

循環器領域における CT の 応用：現況と展望

Application of computed tomography to cardio- vascular system : Present status and perspective

小塚 隆弘
内藤 博昭
木村 元政

Takahiro KOZUKA
Hiroaki NAITO
Motomasa KIMURA

Summary

In spite of major limitation in the application of computerized transmission tomography to the cardiovascular system, it has several unique advantages. The aim of this lecture is to give the recent advance and perspective of cardiac CT examination. The advantages include excellent spatial and contrast resolution and obtaining three dimensional images of the heart and the great vessels. Although CT scanning of the heart without contrast medium provides vague differentiation of the cardiac structures, with contrast medium injection it gives more precise information. Rapid sequential scanning with table movement may be useful to give tomographic images covering the whole heart. Since temporal resolution is improved with rapid sequential scanning at the fixed position, functional analysis of the cardiovascular system in a slice, for example patency of the aorto-coronary bypass graft, can be easily examined with excellent accuracy.

ECG-gated scanning provides anatomical information with good temporal resolution, as well as functional values, such as left ventricular mass, left ventricular volume, left ventricular ejection fraction and cardiac output. These values obtained from cardiac CT showed a good correlation with the values from cine left ventriculography and a dye-dilution study.

Thrombi or tumors in the cardiovascular lumen could be detected with CT examination.

Attenuation of left ventricular wall motion, thinning of the ventricular wall and reduced regional myocardial thickness seemed to be major landmarks for computed tomographic diagnosis in ischemic heart disease. Cardiac CT examination may give the comparable information with echocardiography in this field.

In the future, ultra-fast CT scanners will be developed to give the multiple section capacity for three dimensional imaging and to improve temporal resolution for cardiac functional analysis.

Key words

Cardiac CT Rapid sequential scan Ischemic heart disease

国立循環器病センター 放射線診療部
吹田市藤白台 5-125 (〒565)

Department of Radiology, National Cardiovascular
Center, Fujishiro-dai 5-125, Suita 565

Presented at the 25th Meeting of the Cardiography Society held in Tokushima, October 8-10, 1982
Received for publication December 17, 1982

はじめに

X線CTは通常のX線画像と異なって、透過X線のもたらす情報を直接画像化するという方法ではなく、いったんdigital化した後、横断画像を構成するという手法をとっている。したがってX線像の欠点である像の重複を避けることができるうえに、空間分解能、コントラスト分解能とも優秀であって、頭部を始め、胸部、腹部においても診断精度を向上させて来たことは周知のとおりである。

心臓領域においても、他領域と同様に、診断精度の向上に寄与するものとして大きな期待がもたれたが、血管心臓造影法、心エコー図、核医学ほど広く普及した検査法となっていない。それは現在の装置ではscan時間に1~5秒を要するため、心拍や呼吸によるartifactや辺縁のボケを生じやすいこと、1scan時間内に行われる数心拍の時間平均画像しか得られないこと、CTのもつ優れたコントラスト分解能をもってしても造影剤を使用しなければ内腔と心筋とを区別できないことに基因する。そういった欠点を克服するために高速CTが試作されているが、まだ一般に使用されるには至っていない^{1,2)}。むしろ通常のCT装置を用いて、dynamic scan, ECG-gate法が行われているのが現状である^{3,4)}。本稿ではCTが現在どのように心臓領域に適用されているかを記し、参考に供したい。

単純CT scan法

この方法は造影剤を使用しないで単純にscanするものである。造影剤を併用する方法に比して、精度は遙かに劣り、かすかに心臓のおよその解剖学的構造を同定することができ(Fig. 1)、X線吸収度の異なる部分、組織を描写し得る。そのもっともよい例は心膜、弁組織、冠動脈、血栓などの石灰化像である(Figs. 2, 3)。石灰沈着組織がスライス内にあれば、これを検出するもっともよい手段といえよう⁵⁾。

また、心嚢液の貯溜があればその存在を知るだけでなく、それが漏出液であるのか、血液であるのかの鑑別も可能である(Fig. 4)。X線CTのすぐれたコントラスト分解能を利用した診断法といえることができる⁶⁾。

心臓外の構造物、腫瘍と心臓との区別もある程度可能であるが、これには造影剤を使用して、心、血管の内腔を描写したほうが鑑別が容易になることが少なくない(Fig. 5)。

以上述べたように、単純CT像でも検出可能な構造もあるけれども、その診断能に限界があることは否定できず、心臓のCT検査の本領は次に述べる造影によるCT検査であることは明かである。

造影によるCT検査法

CTが臨床に用いられるようになった当初は、肉眼では見分けられないような僅かなX線吸収度の差もコンピューター利用で識別できる装置であるとして期待された。しかし経験が増すにつれ、造影剤を併用すれば、造影によってX線吸収度が増し、一層その診断能を高めることが分った。したがって周辺の組織、臓器と識別が容易になることが期待されるものでは、ほとんどすべて造影剤によるcontrast enhancementが行われるようになった。

心臓ではヨード造影剤を血管内に注入しなければ心内腔も心筋成分と区別することができないし、それも通常の点滴静注法では良いコントラストが得られないので、bolusないし急速注入が必要となる。造影剤注入を併用し、心臓をscanする方法を以下に述べる。

1. Conventional scan法

このscan法はscanの間隔が10~60秒という普通の方法であり、数心拍の情報を含んでいるので得られる画像はその平均画像といえ、心室拡張期が収縮期より長い関係上、拡張期像に近い。心・大血管の内部構造のおよその解剖学的位置関係や相対的な大きさをみたり、内腔の比較的大きな血



Fig. 1. Cardiac CT scanings without contrast medium, covering the whole heart and the great vessels.
Cardiac chambers and the great vessels can be recognized.

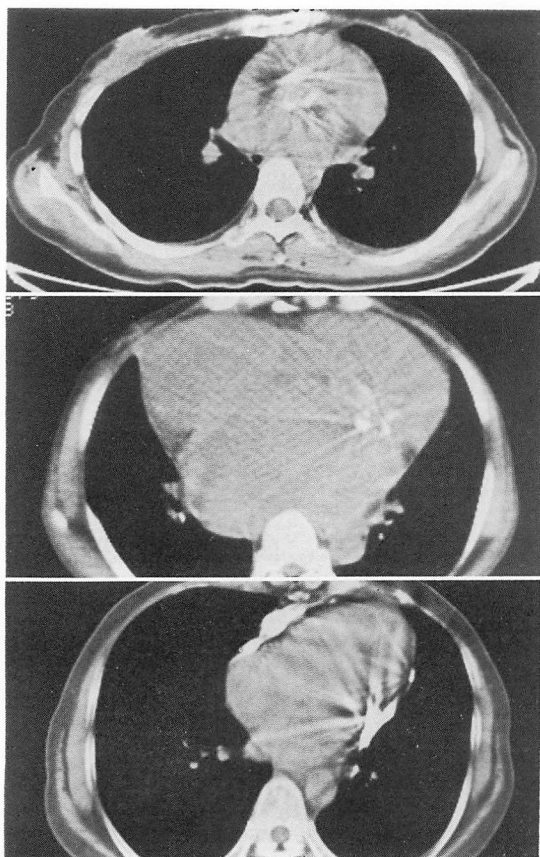


Fig. 2. Calcification of the cardiac structure.
Top: calcification of the aortic valve; middle: calcification of the mitral valve; bottom: pericardial calcification.

栓や腫瘍の存在⁷⁾, 心室中隔を始めとする心筋の肥大を観察するにはこの方法でも十分である⁷⁾.

2. Rapid sequential scan

この scan 法の conventional scan 法と異なるところは, 画像構成や X 線管の冷却をあとまわしにして, 最短の interscan 時間で次々と scan を繰り返すことである. この方法でさらに時間分解能を改善するには, 1 scan で得た情報を 2~3 分割して再構成する手段がとられる.

