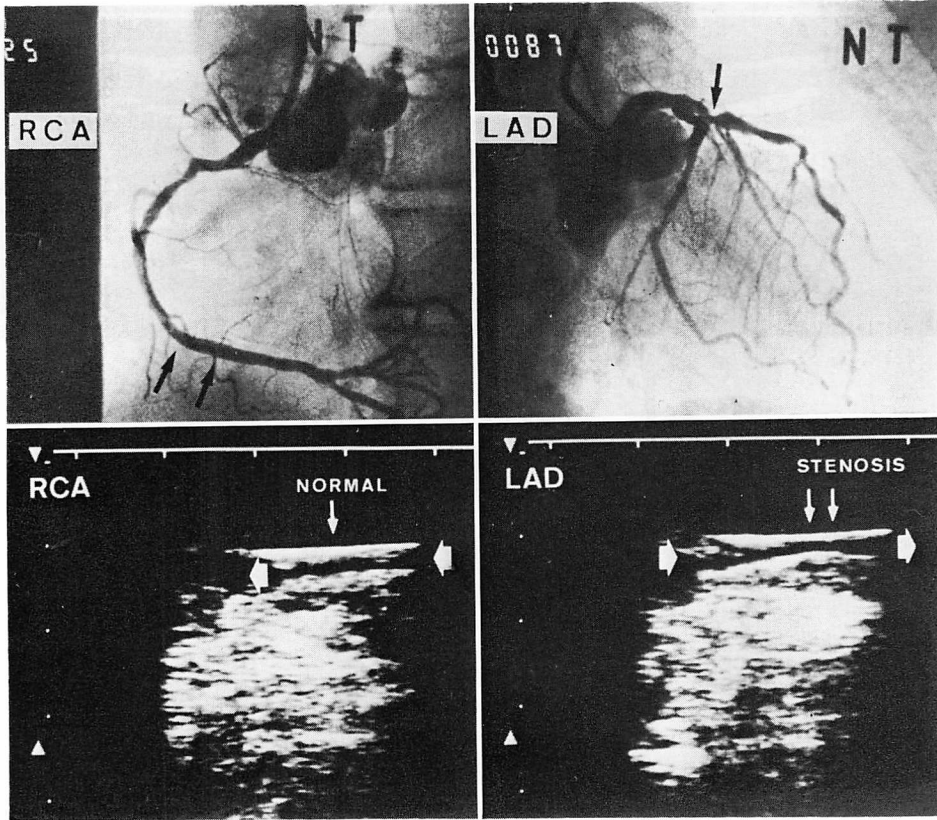
**Fig. 3. Ultrasonic visualization of the coronary artery using contrast technique in an open-chest dog.**

To locate the coronary artery, the LAD is imaged by indocyanine green by retrograde infusion from the diagonal branch.



**Fig. 4. Ultrasonic imaging of the experimentally-occluded coronary artery.**

Visualization of the coronary artery is attempted after the ligation of the LAD. The lumen before the ligation is reduced in size following this procedure.



**Fig. 5. Angiographic and intraoperative ultrasonic images of the right and left coronary arteries in a patient with three-vessel disease (54-year-old man).**

The right upper panel is an angiographic image of the stenosis in the LAD (black arrow), and the right lower panel shows the corresponding ultrasonic image (vertical white arrows). The left upper panel is an angiogram of the RCA with a 75% proximal lesion obtained from the same patient, and the left lower panel shows the ultrasonic image taken from the normal portion (corresponding to two black arrows in the angiogram) to locate the site of a bypass grafting.

