



Title	心疾患の画像診断-動的解析を中心として-
Author(s)	小塚, 隆弘
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1986, 46(2), p. 306-323
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15535
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

《宿題報告》

心疾患の画像診断
—動的解析を中心として—

国立循環器病センター放射線診療部

（現・大阪大学医学部放射線医学教室）

小 塚 隆 弘

（昭和60年11月18日受付）

Imaging of Cardiovascular Disease
—Its Dynamic Analysis—

Takahiro Kozuka

Department of Radiology, National Cardiovascular Center

(Present address: Department of Radiology, Osaka University Medical School)

Research Code No. : 507

Key Words : Cardiac imaging, Ischemic heart disease,
Myocardial perfusion, Tissue characterization

In evaluation of patients with heart disease, various modalities, such as chest X-ray, angiography, echocardiography, nuclear medicine, X-ray CT, magnetic resonance imaging, have been applied. In patients with ischemic heart disease, these modalities were used not only for detection of the disease but for qualitative and quantitative diagnosis.

The aim of the study is to investigate the efficacy of these imaging modalities in ischemic heart disease.

Left ventriculography and coronary angiography are necessary for evaluation of left ventricular and coronary anatomy. Digital subtraction angiography (DSA) and radionuclide angiography showed comparative diagnostic quality for evaluation of the left ventricular wall motion. Echocardiography was proved to be useful in real time detection of wall motion abnormality and follow-up study after myocardial infarction. ECG-gated X-ray CT and magnetic resonance imaging (MRI) demonstrated wall motion abnormality and wall thickness change of the left ventricle. Functional myocardial perfusion images were given by DSA and dynamic X-ray CT as well as myocardial scintigraphy.

As the most reliable diagnostic procedures in ischemic heart disease, tissue characterization was attempted in this study using MRI. In canine experiment, the study showed possibility for detection of acute myocardial infarction, especially with injection of Gd-DTPA.

はじめに

心臓の画像診断は単純 X 線像, 血管心臓造影に加え心エコー図, 血流ドプラー, 核医学, X 線 CT 及び磁気共鳴断層 (MRI) と極めて多様化した。これらの多様化した診断法を如何に使用するかは, 診断法あるいは治療法の進歩に伴って流動的

な面も少なくはない。又, 心疾患の種類によってとるべき検査法の選択, 組み合わせも異なるのは当然であろう。

本報告は心筋梗塞の存在診断だけでなく, その拡がりや, 心筋灌流の評価, 梗塞心筋の組織特性の検出などについて各検査法の可能性を検討した

結果を述べることにした。

心筋梗塞を研究の対象とした理由は心筋梗塞、ないしは心筋虚血は現存する心疾患の画像診断法のすべてがそれぞれの特色を生かして関与し、総合的な成果をあげつつある領域であり、昭和52年に国立循環器病センターが発足して以来の放射線診断部の活動の成果を述べるのに最もふさわしいと判断したからである。

方 法

本研究に使用した機器を列記する。

1. 心血管撮影装置

Angioskop C (Siemens)

Cardoskop U (Siemens)

Polydiagnost C (Philips)

心血管撮影装置 (東芝)

2. X線CT

CT/T 8800 (GE)

3. DSA

Toshiba-Digiformer-X

4. 核医学装置

(a) Ohio-Nuclear Σ 410S

RI データ処理装置 GAMMA 11, 128KW

(b) 島津製 LFOV-E,

シンチパック 2000

5. 超音波検査

東芝 SSH-11A

Aloka SSD-800

6. 磁気共鳴断層装置

Siemens Magnetom 1.5T

結果と考察

1. 冠動脈形態

冠動脈の解剖、病態の評価には造影検査が不可欠であり、他の検査法で代用することはできない。詳細を明確にするためには選択的造影法を用い、多方撮影を行なうことが日常検査として普通であり、そのために angled projection¹⁾も普及している。それによって偏心性の狭窄の見落としを防止することにつながる²⁾³⁾。しかし、選択的冠動脈造影はすでに完成された検査法であり、ここでは詳

細は省略する。DSA は技術の進歩によってシネ撮影による選択的冠動脈造影像に匹敵する画質が得られるに至った。選択的造影を必要とするが造影剤は3～5倍に希釈したものでよい画像が、実時間に得られる特徴をもつ⁴⁾。しかも辺縁強調などの画像処理が可能であるので、すでに欧米では日常診療に差し支えない成績が示されている⁵⁾。今後適用の範囲は拡大するものと期待される。心エコー図では冠動脈起始部の形態学的変化を捉えることは可能であるが、末梢側の情報を得るのは困難であった。