造影剤を bolus 状で急速注入することを併用すれば, 同一断面における造影剤の時間的な動き

を観察することができ, 心・血管部分の濃厚な造影像を得ることができる (Fig. 6).

大動脈, 肺動脈など一定の部分に関心領域を設定すれば, その部分の造影剤希釈曲線を得て, 各種の機能的解析を行うことが可能である.

Scan ごとに一定の間隔で患者寝台を動かせば, その間隔で次々と異なった断面の画像が得られ, 短時間で広い領域を scan することができる. 造影剤を急速に注入して心臓全体をカバーするように scan すると, 心臓の各部分の良好な造影断面像が得られる (Fig. 7). Rapid sequential scan 法を用いると, scan 間隔を短縮し, 時間分解能を多少改善することができるが, 心周期に比較すれば 1 画面あたりの構成時間は長い. これを改良するには ECG-gate 法を用いなければならない.

3. ECG-gate 法³⁾

この方法は scan するさいに ECG の R 波を同時に記憶させておき, R-R 間隔を 10~20 等分し, 心拍の各時相ごとの scan data を集めなおして画像再構成する方法である. 任意の断面における心周期に対応した連続画像, または一部の時間の画像, たとえば拡張終期像とか, 収縮終期像を得ることができる (Fig. 8). 1 回の scan ではこのように分割した画像を得るためには data 量が不足するので, 1 断面の scan を何度か繰り返し, 再構成に必要な data を集める必要がある. この連続 scan には, 前述の rapid sequential scan 法を用いると, 短時間に多くの良好な造影像を得るのに都合がよい. 通常 6~8 回の scan を行う. こういった scan から, 心周期に応じた像と同時に元 data 像も構成することができるのは当然であって, それは conventional scan 法と同じく, 数心拍の時間平均画像となる.

なお gate 再構成画像の時間分解能はおおよそ 100 msec 程度である. また, 現在の装置では心臓全体をカバーする断面すべてに ECG-gate 法を行うことは造影剤使用量が多くなり, data 処理時間も長くなるので実用的でなく, ある一定の断面だけを選ぶ方法がとられる.

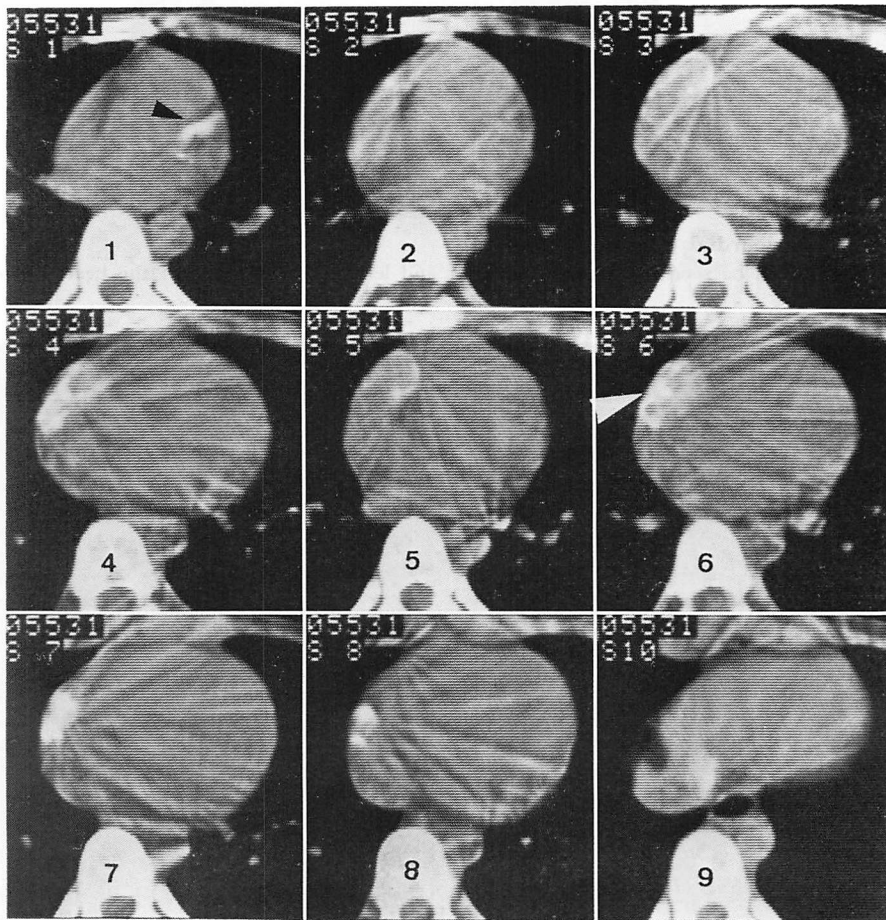


Fig. 3. Calcification of the coronary artery in a patient with Kawasaki disease.

Calcification of the left anterior descending artery (black arrowhead) and the right coronary artery (white arrowhead) is noted in slice 1 and slice 6, respectively.

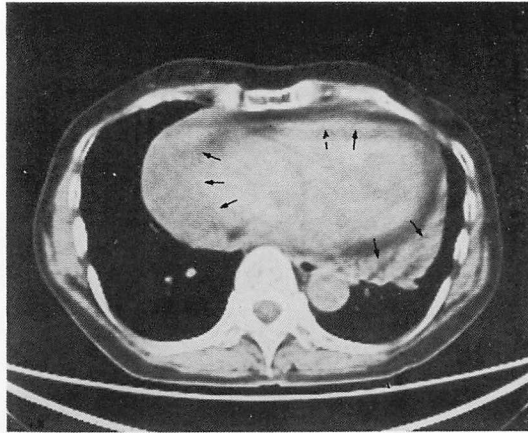


Fig. 4. Pericardial effusion.

Effusion can be seen in the right, anterior and left posterior aspect of the heart (arrows).

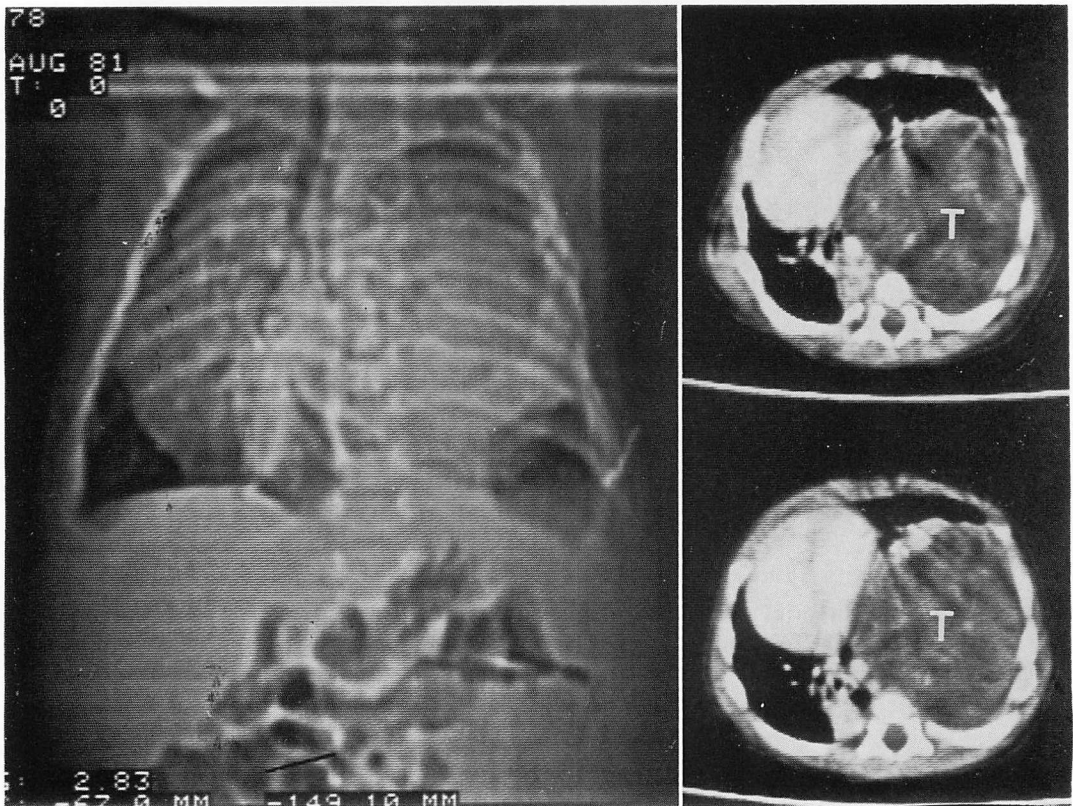


Fig. 5. Mediastinal teratoma.