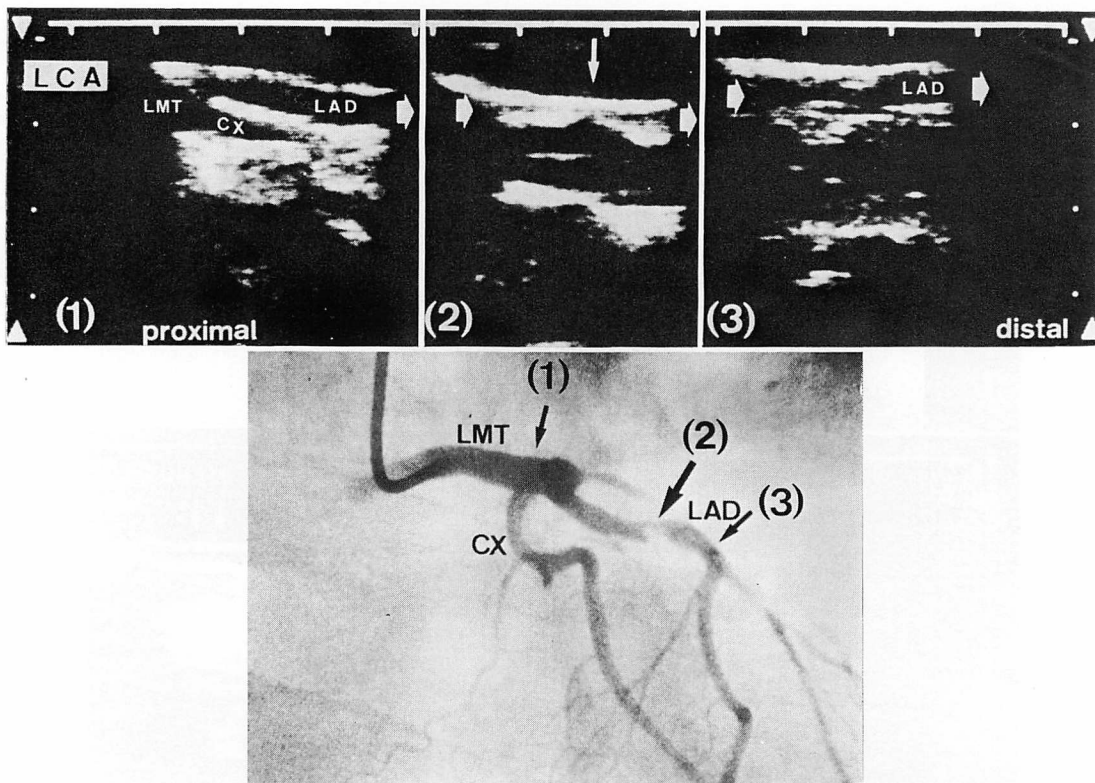
の同定、狭窄部位および狭窄度の確認、さらに graft 吻合部の吻合状態の観察を行った。

**Fig. 5** は 3 枝病変例の断層心エコー図による冠動脈描出結果を冠動脈造影と対比したもので、LAD 病変部と RCA の吻合予定部が断層心エコー図により描出されている。

**Fig. 6** は LAD の病変例で断層心エコー図により描出された、左冠動脈近位部より遠位部への連続観察を示している。冠動脈造影上認められる病変部位および病変状態が、断層心エコー図上、

明瞭に確認された。また、左回旋枝は背側に廻るため、通常の観察では近位部のみの描出に留った。

**Fig. 7** は RCA 近位部病変を、冠動脈造影および断層心エコー図により描出したものである。冠動脈造影上、RCA 近位部は著しく狭小化しているが、断層心エコー図では内腔の狭小化が認められるも、一部に開存性が認められた。以上より、断層心エコー図による冠動脈の描出によって狭窄部位が同定され、さらにバイパス吻合予定部位が十



**Fig. 6.** Ultrasonic and angiographic images of the LAD with a severe proximal lesion (62-year-old man).

The lower panel is an angiographic image showing a severe stenosis in the LAD (large black arrow: 2). The corresponding ultrasonic images of the LAD are shown in the upper panels. The left panel (1) is the ultrasonic image of the LAD and left circumflex artery (CX) bifurcating from the left main trunk (LMT) (corresponding to the black arrow: 1), the middle panel (2) is the ultrasonic image made immediately over the lesion (white vertical arrow corresponding to the black arrow: 2), and the right panel (3) represents the distal site of the LAD (corresponding to the black arrow: 3) planned for the bypass grafting.

