

経静脈的心腔内エコー図法
による冠血流, 心筋虚血の評価

Evaluation of coronary
flow and myocardial
ischemia by transvenous
and intracardiac two-
dimensional echocardi-
ography

谷川 直
森内 正人
神田 章弘
鎌田 智彦
斎藤 穎
小沢友紀雄

Naoshi TANIGAWA
Masahito MORIUCHI
Akihiro KANDA
Tomohiko KAMATA
Satoshi SAITO
Yukio OZAWA

Summary

The purpose of this study was to observe ventricular wall motion in myocardial ischemia and to image coronary artery flow by transvenous intracardiac two-dimensional echocardiography. Ten mongrel dogs (body weight 24-34 kg) were anesthetized by intravenous sodium pentobarbital (25 mg/kg) and ventilated using a Harvard respirator after tracheotomy. Real-time Doppler two-dimensional echocardiography (ALOKA SSD-870) and a transesophageal probe (5 MHz, 24 elements, diameter 6.8 mm, phased array transducer) were used. The probe was introduced into the right atrium via the femoral vein. Myocardial ischemia was induced under fluoroscopic control by the inflation of a balloon catheter in the coronary artery, or by beads embolization of the coronary artery in closed-chest dogs, or by ligation of the coronary artery after a left or right thoracotomy. The wall motion of the right and left ventricles was observed by using the probe positioned in the lower right atrium. Visualization of the coronary artery and the flow velocity were studied with the probe in the mid right atrium.

1) Imaging: The left coronary artery, left main coronary artery and left anterior descending artery were easily observed by the probe positioned in the mid right atrium. The blood flow velocity in the left main coronary artery was consistently recorded. Changes in the blood flow velocity by coronary vasodilators such as dipyridamole, isosorbide dinitrate and nicorandil were clearly detected.

2) Detection of the myocardial ischemia: During the right coronary artery occlusion the right ventricle showed marked dilatation and hypokinesis, and the interventricular septum showed paradoxical movement and was displaced towards the left ventricular cavity. The left ventricular wall showed thinning, akinesis and bulging during myocardial ischemia. While the left circumflex coronary artery

日本大学医学部 第二内科
東京都板橋区大谷口上町 30-1 (〒173)

The Second Department of Internal Medicine, Nihon
University School of Medicine, Ohayaguchi-kami-
machi 30-1, Itabashi-ku, Tokyo 173

Received for publication September 28, 1991; accepted March 5, 1992 (Ref. No. 39-69)

was ligated, the posterior papillary muscle showed thinning and increased echo intensity. The process after the coronary artery was released could be observed easily and continuously.

This is the first report of detection of myocardial ischemia and the visualization of coronary artery and flow by transvenous intracardiac two-dimensional echocardiography. This method was very useful for cardiac monitoring during PTCA, intravascular echocardiography and intravascular endoscopy. High frequency ultrasound may be used in the future for myocardial tissue characterization. We believe the technique is superior to angiography for monitoring the heart because the latter needs contrast medium and is not capable of visualizing a number of cardiac cycles.

Key words

Coronary artery flow Myocardial ischemia Transvenous intracardiac two-dimensional echocardiography

はじめに

Interventional cardiology の進歩は、経皮的冠動脈形成術 (PTCA), 弁形成術, また WPW 症候群におけるカテーテル焼灼術など、極めて急速である。しかしこれらのインターベンションに際して、X線透視が必須であるため、断層心エコー図法などによる心機能のいっそう詳細な同時的モニターは不可能なことが多く、一般的には血圧、心電図などに頼るのみである。我々¹⁻⁵⁾は小型化した経食道用セクター電子走査型断層心エコー図法の探触子を実験的に雑種成犬の右房内へ挿入し、直接心腔内より極めて鮮明な心臓、大血管の画像を得た。この研究では経静脈心エコー図法により冠血流および心筋虚血時の壁運動の変化を検討し、これらの侵襲的断層心エコー図法が interventional cardiology における心機能の連続的モニターに対して極めて有用であり、今後発展すべき方法と考えるので報告する。

対象および方法

対象

雑種成犬 10 頭 (体重 24-34 kg) で、ペントバルビタール静脈麻酔下 (25 mg/kg) に気管内挿管し、ハーバードレスピレーターで機械的人工呼吸を行なった。