2. 心室壁運動の評価

梗塞、ないしは虚血が発生すると直ちに壁運動の異常を生じるという程、壁運動は心筋虚血の敏感な示標である。壁運動異常と心筋の線維化との相関が明らかに存在することも証明されている⁶⁾。画像診断法のすべてが壁運動異常を重要な基準の一つとして心筋虚血を診断しているといっても過言ではない。

左室壁全体の運動評価には右前斜位、左前斜位像をそれぞれ撮影し、それぞれの画像を American Heart Association の区分に従って7分画に分類した⁷⁾。さらに、壁運動異常は Herman らに従って正常、減弱 (hypokinesis) 欠除 (akinesis)、奇異運動 (dyskinesis) に分けた⁸⁾。すべての検査法はこれに準じて評価した。

1) シネ造影法による左室壁運動評価

シネ撮影を行なった左室造影像は日常診療ではシネ画像の肉眼的観察を行なうのが普通であるが、コンピュータ解析装置を用い、拡張終期と収縮終期の辺縁の重ね合わせる方法と、左室の重心から10°間隔で放射する線上の収縮率を求め局所収縮曲線を描かす方法とを用いた。いずれも比較的客観的な方法といえる。これらの方法にはそれぞれ得失があること、検者間の差も存在することが知られている⁹⁾。

2) DSA による左室壁運動評価

DSA でもシネ画像と同様左室機能の解析が可能であり¹⁰⁾¹¹⁾、左室壁運動の評価は造影像の辺縁の重ね合わせができるのはもちろん10°毎の収縮率、それを60°毎に平均化した収縮率の両者が表示

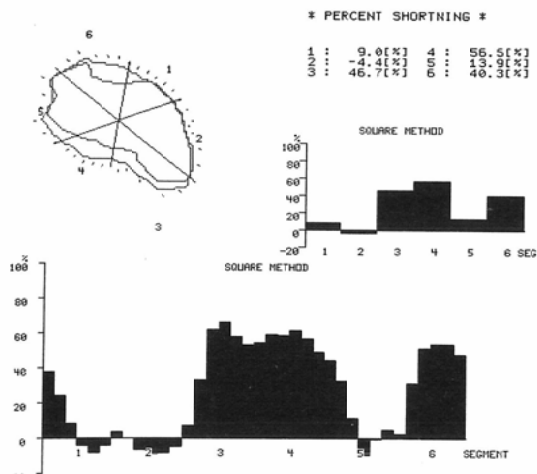


Fig. 1 Evaluation of left ventricular wall motion by DSA. Per cent shortening is demonstrated in each segment of left ventricle (bottom). Akinesis of anterolateral wall (Seg. 1 and 2) is demonstrated by per cent shortening as well as superimposition of diastolic and systolic views.

Table 1 Evaluation of left ventricular wall motion in ischemic heart disease. Comparison between DSA and left ventriculography.

LVG: left ventriculography
NOR: normal contraction
RED: hypokinesis
DYS: dyskinesis

DSA \ LVG	NOR	RED	NON	DYS
NOR	83	13		96
RED	2	32	5	39
NON		6	25	32
DYS			2	7
	85	51	32	176

Sensitivity: 87.9%

Specificity: 97.6%

される (Fig. 1).

DSA で観察した壁運動の評価精度をシネ造影像と比較した (Table 1). 全体としての正診率をみると正常正診率98%, 異常正診率88%であり, シネ画像と比較して遜色がない. 但し後下壁は横隔膜との重複のため前外側壁に較べて比較的相関がよくないし, 壁運動減弱例では他の運動様式より評価が悪い. 壁運動減弱については評価に主観

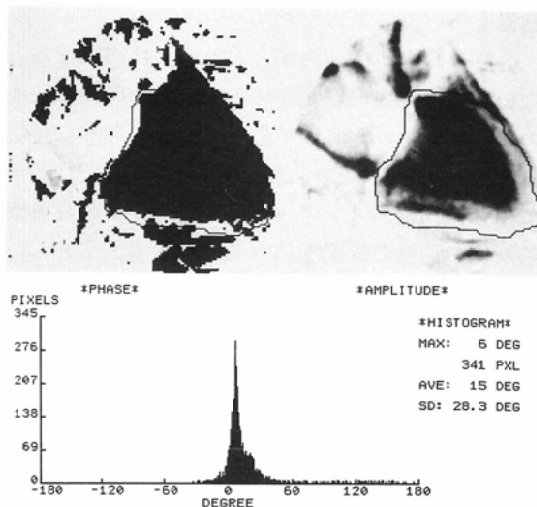


Fig. 2 Evaluation of left ventricular wall motion using phase and amplitude analysis in DSA. Normal contraction mode is shown in phase analysis (left upper), phase histogram and amplitude analysis (right upper).