Mediastinal widening is demonstrated on the scout view. A large mass (T) containing calcified lesion displaces the heart into the right hemithorax.

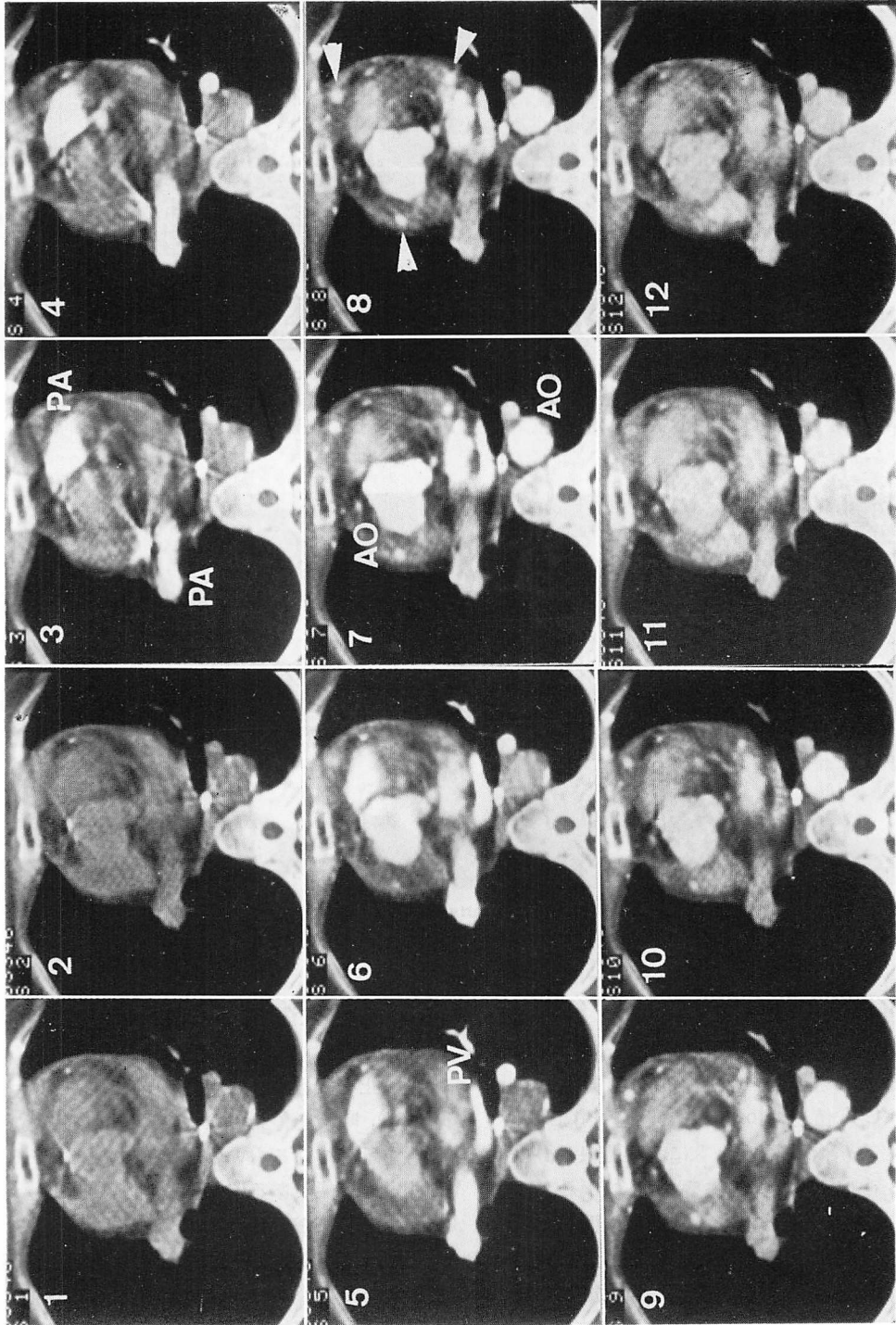


Fig. 6. Rapid sequential scans with the bolus injection of medium without table movement. Three aorto-coronary bypass grafts (arrowheads) are visualized at the same time with the aorta (Ao) (slice 8).

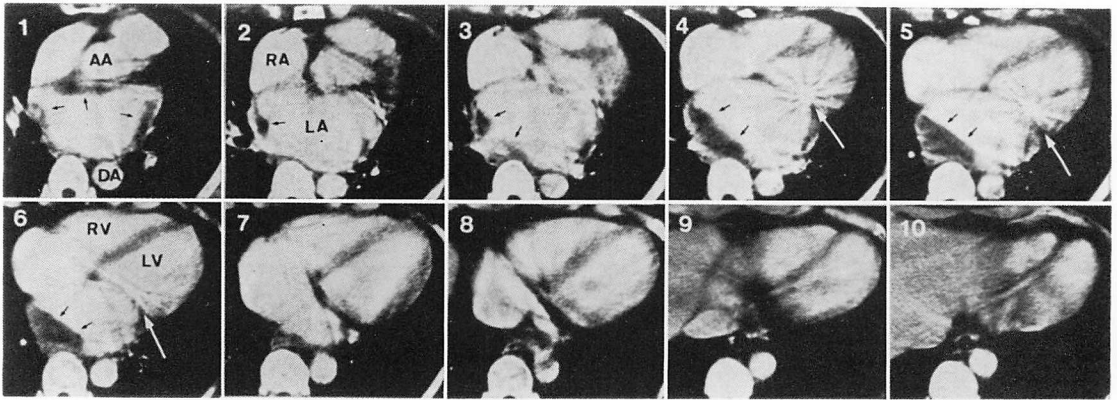


Fig. 7. Rapid sequential scans with table movement in a patient with mitral stenosis.
A thrombus can be seen along the dilated left atrial wall (black small arrows). Calcification of the mitral valve is noted (white arrows).

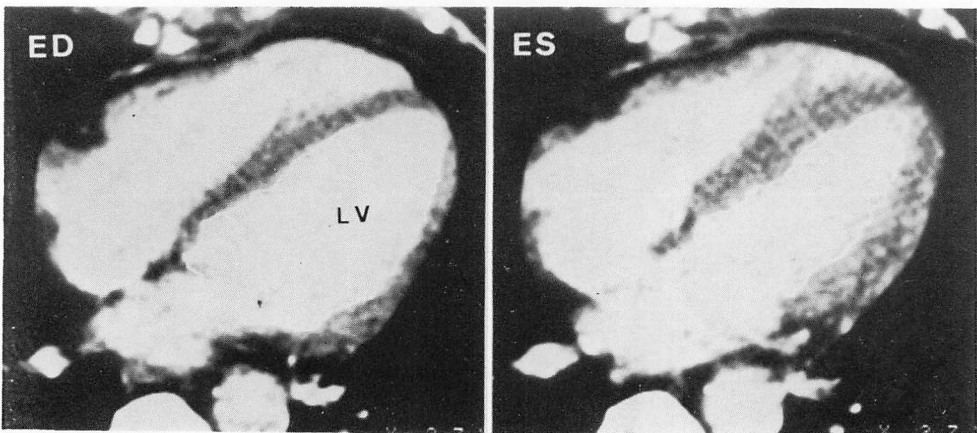


Fig. 8. ECG-gated cardiac scans.
The left ventricle is shown to contract uniformly in endsystole.