方法

経食道超音波プローブを外頸静脈あるいは大腿静脈の静脈切開により右房内へ挿入した。右房中

位レベルからは冠動脈のイメージング、血流速度を、また右房下位レベルでは左室短軸断面あるいは4腔断面を記録し、右室、および左室の全周にわたる心内膜の壁運動を検討した。

心筋虚血の作成は、X線透視下にて閉胸で、右あるいは左冠動脈をバルーンカテーテルあるいはマイクロビーズ塞栓により閉塞、または開胸により左前下行枝、回旋枝あるいは右冠動脈の結紮を行なった。

装置

実時間ドップラー断層装置はアロカ製 SSD-870 を使用、超音波探触子は経食道用セクター電子走査型で発振周波数 5 MHz, 24 素子, 外径 6.8 mm を用い、心臓のイメージングは断層法、実時間ドップラー断層法、パルス・ドップラー法により行なった。

結 果

1. 心筋虚血時の心臓壁運動の変化

1. カテーテルにより右あるいは左冠動脈に選択的にコントラスト剤 (ウログラフィンの用手攪拌) を 2 ml 注入し、冠動脈の灌流領域について検討した。右冠動脈へのコントラスト剤の注入は右室壁のエコー輝度の著明な増加を来した。また左冠動脈前下行枝、回旋枝への選択的なコントラスト剤の注入は、それぞれ前壁中隔、左室後側壁の心筋のエコー輝度の著しい増加により、灌流領域を明確にすることができた (Figs. 1, 2)。