的要素が強いためどの方法を使用しても避けがたい不一致と考える.

DSA は digital 画像であるために左室内腔の各 pixel 毎の時間濃度曲線を得ることができることはいうまでもない. その曲線を Fourier 解析し, 位相, 振幅の解析を行なうことができる. これは Adams らによって核医学の領域で開発された技術である¹²⁾. 解析には二次微分を使用した.

正常では収縮位相が均等であり, 位相 histogram が揃い, 狭い領域に集中する (Fig. 2).

心筋梗塞巣では位相解析により収縮位相の遅れが画像上で認めることができ, 位相 histogram でも広い範囲の位相分布が観察された. さらに振幅解析でも位相解析と同様の部分で他部分に比較して振幅の減弱が目立つ (Fig. 3).

3) 心エコー図による左室壁運動の評価

実時間で壁運動が観察できるため心エコー図は有用である¹³⁾¹⁴⁾. 短軸像で観察するのが普通であり, 全周の動きが評価できるのが特徴である. 正常例と前壁梗塞例を例示する (Fig. 4).

心筋梗塞巣の拡がりを中心エコー図と心筋シンチグラムにおいて評価した. 基準は左室造影所見で

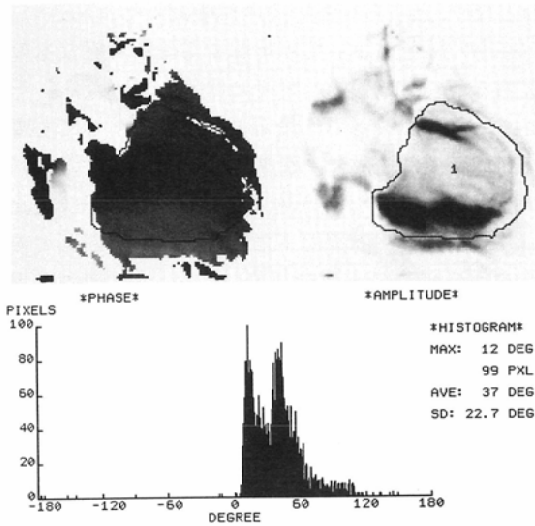


Fig. 3 Phase and amplitude analysis using DSA in patient with broad anterior myocardial infarction. Abnormal contraction is demonstrated in phase and amplitude analysis (upper). Phase histogram shows broad distribution of phase of contraction.

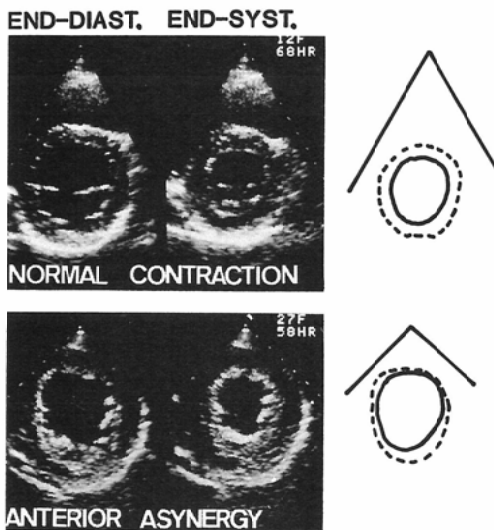


Fig. 4 Short axis view of two-dimensional echocardiogram in normal and anterior myocardial infarction.