4. 心拍出量の算出 (Fig. 9)

静注法によって造影剤を bolus 注入し, rapid sequential scan を行い, 大血管成分に設定した関心領域で CT 値を plot し, これを γ 関数近似すれば, 造影剤の通過とともに希釈曲線が得られる. 造影剤血中濃度に対する CT 値がわかっていると, 使用造影剤総量と希釈曲線の面積から“指示薬希釈法”の原理に従って心拍出量が算出できる^{8,9}. 関心領域を肺動脈主幹部に設定して算出した CT 心拍出量は, 同時に施行した ear

piece 色素希釈法とよい相関を示す⁹. なお, rapid sequential scan 中, 呼吸停止を行わないほうが呼吸停止したものより相関がよかった ($r=0.86$, Fig. 9). 呼吸を停止しないほうがより自然な循環状態を示しているものと思われる. また, 短絡量の測定も可能である¹⁰.

5. 心房, 心室容積の算出⁸⁻¹¹)

心臓 CT 検査は断面像を得る検査法であり, 心臓全体をカバーする scan を行って積算すれば心房, 心室の容積を算出するのは比較的容易であ

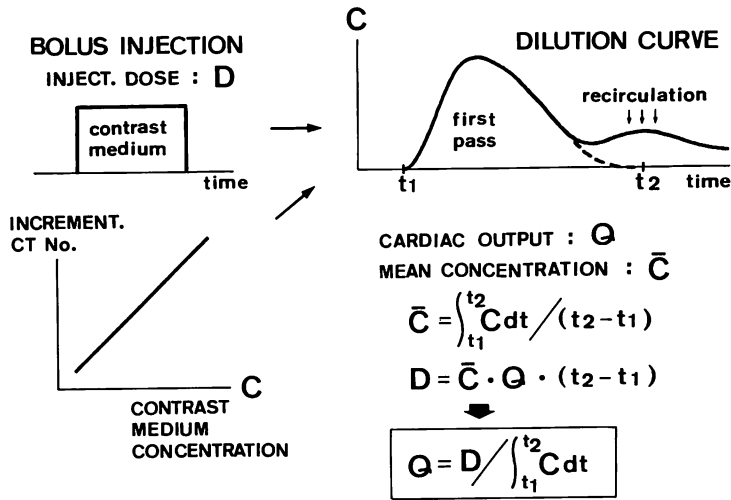


Fig. 9. Measurement of cardiac output with CT.

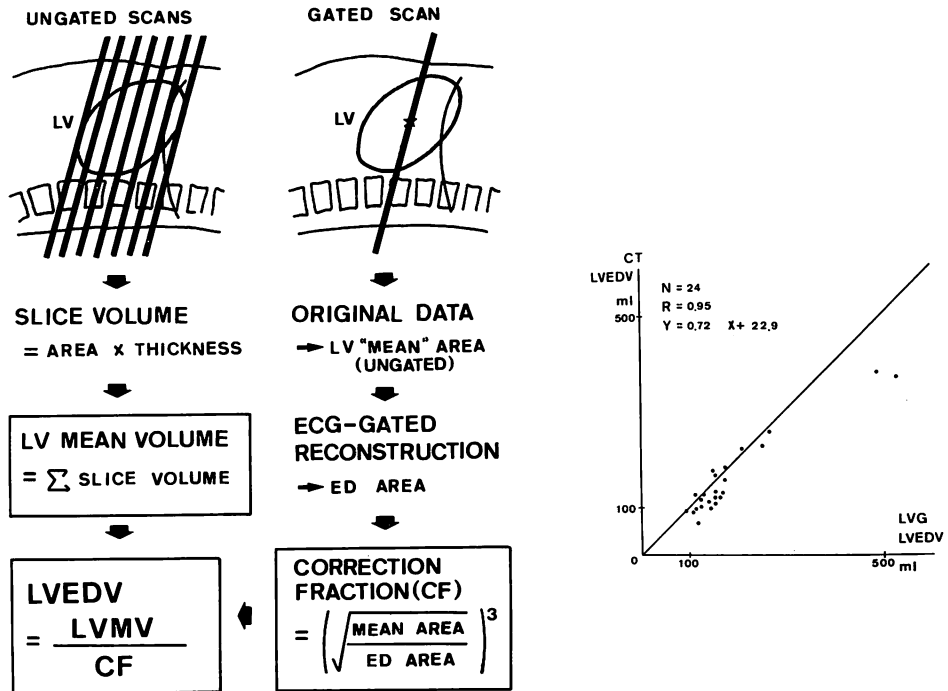


Fig. 10. Measurement of left ventricular volume with CT.

Left ventricular end-diastolic volume (LVEDV) obtained with CT shows a good correlation with that from cine left ventriculography.

る. いわば integration method ということができ, 二次元画像から容積を近似算出する方法よりも合理的ともいえる. ただし, 普通に conventional scan 法で得た画像は前にも述べたように時間平均画像であり, 拡張終期像に近く, それよりやや小さい. これを補正することを考えなければならぬ.

CT 装置のガントリーを 15~20° 傾斜させ, 得られる断面を左室長軸に近づけるようにし, 非 gate 法で左室全体をカバーするだけの数の断面を得, これを積算して左室平均容積とする. 次に

同じ傾斜で左室の中心を通ると思われる面の ECG-gate 像を得る. この断面の左室拡張終期における面積を求める. これと同時に元 data から得た非 gate の同じ断面の左室拡張終期面積との比を求め, 二次元比を三次元比に直して換算比とする. 先に求めた左室平均容積にこの換算比を掛ければよい.

カテーテル法によって得た左室造影像から算出した左室拡張終期像と対比すると, CT の左室平均容積は $r=0.91$ と相関はよいが, 絶対値がより小さい傾向を示すのに対し, 補正後は $r=0.95$ と

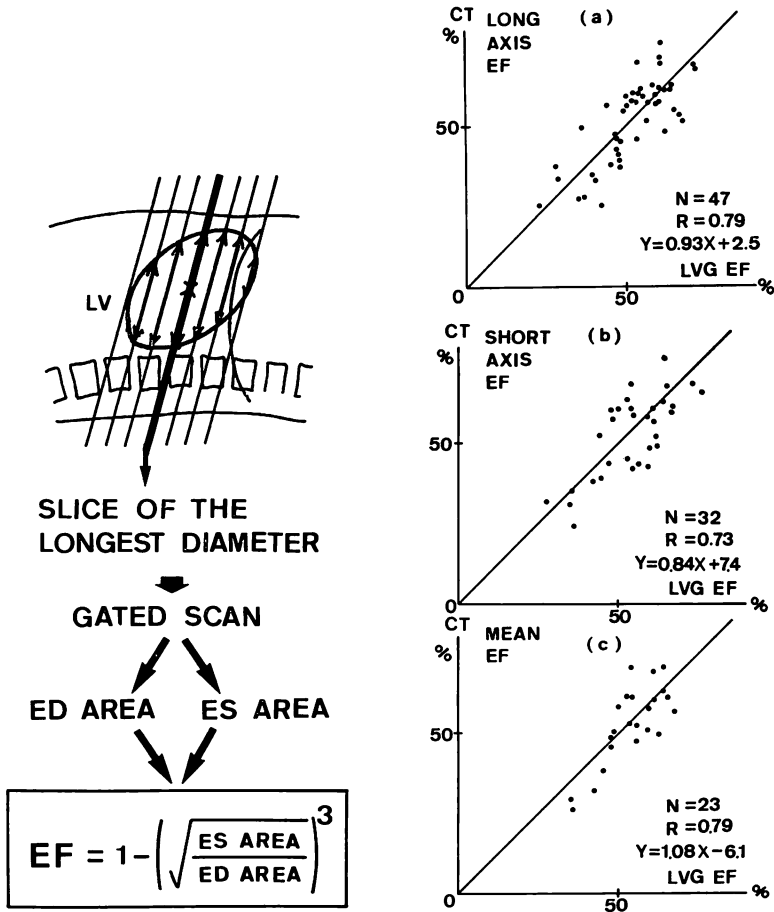


Fig. 11. Measurement of left ventricular ejection fraction with CT.