2. 冠動脈の閉塞・結紮による心筋虚血の作成

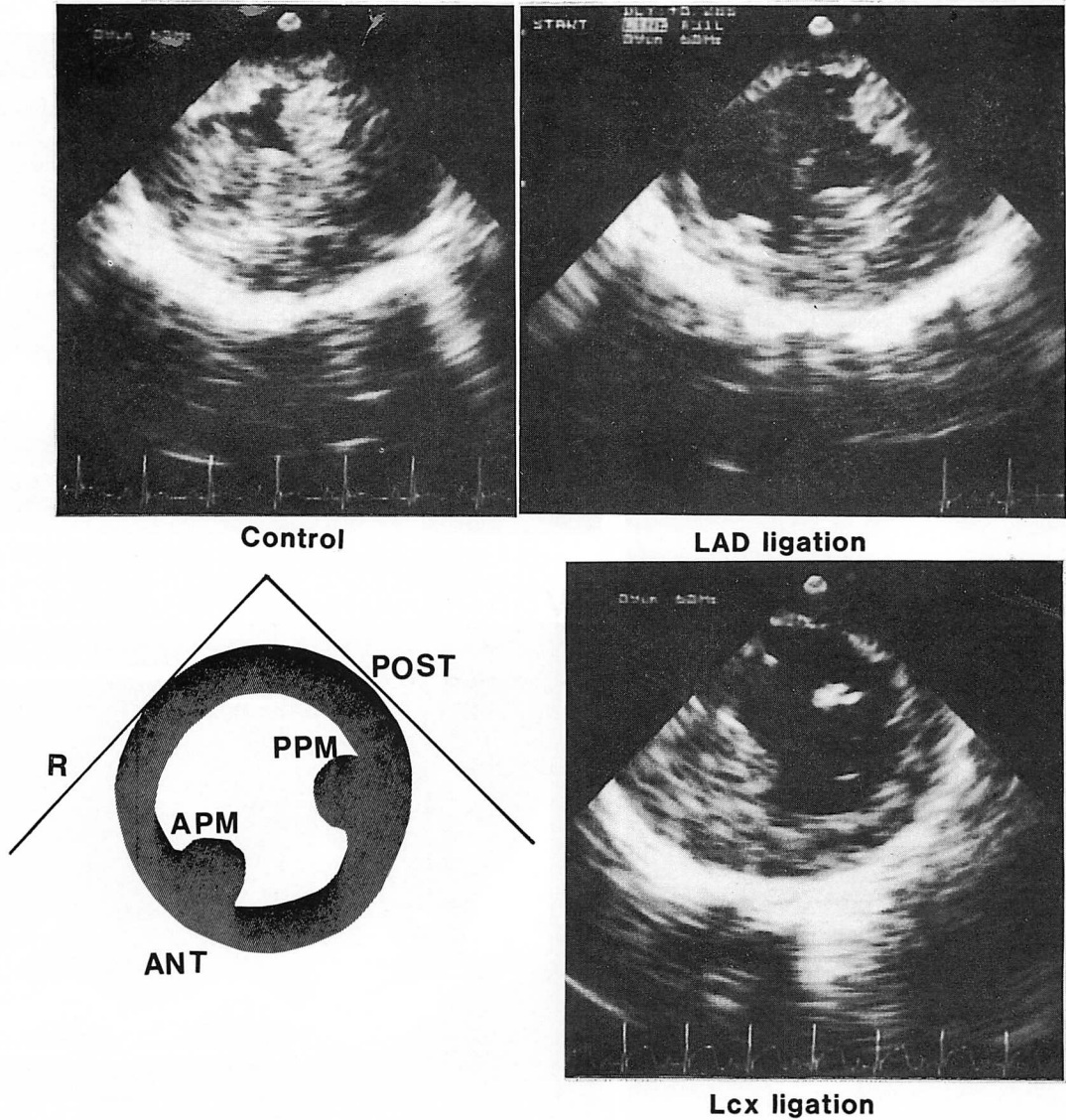


Fig. 1. Short-axis images of the left ventricle before and after coronary artery ligation.

The left ventricle showed myocardial thinning, akinesia and bulging during the left ventricular ischemia. Schema of the control is shown.

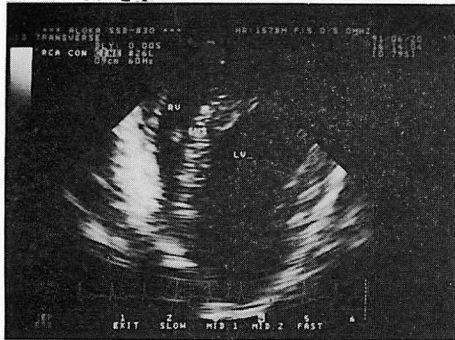
LAD=left anterior descending artery; Lcx=left circumflex coronary artery; APM=anterior papillary muscle; PPM=posterior papillary muscle.