ある。一枝病変と多枝病変とで多少の差はあるが specificity は心筋シンチグラフィがすぐれているが sensitivity は心エコー図が良好であるという

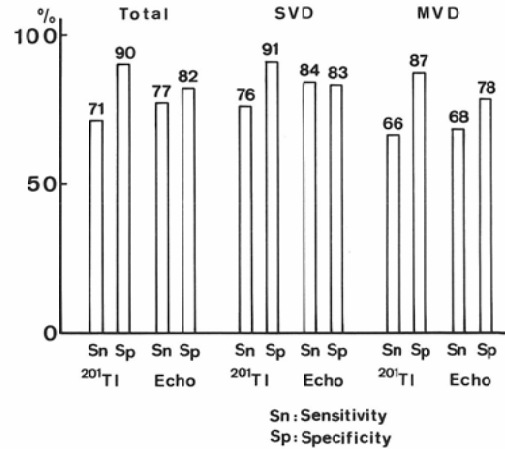


Fig. 5 Detectability of myocardial infarction size by echocardiography and myocardial scintigraphy.

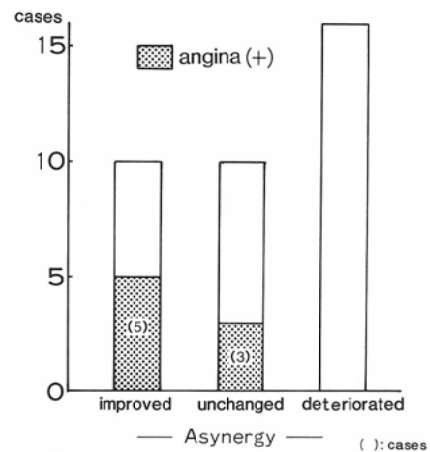


Fig. 6 Frequency of postinfarction angina.

結果になった (Fig. 5).

心エコー図が非侵襲的で病室でも施行できる特性を生かし心筋梗塞発症後経過を追って観察することができた。壁運動が改善する症例、また増悪する例も適確にとらえることができた。改善例、不変例では梗塞後も狭心痛を訴える例が多いが悪化群では皆無であった (Fig. 6)。

こういった梗塞発症後の壁運動の経過を Creatine Phosphokinase (CPK) 最高値と対比してみると、CPK 最高値が低値である例では壁運動が改善される傾向にあり、不変群と増悪群では有意に CPK が高値であることが明らかになった (Fig.

7).

4) X線CTによる心室壁運動の評価

X線CTは時間分解能が悪く、拍動する心臓の画像化には必ずしも適しているといえない。すなわち、1 scanに数秒を要するのが現状であり、それで得られた画像はその間の数心拍の平均的なもの

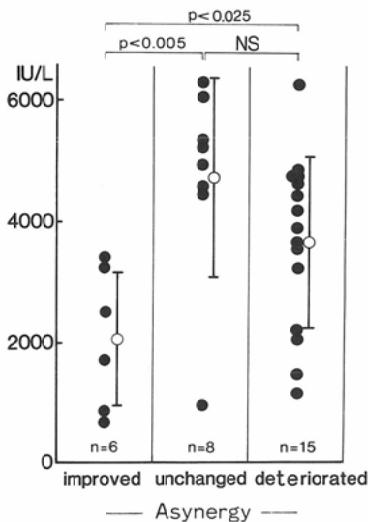


Fig. 7 Correlation of CPK peak value with wall motion evaluated by echocardiography.

のとなり、どちらかといえば拡張期のそれに近い。心疾患の種類によってはそれでも診断可能なものもあるが心室壁運動の評価には適していない。そこで、現存の機種では最も妥当な方法として心電図同期画像を構成し、壁運動を評価した^{15)~18)}。同一断面で造影剤を持続注入しながら4.8秒のscanを6回、心電図同期の下に行ない、ある断面での6回の4.8秒scanを元dataとし、心電図のR-R間隔を12分割し、画像を再構成した。元dataの収集には左室濃度の高いものを短時間に繰り返しscanできることをねらってdynamic scan法を利用した。interscan timeは1.5秒である。造影剤は76% diatrizoateを30~35ml急速注入した。

これで得られた連続画像の中でR波の位置のものが拡張終期像、左室内腔が最小となったものを収縮終期像とした。各画像の時間分解能は約100 msecである。これらの画像によって心室壁運動を観察した。実例として左室前壁梗塞後、左室瘤を形成した例を掲げる (Fig. 8)。この例では左室前壁が広範に膨隆し、拡張期、収縮期を比較して全く動きがみられない。同部の壁は菲薄化していて梗塞後の左室瘤であることは明らかである。左室瘤内部にみられるlow density areaは壁在血