A good correlation is obtained between CT and cine left ventriculographic measurements.

さらに相関がよく、絶対値も一層左室造影像のそれに近くなった (Fig. 10).

6. 左室駆出率の算出^{8,12)}

左室容積算出の場合と同様、左室全体を ECG-gate 法でカバーして算出するのは現実的でないため、数断面における ECG-gate 画像から近似的に算出する方法をとる。

駆出率の算出は容積算出の場合と同じく、左室長軸にもっとも近い断面像で ECG-gate 法によって左室拡張終期 および 収縮終期断面積を求め、二次元の面積比を三次元の体積比に換算し算出する方法をとる。この方法をガントリーを caudal

に傾けた場合(長軸断面)と cranial に傾けた場合(短軸断面)で適用して、それぞれ駆出率を求めることができる。長軸断面と短軸断面から得た左室駆出率を平均した左室平均駆出率と左室造影法から得た左室駆出率との比較では $r=0.80$ の相関が得られた¹²⁾。この方法は簡便で左室収縮能の評価には十分用いることができる (Fig. 11).

7. 心室心筋重量の算出^{10,14)}

心筋体積は心周期を通じてほぼ一定であり、時間平均画像の加算によって心室心筋体積を求めても差し支えない。これに心筋密度を乗じると重量が得られる。この値は左室造影像から得た値と

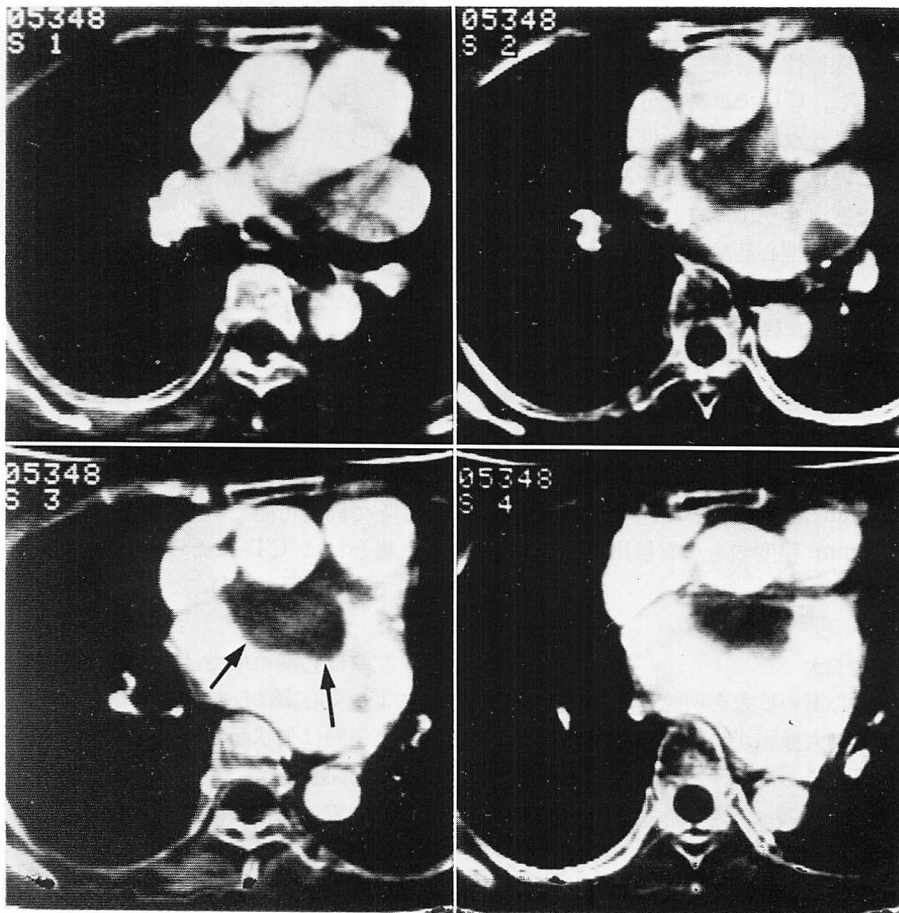


Fig. 12. Thrombus in the left atrium.

A thrombus is demonstrated along the anterior wall of the left atrium (arrows).

$r=0.90$ の相関が得られた.

8. 心室壁性状の評価^{14~17)}

CT 画像は断面像であるために心室壁の厚さの評価は容易である. 肥厚, 菲薄化は容易に観察できるし, ECG-gate 法を用いると, 局所壁運動も評価することができる. したがって左室壁運動の異常をきたす心疾患の診断に有用である. それに加えて心室壁厚の変化を視覚的に捉えることができる特徴がある. 虚血性心疾患は局所壁運動と心室壁厚変化とで評価するのがよい. この両者のうちどちらか一方の異常がある場合よりも, 両者の変化があるほうが虚血の程度は強いと考えられる¹⁶⁾.

さらに壁運動異常, 壁変化の異常に加えて壁の菲薄化があれば陳旧性心筋梗塞の存在は確実に考えてよい. しかし, CT では時間分解能が悪いため左室造影のような精密な局所壁運動異常の程度分類を行うことはできない難点がある. 心筋の造影のされ方で虚血を検出しようとする試みもなされている¹⁸⁾. 肥大型心筋症の診断にも有用である.

9. 心房・心室壁血栓^{7,19)}

血栓は CT で観察しやすいことはすでに多く報告されている. ことに他の画像診断では判り難い左心耳の血栓も認識することができる (Fig. 12). Rapid sequence scan 法, ECG-gate 法では conventional scan 法よりも診断精度が向上するようであり, 5 mm 程度のものを検出できる.

臨床例

1. 右房, 右室拡大

CT は心房, 心室の拡大を明瞭にすることができる. 右房は上下大静脈につながる心房であることから同定が可能であるし, 右室はもっとも前方に位置する心室であることに加えて moderator band の存在によってそれとわかる. 心室中隔の位置は明瞭にできるから, その方向が冠状面に近づくことによって心臓の時計方向への回転が明らかになり, 右心系の拡大を知ることができる (Fig.

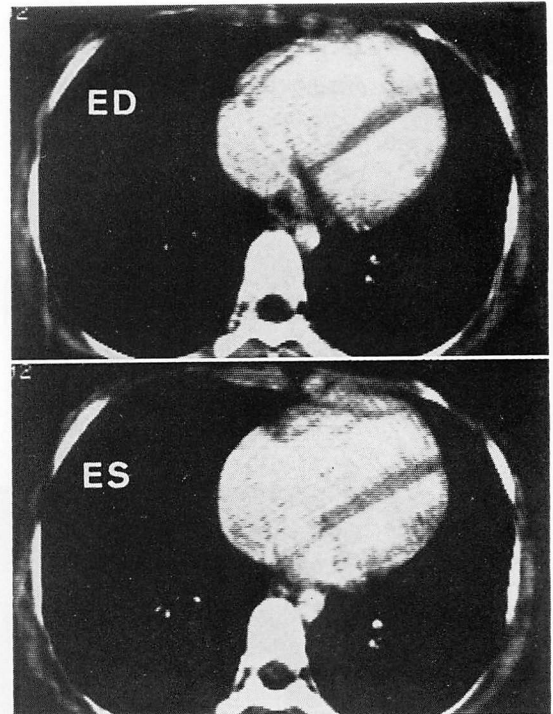


Fig. 13. Right heart enlargement (atrial septal defect).