1) 右冠動脈の閉塞：右室は著明に拡大し、右室自由壁の運動の低下、また心室中隔は奇異性運動を示すとともに、左室側への心室中隔の圧排を

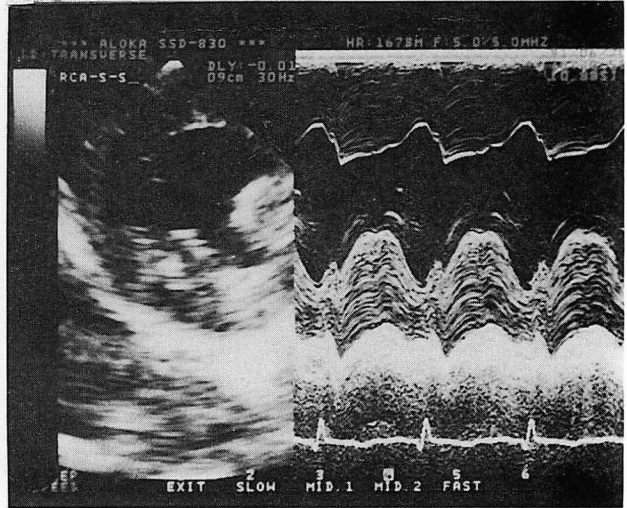
認めた。

2) 左冠動脈前下行枝または回旋枝の閉塞・結紮 (Fig. 3)：閉塞・結紮に伴い、閉塞冠動脈の灌

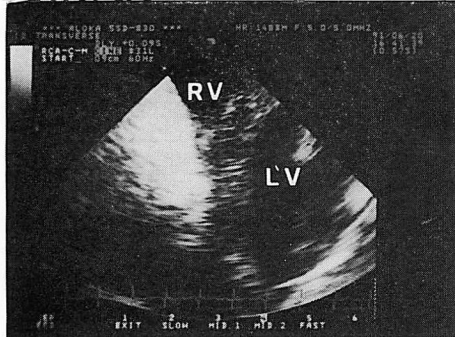
Control



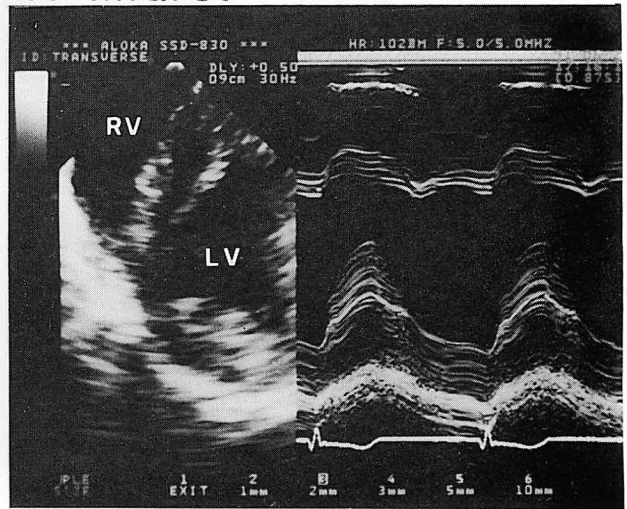
Control



Contrast study



RV infarct



RV infarct

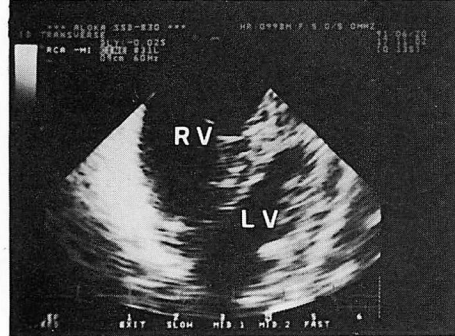


Fig. 2. Two-dimensional images of the infarcted right ventricular wall.

Left and right upper panels show control images. Left mid panel shows contrast enhancement of the right ventricular free wall by the injection of contrast medium into the right coronary artery. Left lower panel shows marked dilatation of the right ventricle (RV). Right lower panel shows paradoxical movement and displacement of the interventricular septum towards the left ventricular cavity (LV) during right coronary artery occlusion.

流領域の左室壁運動の低下, 心筋壁の菲薄化, バルジングを示した. 特に左冠動脈回旋枝の結紮では左室後側壁心筋の菲薄化とともに, 後乳頭筋の

細小化, エコー輝度の増強を認め, また結紮の解除に伴う心筋虚血の回復の過程を極めて明瞭, 連続的に観察することが可能であった.

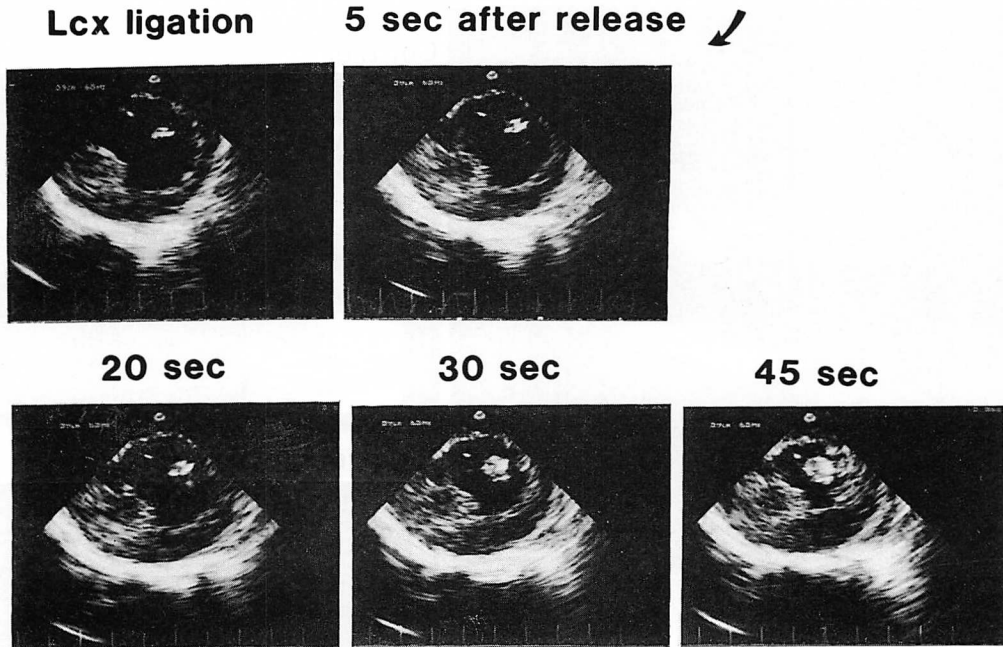


Fig. 3. Short-axis images of the left ventricle.