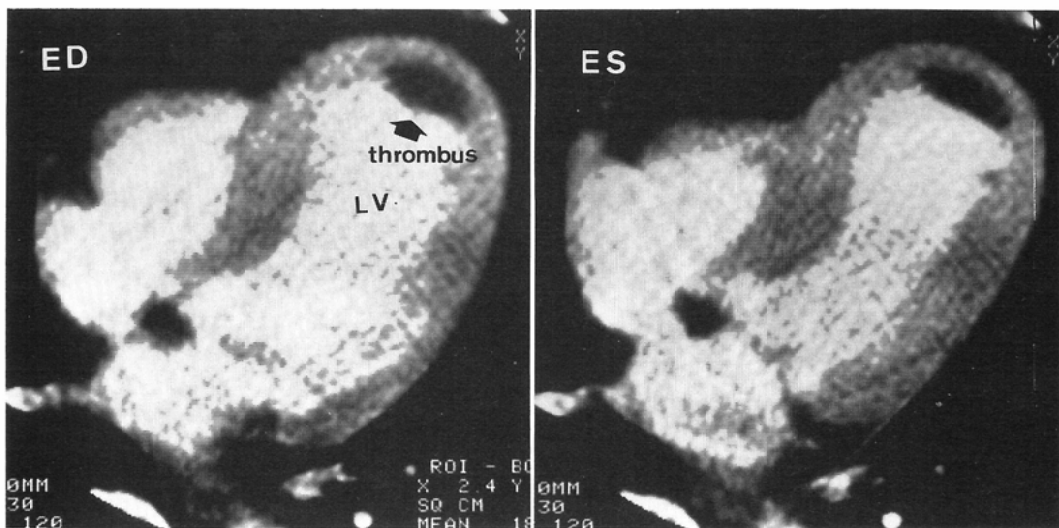


Fig. 8 Myocardial infarction associated with left ventricular aneurysm. Aneurysm and wall thinning are demonstrated at apical region of left ventricle. Mural thrombus is noted as low density area (arrow).

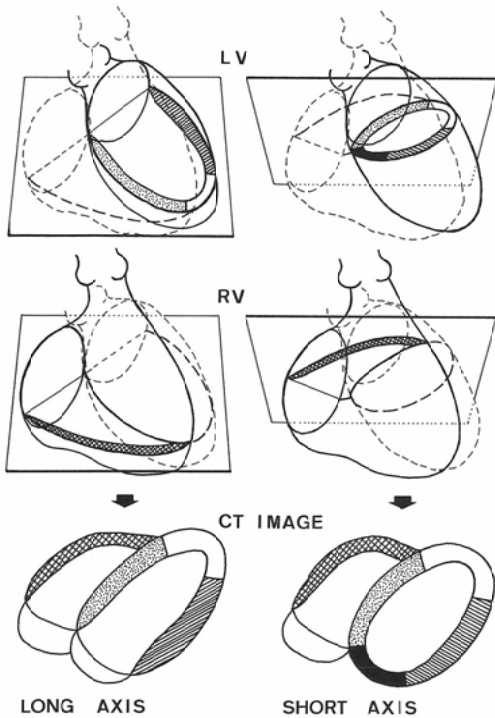


Fig. 9 Schematic representation of CT plane in cardiac structure.

LV: left ventricle RV: right ventricle

栓である。

X線CT像でみられる壁運動の精度をシネ撮影による左室造影と比較検討してみた。ガントリーを15°傾斜させ左室長軸断面としているが、それでも左室造影像とは観察する部位が必ずしも一致しない。左室形態とそのCT断面との関係を図示してみた (Fig. 9)。CTでは断面設定には僧帽弁輪中央を通る断面は正確に言えば真の長軸ではなく長軸に近い断面というのが正しい。この断面は必ずしも心尖を通らない。ガントリーを反対方向に15°傾斜させた短軸像も同様に短軸断面に近いものというべきである。これらのことを理解した上でCT像とシネ造影の両者の左室壁運動を比較すると後壁、下壁では多少評価が落ちるけれども全体的にみるとよい相関を得ることができた (Table 2)。

右室は形態、収縮様式ともに複雑であるため、どのような画像診断法も左室よりは梗塞の診断が

Table 2 Detectability of left ventricular wall motion abnormality with CT in comparison with left ventriculography

	sensitivity	specificity	accuracy
Post. Septum	95%	89%	91%
Ant. Septum	92	70	83
Ant. Lat. ~ Apex	86	90	87
Ant. Free wall	80	99	95
Post. Free wall	62	99	95
Inferopost.	71	85	80
All segments	86%	91%	89%