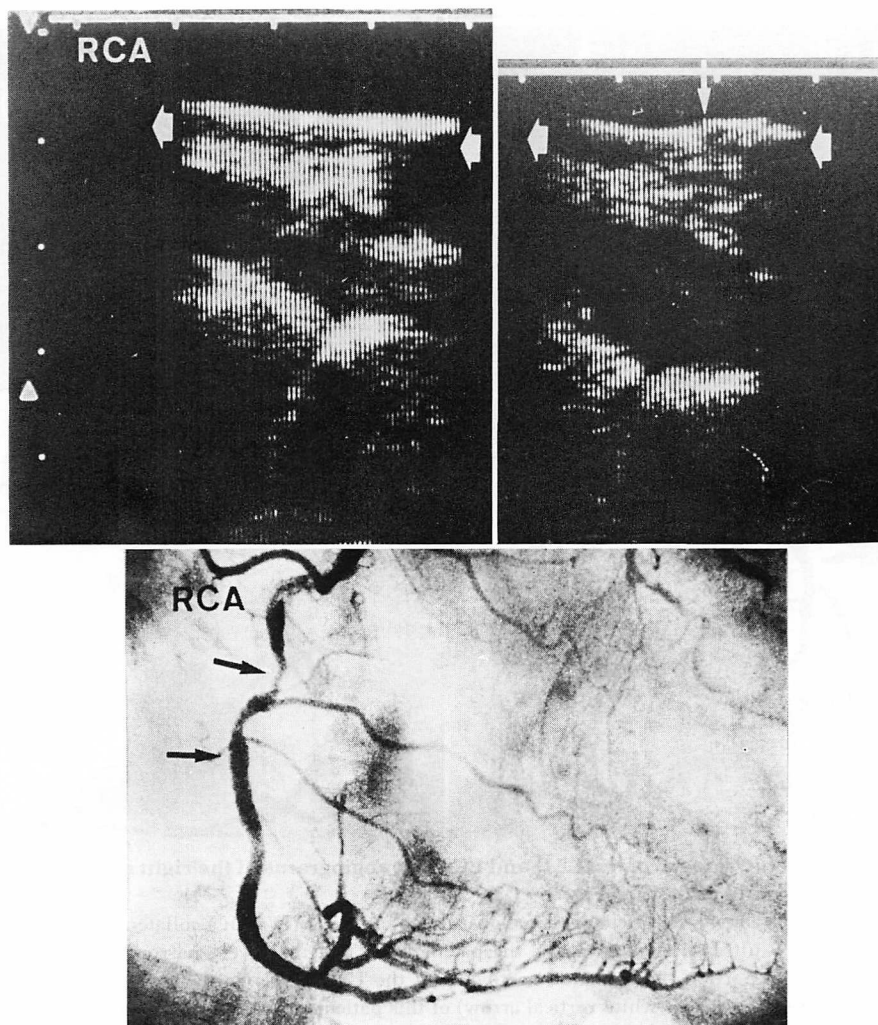
分な graftability を有していることが確認された。

一方、断層心エコー図は、冠動脈造影上造影されない血管における graftability の評価にも有用であった。Fig. 8 は RCA より側副血行路を介してわずかに造影される LAD を断層心エコー図により描出したものである。本例では、本法により LAD への graftability 確認され、A-C バイパス術を施行した。

本法による graft 吻合後の吻合状態観察も容易であった。Fig. 9 は LAD への graft 吻合部の

断層像を示し、graft の長軸像および横断像が描出されている。Fig. 10 は大動脈と graft との吻合部を示す。

Table 1 は A-C バイパス術施行患者 9 名における、病変部の観察結果を示したものである。断層心エコー図による LAD および RCA における冠動脈内腔の観察は、近位部より遠位部までほぼ全例において可能であったが、LCX は解剖学的な問題のため、通常の観察では近位部のみに制約された。また、冠動脈病変部における狭窄度を、



**Fig. 7. Angiographic and ultrasonic images of the RCA with a severe proximal obstruction (52-year-old man).**

The lower panel is an angiogram of the RCA with a severe stenosis (upper black arrow) in the proximal portion. The corresponding ultrasonic picture (white vertical arrow) is shown in the upper right panel. The upper left image shows the distal portion (corresponding to the lower black arrow in the angiogram) of RCA where bypass grafting is planned.