During the ligation of the left circumflex coronary artery, the posterior papillary muscle showed thinning and increased echo intensity. The process after the release of the coronary artery ligation was easily and continuously observed.

2. 冠動脈のイメージング

右房中位レベルで左冠動脈主幹部の記録は容易で、前下行枝、回旋枝の分岐に至るまで確実に描出し、特に心臓前面を走行する左前下行枝は長い区域で明瞭に観察することができ、左冠動脈の主幹部の血流速度の描出は100%可能であった。しかし右冠動脈の描出は必ずしも確実ではなかった。

また、冠拡張薬である dipyridamole, nicorandil, isosorbide dinitrate を静脈的に投与し、左冠動脈の主幹部の血流速度を連続的に記録することができた (Fig. 4)。

考 按

内視鏡あるいはカテーテルの先端に超音波振動子を装着した超音波法は経食道心エコー図法、血管内エコー図法として心臓、大血管、冠動脈の新

しい画像診断法として飛躍的な進歩をとげている。最近我々は心腔内に超音波探触子を挿入し、心臓、大血管を描出することを試み、良好な画像が得られることを報告した。方法はいずれも経食道心エコー図法の探触子を右房内へ挿入し、侵襲的断層心エコー図法を行なったもので、我々は開胸によらず、末梢静脈(外頸静脈あるいは大腿静脈)の切開により、経食道超音波探触子を右房内へ挿入した。右房内における超音波探触子の自由度は食道内と比較して、心房の上下、左右あるいは前後と種々の断層面が設定でき、右房に隣接する心腔、大血管のイメージングが容易である。

今回、経静脈心エコー図法による冠血流、心筋虚血のイメージングについて報告した。現在まで急性心筋虚血における心房内からの断層心エコー図法による検討はない。この研究では経静脈心エ