13).

2. 左房の拡大

左房は心臓の中ではもっとも後部にあつて, 脊椎の前方にあること, 肺静脈が連なる心房であることで同定可能である. したがってそれが拡大した場合には CT によってよく判断することが可能である (Fig. 14).

3. 左室の拡大

左室は心臓の中では左後部に位置し, その拡大によって心臓は反時計式回転を行う. したがって心室中隔は矢状面に近づく (Fig. 15).

4. 心腔内腫瘍

心内腔の血栓と同じく, 空間占拠物である腫瘍の診断にも CT は有用である. ここでは左房内粘液腫を例としてとりあげる. Gated CT によって拡張期に左室へ, 収縮期に左房へそれぞれ位置を変えるとともに多少型を変えることで, ある程

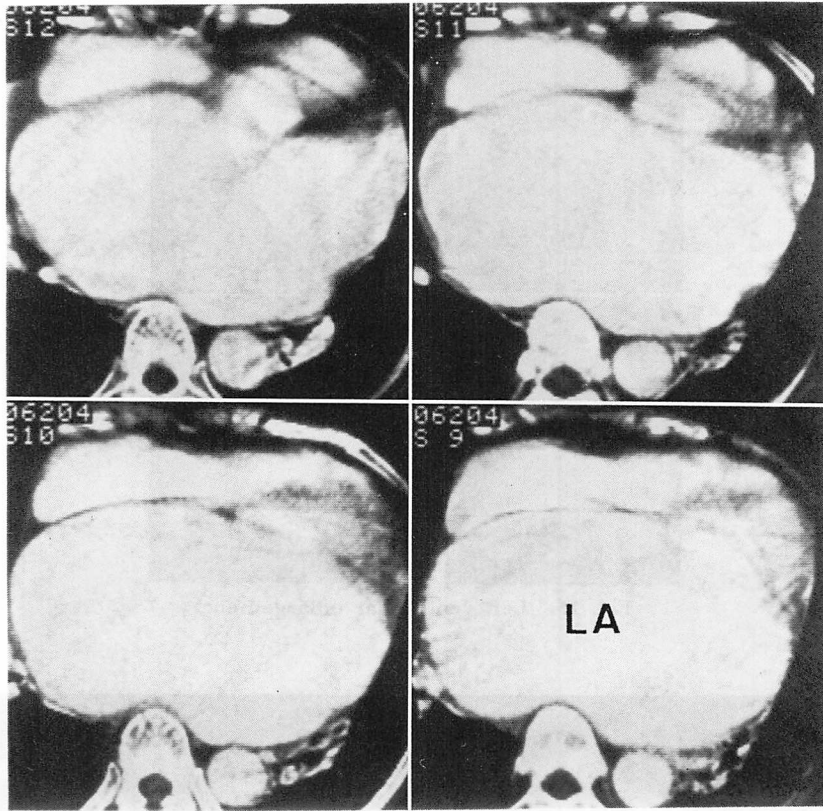


Fig. 14. Huge left atrium.

度柔かいものであること、表面に凹凸のあるものであることが明瞭になり、粘液腫らしき特徴を示す (Fig. 16).

そのほか、心室中隔の線維腫の診断にも有用な情報が得られた症例を経験した。

5. 心筋梗塞^{15~17)}

CT は左室心筋の厚さ、およびその心周期内の変動、左室の局所壁運動の評価に有用である。左室壁が菲薄化し、心周期による壁厚の変動がなく、しかも局所壁運動の減弱をみるものには確実に梗塞が存在しているといえる。梗塞後左室瘤を生じ、壁血栓の形成をみた1例を示す (Fig. 17)。このような重度の心筋梗塞の診断には問題はないし、血栓の検出は CT のもっとも得意とするところである。ただ、左室造影で hypokinesis を

示した部分が、CT では akinesis にみえるなどの問題は残る。しかし、壁厚の心周期による変動といった特異な情報を得ることができる点は本法の有用性を示すものといえよう。

6. A-C bypass graft²⁰⁾

開存している A-C bypass graft は造影剤を bolus 注入し、同一面で rapid sequential scan を行えば、大動脈が濃染されるのと同時相に造影される。もし閉塞している場合には graft 全体が血栓化しているので造影されない。したがって、graft が存在する断面で scan し造影像が得られるならばその graft は開存していると考えてよい (Fig. 6)。この方法は選択的冠動脈造影法の結果と比較すると 95% の精度を示す。CT で開存が証明されるとほぼ 100% の specificity と考えて

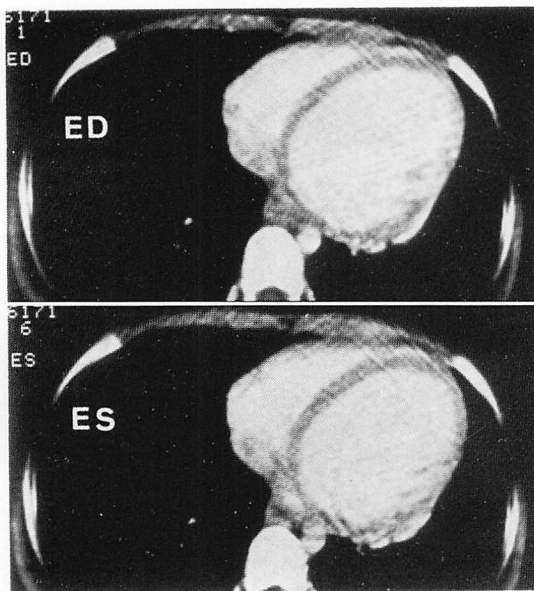


Fig. 15. Left ventricular enlargement.

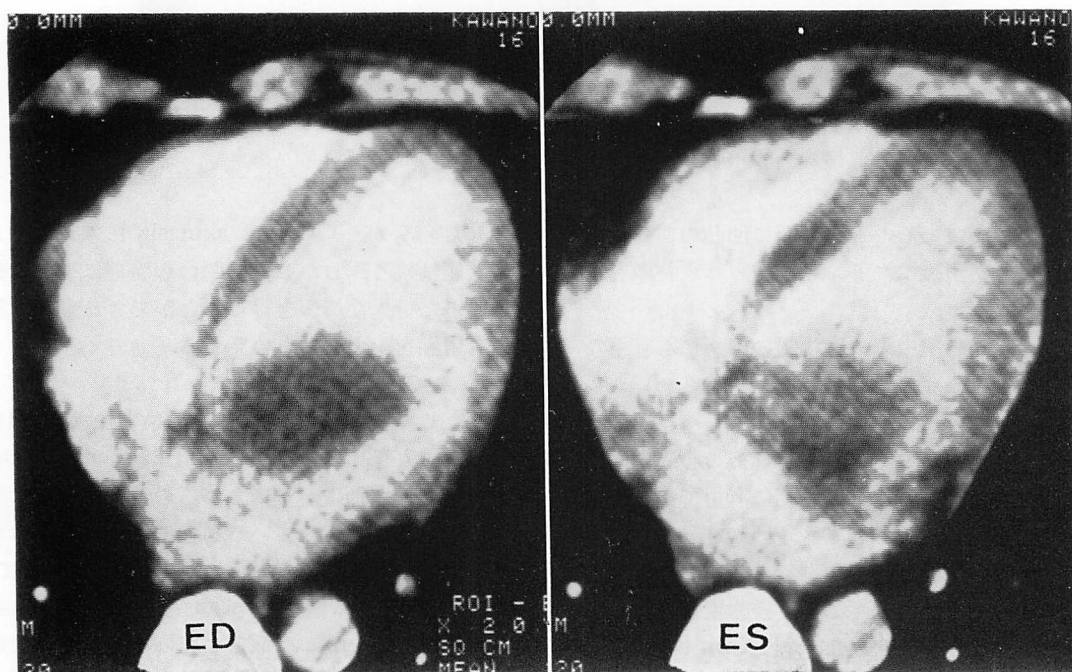


Fig. 16. Myxoma in the left atrium.