冠動脈造影および断層心エコー図によりそれぞれ求め、比較した。Fig. 11 は、冠動脈造影より求めた percent reduction of cross-sectional area と、断層心エコー図より求めた percent narrowing of luminal diameter をそれぞれの狭窄度を示すもの

として対比したものであるが、冠動脈造影上、有意な狭窄と考えられる 75% 以上の狭窄は、断層心エコー図上、内径の 50% 以上の狭小化として評価され、これらの有意狭窄は、本方法によって十分検出可能であると考えられた。

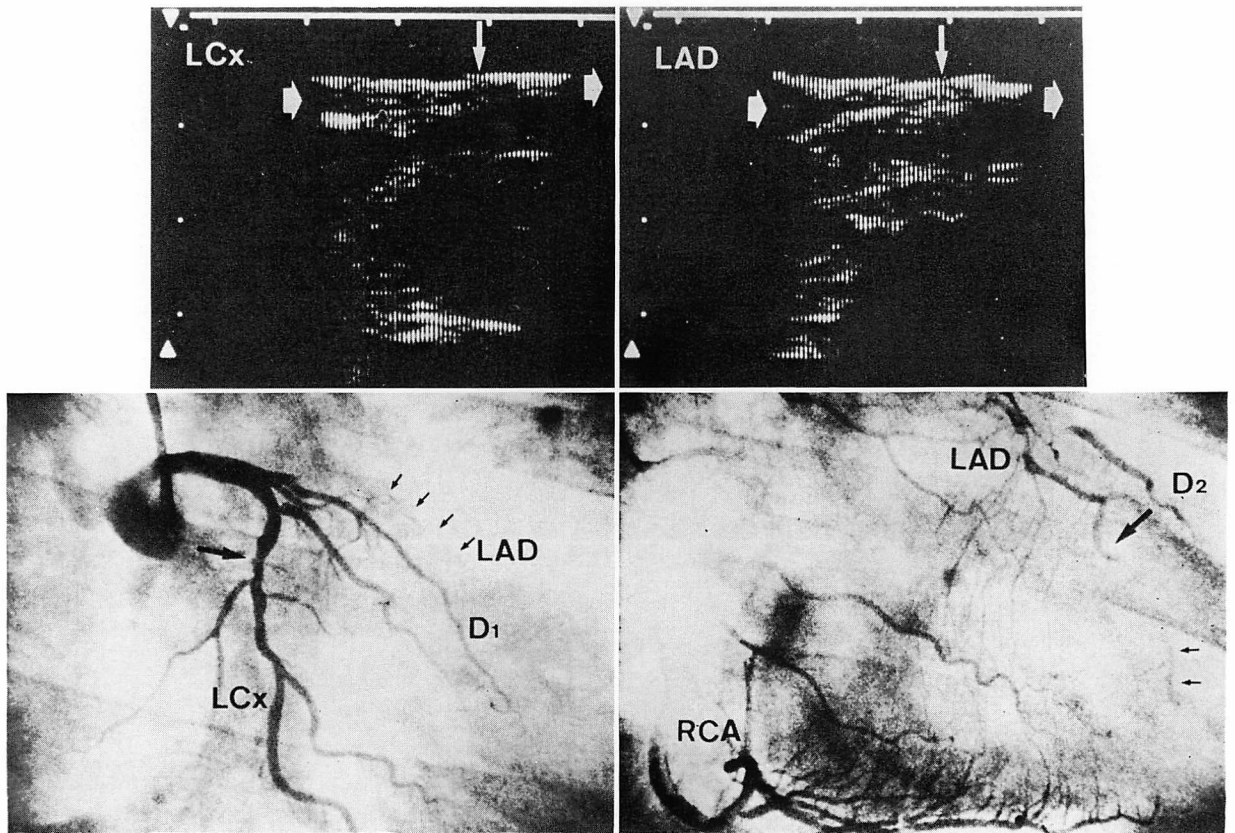


Fig. 8. Ultrasonic images of the LAD and LCx and angiograms of the right and left coronary arteries in the same patient as Fig. 7.