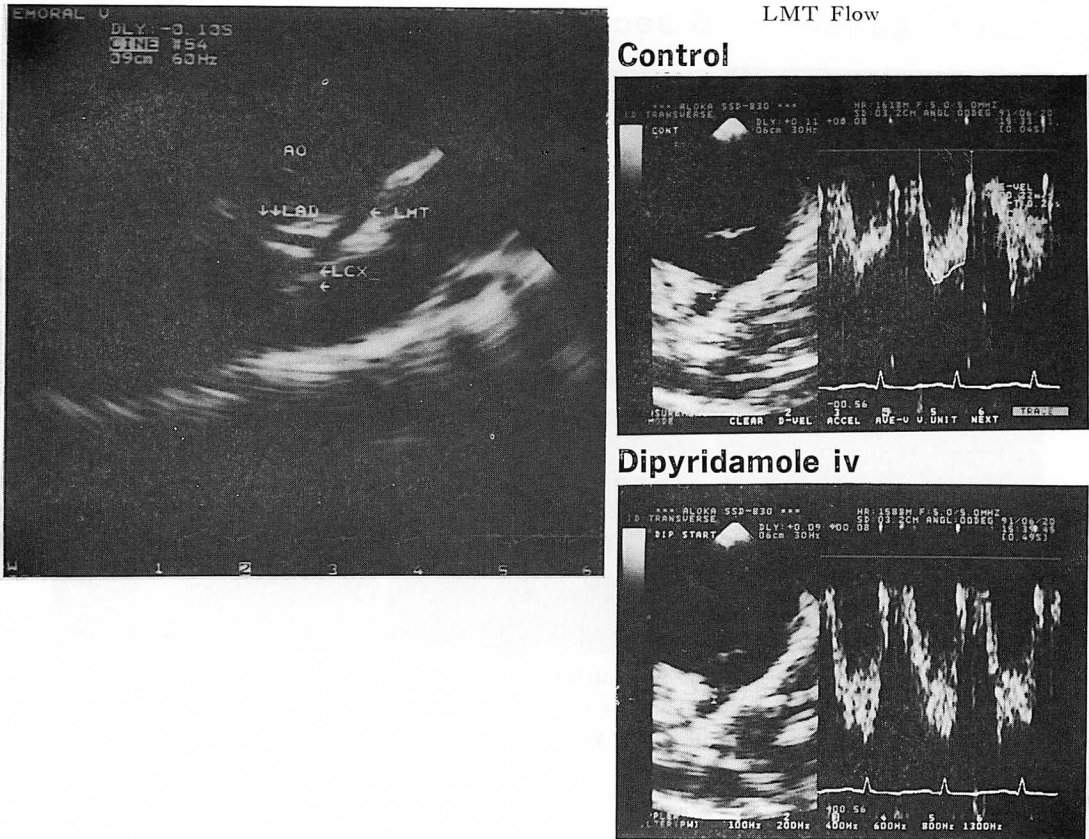


Fig. 4. Two-dimensional images and blood velocity in the left coronary artery.

Imaging of the left main coronary artery and left anterior descending artery can be easily done with the probe in the mid right atrium. The blood velocity in the left main coronary artery was determined consistently. Changes in the blood velocity after the administration of dipyridamole were clearly detected.

コー図法により冠動脈灌流領域の虚血による変化, すなわち虚血部の壁運動の低下, 壁厚の菲薄化, バルジングを鮮明に描出した. 心筋虚血の断層心エコー図法による検討は, 運動負荷あるいは dipyridamole, dobutamine などの薬剤負荷により虚血を誘発し, 壁運動異常の出現について臨床的検討が行なわれている. 実験的には超音波クリスタルによる壁厚の計測により心筋虚血部の壁厚は菲薄化, バルジングを示すことが報告されている. 一方, PTCA が急性心筋梗塞, 狭心症の極めて有効な治療法であることが認識されているが, PTCA 中の心血行動態のモニターは心電図, 血

圧などを中心とした単純なものしかない. これは PTCA に際しては X線透視が欠くべからざる方法であり, したがって断層心エコー図法などによる心機能の詳細なモニターは困難なためと考えられる. すなわち術中の心臓の壁運動の変化に対しては, PTCA は全く盲目的に行なっているといえる. 近年, 経食道心エコー図法が進歩, 発展しているが, PTCA, 血管内視鏡, 血管内エコー図法または弁形成術, カテーテル焼灼術など, カテーテルインターベンション中の心機能のモニターに経食道心エコー図法を施行しているという報告をみない. これはカテーテルインターベ

ンションの術中には経食道心エコー図法が侵襲的であり、X線透視の障害になることなどの理由で、不適當であるからと思われる。本法は経静脈的アプローチであるため適応の制限はあるが、PTCA、血管内視鏡、血管内エコー図法など冠動脈の閉塞・狭窄による虚血が予想される場合、左室壁運動の長時間のモニターに極めて適していると考えられる。冠動脈のイメージングは冠動脈造影が最も確実であるが、何度も繰り返して行なう方法ではない。本法は左冠動脈主幹部、回旋枝または心臓前面を走行する左前下行枝を比較的長い区域で明瞭に観察することができ、左冠動脈主幹部の血流速度を100% 確実に描出することができた。従来の断層心エコー図法、経食道断層心エコー図法のいずれも、冠動脈描出の精度は低く、内腔の変化について言及することはほとんど不可能であったが、今後、超音波探触子の進歩により、右房内あるいは経静脈から冠動脈の病理形態学的変化を観察することも可能と考えられる。今回、冠拡張薬を経静脈的に投与し、左冠動脈の主幹部の血流速度を連続的に記録したが、従来の経食道心エコー図法、カテーテル型ドップラー血流速計のいずれも冠動脈の血流速度の完全な評価は難しかったが、本法では左冠動脈主幹部から前下行枝にかけての血流速度の変化を明瞭に観察することができ、冠動脈疾患の機能的な予備能の評価が可能と考えられる。しかし右冠動脈については必ずしも確実な記録はできず、今後の検討が必要である。

経静脈心エコー図法は通常より比較的高周波の超音波を使用することも可能であり、左室心筋、心室中隔の描出が鮮明であることから、心筋の組織性状の検討などにも新しい進歩をもたらすことが可能と考えられる。

経静脈的心腔内エコー図法を臨床的に確立するためには、さらに内径の細いカテーテル型超音波探触子の開発が必要である。現在、内径が4mmの内視鏡に振動子を装着したものが使用され始めていることを考えると、臨床の場での必要