A large space-occupying lesion with irregular surface is shown to move between the left atrium and the left ventricle.

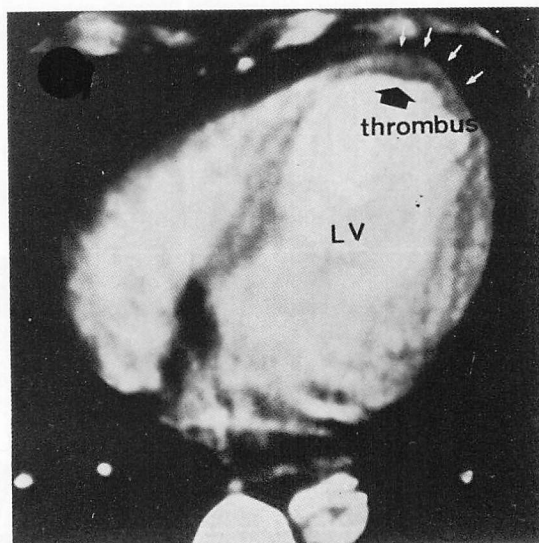


Fig. 17. Left ventricular aneurysm after myocardial infarction.

A thrombus (a black arrow) is demonstrated inside the thin infarcted area (white arrows) of the left ventricle.

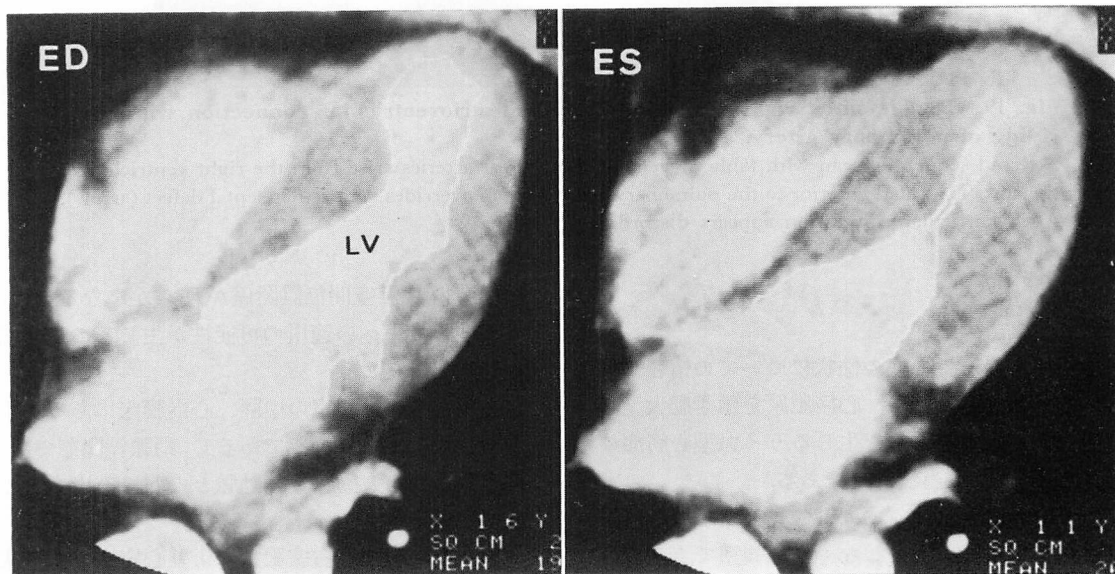


Fig. 18. Hypertrophic cardiomyopathy.

Marked myocardial thickening is demonstrated both in enddiastole and endsystole. The left ventricular apex is shown to be obstructed in endsystole.

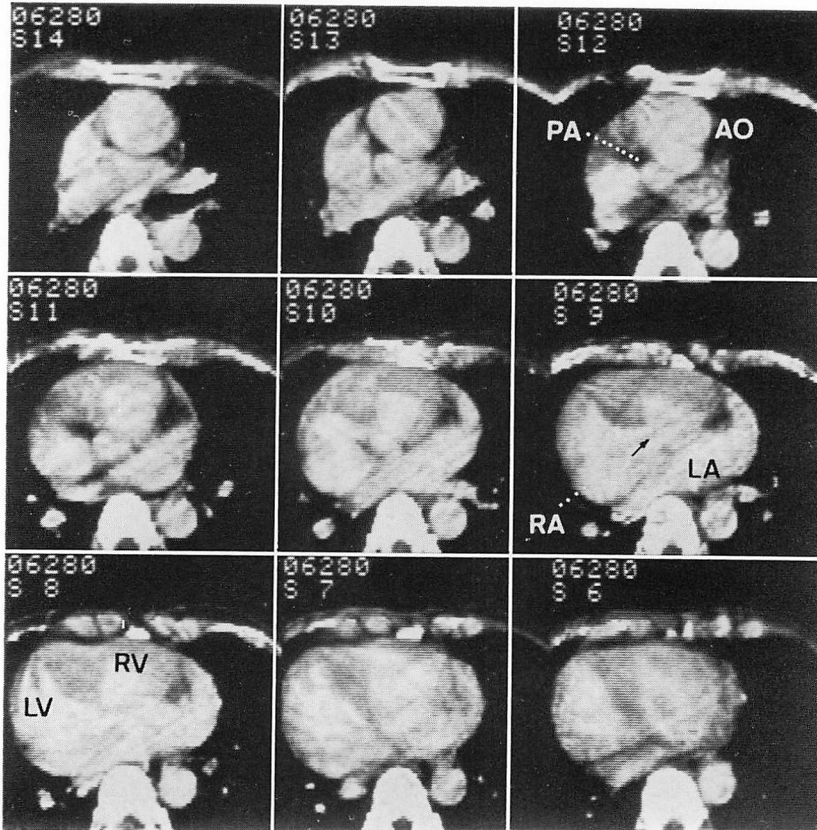


Fig. 19. Double-outlet right ventricle, discordant atrioventricular connection with overriding of pulmonary artery.

Rapid sequential scan with table movement. Both great arteries arise from the right ventricle and the aorta is located anterior to the pulmonary artery, which overrides ventricular septal defect (arrow). Atrioventricular connection appears discordant.

よい。

7. 心筋症

心筋梗塞の項で心壁の性状についての情報が得られることは述べたが、心筋肥厚を示す肥大型心筋症、広範囲の菲薄化を生じるうっ血型心筋症の診断には CT は当然有用である。

肥大型心筋症においては型分類どおりの心筋肥厚が ECG-gate を行わなくても観察できるけれども、gate 法では収縮期の左室心尖部の内腔閉塞などの特徴が一層明瞭になる (Fig. 18)。

8. 先天性心疾患

CT 検査では心房、心室、大血管など心臓内外

の構造の相互空間位置関係が明らかになるので、先天性心疾患への適用の可能性が生じるのは当然の帰結といえよう。

心房あるいは心室の中隔、心内膜床にある欠損を検出することは可能であるし、動脈管開存でも、開存動脈管を大動脈と肺動脈との間に描出することができる。

Fallot 四徴では右室肥大により心室中隔が冠状面に平行に近づき、大動脈が心室中隔の上に騎乗するのがわかる。

心室大血管接続の異常を有する先天性心疾患では、大動脈と肺動脈の相互位置関係の異常を指摘

するのは簡単である。左右心室の相互位置関係と右室にある moderator band によって心室構造を同定し、rapid sequential scan で table を移動させて、大血管と心室のつながりを同定しなければならない。その方法による複雑心奇形の診断はある程度可能である (Fig. 19)。しかし、選択的造影による連続撮影と比較すると、空間分解能、時間分解能ともに及ばないし、乳幼児期に診断すべき場合が多いので、早い心拍、呼吸停止など問題は少なくない。