The angiograms show a complete proximal obstruction of the LAD with a collateral circulation from the RCA. The left ultrasonic image shows the patent LAD and the severe narrowing (white vertical arrow) in the distal portion. A segmental narrowing of the LCx is seen in the angiogram, and the corresponding ultrasonic image (white vertical arrow) of this patient reveals severe narrowing at the corresponding portion (left upper panel).

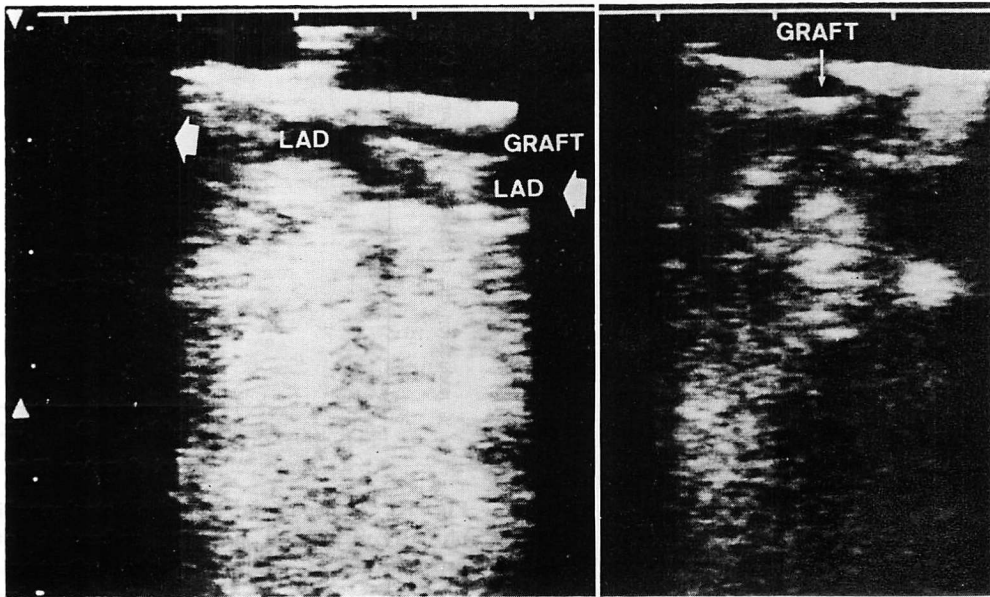
### 考 按

冠動脈疾患の外科療法, すなわち冠動脈血行再建術は, 内科療法によりコントロール不可能な狭心症や, 冠動脈閉塞による心筋梗塞を発生しうる冠動脈病変例に対し行なわれ, 近年, 飛躍的な進歩をとげている。

現在, 手術に際し, 冠動脈病変部の評価には, 術前の冠動脈造影, および術中に心表面より行なう視診と触診以外, 有効な方法がないのが現状で,

そのほかにはドプラー法による間接的血流測定法があるのみであった<sup>2)</sup>。一方, バイパスの吻合状態, およびバイパス術にさいし同時に施行される冠動脈拡張術の評価には, 術中冠動脈造影法が有用であるという報告があった<sup>1,3)</sup>。しかし, 側副血行路を介し逆行性に造影される主要分枝の内腔確認, あるいは脂肪層に埋没する冠動脈の検出, さらに A-C バイパス吻合部位の決定や手術効果の判定などに対し, 新たな術中冠動脈形態診断法が必要とされていた。





**Fig. 9. Longitudinal and transverse ultrasonic images of a vein graft inserted into the mid-portion of the LAD (60-year-old man).**

The left panel is the longitudinal image of a vein graft inserted into the mid portion of the LAD. The anastomosis between the vein graft and the original LAD is clearly demonstrated. The transverse image of the vein graft shows the patency of its lumen (right panel).