度、画像の鮮明度の優秀性から、本法がさらに加速度的に発展すると期待される。

結 語

経静脈心エコー図法により、心腔内から冠血流、心筋虚血のイメージングを行なった。本法は心筋虚血のモニターに極めて有効な方法と考えられ、心臓X線透視を必要とする種々のカテーテルインターベンションの際の心機能の監視に有用であり、特にPTCAなど冠動脈の閉塞、狭窄による虚血が予想される場合、左室機能の変化を連続的に監視するための新しい検査法として発展すべき方法と考えられる。将来的には経静脈心エコー図法を心臓カテーテル検査の一部として応用していくことが必要と思われ、心臓大血管造影がX線透視、造影剤を用いて数心拍の変化しか観察することができなかったことに対して、本法は心臓内に超音波探触子を置くことにより、心房、心室、大血管、各々の弁の解剖学的変化、容量、さらに心臓、大血管の血流速度の変化、逆流、狭窄、短絡、左室機能の変化を連続的に監視することが可能であり、新しい侵襲的検査法として発展する価値があると考えられる。

要 約

経静脈的心腔内エコー図法により、冠血流、心筋虚血の画像診断を行なった。対象は雑種成犬10頭(24-34kg)で、ペントバルビタール麻酔下に経食道用セクター電子走査型探触子(発振周波数5MHz, 24素子, 外径6.8mm)を大腿静脈から右房内へ挿入した。装置はアロカ製SSD-870を用い、心臓のイメージングを断層法、実時間ドップラー断層法、パルス・ドップラー法で行なった。

1. 冠血流のイメージング: 左冠動脈主幹部から前下行枝、回旋枝の分岐までの血流速度波形は明瞭で、また心臓前面を走行する左前下行枝は長い区域で明瞭に観察することができた。経静脈的に冠拡張薬を投与後、冠血流速度は有意に増加す

谷川, 森内, 神田, ほか

ることを観察した.

2. 心筋虚血の評価: バルーンカテーテルによる左前下行枝の閉塞, あるいは肋間開胸により冠動脈を結紮し, 心筋虚血による壁運動異常について検討を加えた. 左前下行枝の結紮と同時に左室前壁の菲薄化, バルジングを明瞭に観察し, 左回旋枝の結紮では後側壁の菲薄化, バルジングとともに後乳頭筋の細小化, エコー輝度の増強を認めた. また右冠動脈の閉塞では右室の著明な拡大, 心室中隔の奇異性運動, 左室側への圧排を観察した.

経静脈的心腔内エコー図法は冠動脈, 冠血流, 心筋虚血の病態の鮮明な画像を得ることができ, 冠動脈に対するインターベンション, 弁形成術などの際の心機能, 左室壁運動の連続的監視に極めて有用な方法と思われる.

文 献

1) 谷川 直, 森内正人: 血管内超音波法による心臓,

大血管の評価. 超音波医学会講演論文集 58 (Suppl 1): 461-462, 1991

- 2) Schwartz SL, Pandian NG, Kusay BS, Kumar R, Weintraub A, Katz BS, Aronovitz M: Real time intracardiac two-dimensional echocardiography: An experimental study of in vivo feasibility, imaging planes, and echocardiographic anatomy. *Echocardiography* 7: 443-455, 1990
- 3) Seward JB, Khandheria BK, McGregor CGA, Locke TJ, Tajik AJ: Transvascular and intracardiac two-dimensional echocardiography. *Echocardiography* 7: 457-464, 1990
- 4) Valdes-Cruz LM, Sideris E, Sahn DJ, Murillo-Olivas A, Knudson O, Omoto R, Kyo S, Gulde R: Transvascular intracardiac applications of a miniaturized phased-array ultrasonic endoscope: Initial experience with intracardiac imaging in piglets. *Circulation* 83: 1023-1027, 1991
- 5) Pandian NG, Kumar R, Katz SE, Tutor A, Schwartz SL, Weintraub A, Gillam LA, McKay RG, Konastam MA, Salem DN, Aronovitz M: Real time, intracardiac, two-dimensional echocardiography: Enhanced depth of field with a low frequency (12.5 MHz) ultrasound catheter. *Echocardiography* 8: 407-421, 1991