肺動脈閉鎖、高度の肺動脈狭窄の場合の肺動脈幹、左右肺動脈の評価に役立つことがあり、この点にも注目するとよい。

上腹部の検査によって肝の位置、広がり、胃、脾の状態に注目すれば内臓位の決定は容易である。無脾、多脾の診断に役立つのは当然であるが、小児の呼吸停止がやはり問題となろう。

おわりに

心臓の検査における CT の役割を、我々の施設の現状に基づいて解説を加えた。

CT のすぐれた濃度分解能、空間分解能については今さら云々する必要はなく、その性能を活かして他の領域と同様な方法で検査を行えば、心疾患の診断、縦隔、肺などの疾患との鑑別に有用なことが少なくない。しかし、心疾患の画像診断として要求されるのは単に形態学的情報だけでなく、機能面の情報、諸指標である。したがって CT が心疾患の検査法の 1 つとして活用され続けるためには、どの程度この要請に応えることができるかにかかっている。その有用性の限界を追求するためには、CT の最大の欠点である時間分解能の悪さをいかに克服するかが重要になってくる。我々らは rapid sequential scan, ECG-gating, 造影剤の bolus 注入などによって最高 100 msec まで時間分解能をあげ、左室の局所壁運動、左室壁厚の変化、容積、駆出率、心筋量、心拍出量などの諸指標を精度よく算出し、臨床的評価に耐えることを証明した。さらに A-C bypass graft の開

存性の診断には広く用いられていて、我々の検討でも 95% の accuracy を示した。

しかし、心拍、呼吸運動、血流に基づく問題点が少なからず残されていて、その対応には高速 CT の開発が進められている。それらによる時間分解能の改善が期待される。

要 約

循環器領域における X 線 CT の応用についてはいろいろな制約があるが、CT にも数々の特徴があることも事実である。この論文の目的は心臓 CT の現況と展望について述べることである。

CT の特徴は空間分解能、濃度分解能がすぐれていること、心臓・大血管の三次元情報が得られることにある。心臓 CT では造影剤なしでもおよその心臓構造を描写することができるけれども、造影剤を使用すればより明確な情報を得ることになる。

Rapid sequential scanning で table を動かす方式は、心臓全体にわたる断層像を得るのに役立つ。一方、table を固定したままで rapid sequential scan を行うと時間分解能が向上し、その断層面における機能的解析を可能にする。その 1 例は aorto-coronary bypass graft の開存の評価を容易に、しかも精度高く行うことができる。

ECG-gate の scan では時間分解能がよくなって、解剖学的情報が得られるとともに、機能的なパラメータ、たとえば左室心筋量、左室容量、左室駆出率、心拍出量などが算出できる。これらの心臓 CT で得られるパラメータは左室造影、色素希釈法による値とよい相関が示された。

心血管内腔の血栓や腫瘍も CT でよく検出できる。

左室壁運動の減弱、心室壁の菲薄化、局所壁厚の変化の減弱は虚血性心疾患の CT 診断のおもな示標である。心臓 CT はこの領域において心エコー図と比肩できる情報を提供する。

将来、超高速 CT が開発されれば三次元表示のための多断層記録が可能となり、また、時間分

解能向上して心臓の機能的分析に役立つであろう。

文 献

- 1) Ritman EL, Harris LD, Kinsey JH, Robb RA: Computed tomographic imaging of the heart: The dynamic spatial reconstructor. *Radiol Clin N Am* **18**: 547, 1980
- 2) Iinuma T, Tateno Y, Umegaki Y, Watanabe E: Proposed systems for ultrafast computed tomography. *J Comput Assist Tomog* **1**: 494, 1977
- 3) Berninger WH, Redington RW, Doherty P, Lipton MJ, Carlsson E: Gated cardiac scanning: Canine studies. *J Comput Assist Tomog* **3**: 155, 1979
- 4) Lipton MJ, Higgins CB: Evaluation of ischemic heart disease by computerized transmission tomography. *Radiol Clin N Am* **18**: 557, 1980
- 5) Sasaki F, Koga S, Takeuchi A: Computed tomographic detection of calcification within the heart and the thoracic aorta. *Nippon Acta Radiol* **42**: 123, 1982
- 6) Tomoda H, Kuribayashi S, Matsuyama S: Evaluation of cardiovascular diseases with computed tomography. *J Cardiology* **9**: 409, 1979 (in Japanese)
- 7) Godwin JD, Herfkens RJ, Skioldebrand CG, Brundage BH, Schiller NB, Lipton MJ: Detection of intravascular thrombi by computed tomography. *Radiology* **138**: 717, 1981
- 8) Naito H, Kozuka T: Evaluation of left ventricular function by cardiac CT: Comparison with left ventriculography. *Resp & Circul* **30**: 255, 1982 (in Japanese)
- 9) Naito H, Uehara T, Yamaguchi T, Ohta M, Nishimura T, Kozuka T: Utilities of dynamic scanning in cardiac computed tomography: Evaluation of cardiac output and shunt ratio. *J Cardiology* **12**: 973, 1982 (in Japanese)
- 10) Lipton MJ, Hayashi TT, Dan's PL, Carlsson E: The effect of orientation on volume measurement of human left ventricular casts. *Invest Radiol* **15**: 469, 1980
- 11) Watanabe S, Yamada Z, Nishimoto Y, Yoshida H, Morooka N, Takahashi O, Shukuya M, Masuda Y, Inagaki Y, Nagase Y: Measurement of cardiac volume by computed tomography. *J Cardiology* **11**: 1273, 1981 (in Japanese)
- 12) Naito H, Arisawa J, Kimura K, Kozuka T, Kito Y, Ohara K, Fujita T, Nagata S, Redington RW: Evaluation of left ventricular morphology and function by cardiac computed tomographic examination. *J Cardiology* **12**: 457, 1981 (in Japanese)
- 13) Skioldebrand CG, Lipton MJ, Mavroudis C, Hayashi TT: Determination of left ventricular mass by computed tomography. *Am J Cardiol* **49**: 63, 1982
- 14) Skioldebrand CG, Ovenfors CO, Mavroudis C, Lipton MJ: Assessment of ventricular wall thickness in vivo by computed transmission tomography. *Circulation* **61**: 960, 1980
- 15) Naito H, Yamaguchi T, Uehara T, Ohta M, Nishimura T, Kozuka T: Evaluation of left ventricular wall character in ischemic heart disease by cardiac CT examination. *J Cardiology* **12**: 449, 1981 (in Japanese)
- 16) Powell WJ Jr, Wittenberg J, Miller SW, Maturi RA, Dinsmore RE: Assessment of drug intervention on the ischemic myocardium: Serial imaging and measurement with computerized tomography. *Am J Cardiol* **44**: 46, 1979
- 17) Newell JB, Higgins CB, Abraham JL, Kelly MJ, Schmidt WS, Haigler F: Computerized tomographic appearance of evolving myocardial infarctions. *Invest Radiol* **15**: 207, 1980
- 18) Doherty PW, Lipton MJ, Berninger WH, Skioldebrand CG, Carlsson E, Redington RW: The detection and quantitation of myocardial infarction in vivo using transmission computed tomography. *Circulation* **63**: 597, 1981
- 19) Harada J, Kobayashi H, Tada S: Computed tomography in cardiac diseases: With emphasis on mitral valve diseases. *J Cardiology* **9**: 417, 1979 (in Japanese)
- 20) Brundage BH, Lipton MJ, Herfkens RJ, Berninger WH, Redington RW, Chatterjee K, Carlsson E: Detection of patent coronary bypass grafts by computed tomography: A preliminary report. *Circulation* **61**: 826, 1980