**Table 1. Ultrasonic data of luminal visualization of coronary lesions in each vessel**

	LMT	LAD	LCx	RCA
1. Y.K.	75% ○	0% ○		0% ○
2. T.Y.		90% ○	75% -	prox 75% - dist 0% ○
3. S.O.		75% ○	100% ×	75% ×
4. K.N.		99% ○	90% -	75-90% ○
5. J.T.		90% ○	75% -	0% ○
6. T.A.	0% ○	prox 90% ○ dist 0% ○	0% ○	
7. K.S.		100% ○	75% ○	75% ○
8. S.H.		75% ○	90% -	prox 99% - dist 0% ○
9. T.Y.		prox 99% ○ dist 0% ○		0% ○

dist=distal lesion of coronary vessel; LMT=left main trunk; LAD=left anterior descending artery; LCx=left circumflex artery; prox=proximal lesion of coronary artery; RCA=right coronary artery; ○=possible visualization; ×=impossible visualization; -=visualization not performed.

近年, Sahn らは超音波装置を用いて開胸下に冠動脈の描出を行い, この方法が有用な検査法になり得ると報告している<sup>4)</sup>. 今回, われわれは

microprobe を使用した電子走査型超音波断層装置を用い, 術中, 冠動脈の超音波診断が可能であるかを検討した. その結果, 主要冠動脈の術中内腔確認には本法が有用であることが実証された. しかし, 主として解剖学的な問題のため, 左回旋枝は通常のアプローチでは近位部のみの描出に留り, 遠位側の描出には心臓を人為的に挙上させる必要があった. また, 本法は吻合予定部位の冠動脈内腔の評価, バイパス吻合後の吻合状態の確認にも有用であった.

一方, 断層心エコー図による冠動脈描出は内腔の1断面にすぎないため, 種々の冠動脈病変の判定には問題を残すが, Fig. 11 に示したように, 有意な冠動脈狭窄例では, 断層心エコー図上, 50%以上の内径狭小化と判断された. また, それによる冠動脈内径 (luminal diameter) と造影での断面積 (cross-sectional area) のおのおの %reduction

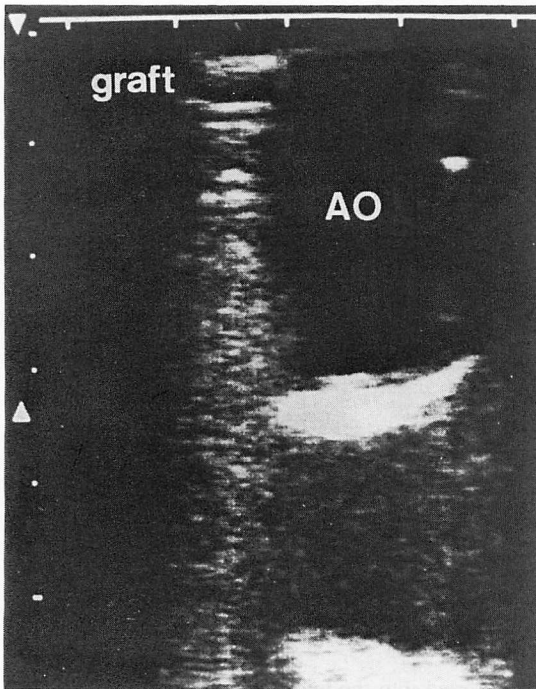


Fig. 10. Longitudinal ultrasonic image of a vein grafted to the aorta (AO) (55-year-old man).

The anastomosis of a vein grafted to the aorta is shown. The aorta is imaged transversely while the vein graft imaged longitudinally.

には正の相関関係があり, そのため1断面での評価によっても, 十分に冠動脈狭窄度を推定しようと判断された. しかし, 本装置の距離分解能が0.7 mm であるため, 冠動脈内径の実測値としての評価には問題を残し, 狭窄部の評価は内腔の%reduction という表現に留めた.

現在, Sahn らによって使用されている装置は, Biosound 製 9 MHz mechanical scanner であるが, 彼ら自身も指摘している通り, その装置に問題があり, scanner 自体が非常に大きく, 観察が主要分枝に限局され, また freezing system を持たないなどが欠点としてあげられる. 我々が使用した装置は, micro-probe であり, 心表面での冠動脈主要分枝の確認は種々な方向より行い得るが, 5 MHz を中心とした wide band であるもの

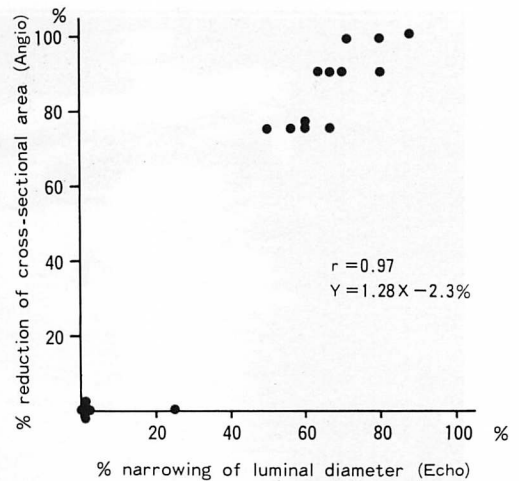


Fig. 11. Comparison of the angiographically-measured percent reduction of the cross-sectional area and the ultrasonically-measured percent narrowing of the luminal diameter of the coronary arteries.

It is shown that the significant lesions of the coronary arteries on angiogram can be detected ultrasonically, and that 50% narrowing of the luminal diameter echocardiographically corresponds to 75% reduction of the corresponding cross-sectional area angiographically.

の, 分解能にやや問題が残し, 今後優れた分解能を有する micro-probe の開発が待たれる. さらに, 内腔のみの表現に留らずドプラー法を利用した血流の検出が可能となれば, より有用な診断法となり, したがって両方法の併用が可能な装置の出現が期待される.

## 要 約

動物モデルおよび冠動脈バイパス術施行患者において, 断層心エコー図法による術中冠動脈描出の有用性を検討した. 5 MHz, wide band の micro-probe を直接心表面に固定, まず麻酔下開胸犬において使用, ついで非冠動脈疾患患者2名, および冠動脈バイパス術施行患者9名において, ガス滅菌下の探触子を用い, 超音波による冠動脈描出を行った. その際, 1) 脂肪組織下の冠動脈

の同定, 2) 冠動脈病変部, とくに冠動脈造影によって描出されない病変部の検出, 3) バイパス吻合場所の決定, および近位部閉塞病変のために造影されない血管や, 側副血行路を介しての描出が不明瞭な血管へのバイパス吻合の可能性の検討, 4) バイパス吻合部の吻合状態や, 術中冠動脈拡張術の評価などに関して臨床的な有用性を検討した。

その結果, 冠動脈バイパス術施行に際し, 断層心エコー図法による冠動脈描出は有用な方法であることが実証され, 今後, 術中冠動脈評価法として, 幅広く応用されると考えられる。

#### 文 献

- 1) Diethrich EB, Kinard SA, Scappatura E, Mitsuoka H, Moiel D: Intraoperative coronary arteriography. *Am J Surg* **124**: 815, 1972
- 2) Wright C, Doty D, Eastham C, Laughlin D, Krumm P, Marcus M: A method for assessing the physiologic significance of coronary obstructions in man at cardiac surgery. *Circulation* **62** (Suppl 1): I-111, 1980
- 3) Rainer WG, Sadler TR, Hilgenberg AD, Kelly TF: Technique and value of operative arteriography in coronary artery bypass operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* **83**: 358, 1982
- 4) Sahn DJ, Barratt-Boyes BG, Graham K, Kerr A, Roche A, Hill D, Brandt PWT, Copeland JG, Mammana R, Temkin LP, Glenn W: Ultrasonic imaging of the coronary arteries in open-chest humans: Evaluation of coronary atherosclerotic lesions during cardiac surgery. *Circulation* **66**: 1034, 1982

1) Diethrich EB, Kinard SA, Scappatura E, Mitsuoka