難しいことが知られている。しかし、X線CTは断層像であるために複雑な形態とは無関係に独特の方法で右室の収縮異常を指摘することができる¹⁹⁾。

CTでは、①右室自由壁の短縮、②内腔の断面積の縮小、③自由壁厚の変化の三者が収縮異常を検出する示標として利用できるが、本報告では右室自由壁の短縮を使用することにした。評価に用いた断面は左室長軸断面と同じである。

右室梗塞では自由壁の短縮が減弱ないし、全くみられないという結果を得た。最も顕著な右室梗塞症例を提示する (Fig. 10)。他の画像診断法との精度の比較は困難であって実施していない。右室内腔の断面積、壁厚を指標とすると自由壁の短縮ほどよい結果を得ることができなかった。

5) MRIによる心室壁運動の評価

心電図同期MRIによって心臓の任意の断層像が得られ²⁰⁾、拡張期と収縮期の像を比較すれば心室壁運動の評価が可能となる^{20)~24)}。体軸横断面に加えて冠状断面、矢状断面の評価を行なうことは左室後下壁の壁運動の異常の検出に有利である。他の検査法との精度の検討を実施中である。

6) RIプールスキャンによる心室壁運動評価

Tc-99m赤血球標識による心プールスキャンで30°右前斜位像、60°左前斜位像をMultigate法で撮像した。これらの像を観察して得られた左室壁

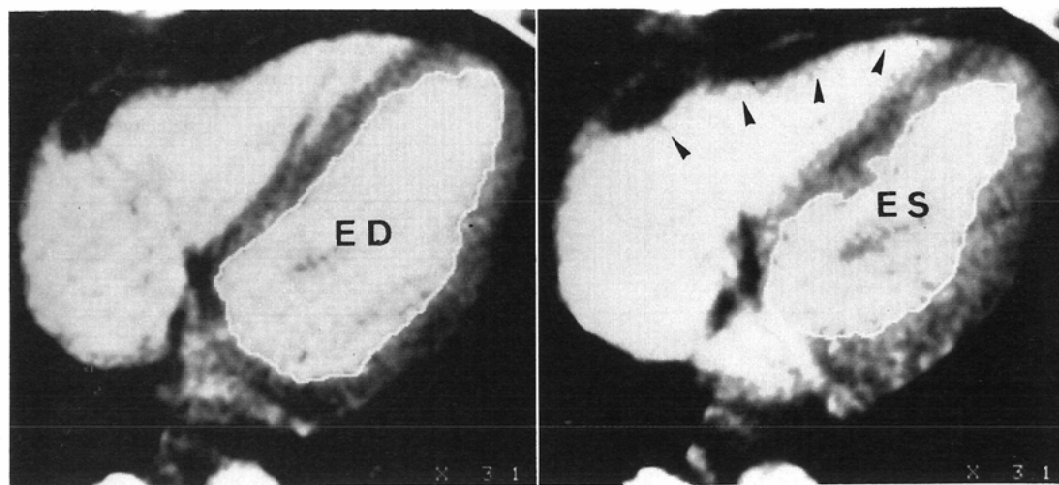


Fig. 10 A case of right ventricular infarction, demonstrated by ECG-gated CT.
No contraction is noted in right ventricular free wall (arrow heads).

運動はシネ造影像と良好な相関が得られることはすでに多くの文献で報告され^{25)~28)}、自験例でも確認し、日常診療に使用しているので詳細な報告は省略する。

[小括]

心室壁運動は心筋虚血ないしは梗塞の存在を示す間接的な所見ではあるが、心臓のポンプ機能と関連した重要な評価法である。その画像診断法も多様であって、すべての画像診断法が適用可能であるというのがむしろ正しい。シネ左室造影法は時間分解能、空間分解能が最良であり、golden standardとなっている。したがって病態の正確な把握、治療法の選択といった場合には冠動脈造影と連続した検査法として施行されるけれども、スクリーニング、経過観察には上述のどの検査法もそれぞれの長所、短所を理解しておれば適用可能であることを明らかにした。

3. 心室壁厚の評価

断層像であることを共通点とする X 線 CT、断層心エコー図、MRI ではすべて心室壁の厚さ、および心周期に応じた厚みの変化についての評価が容易である。したがって心筋梗塞、殊に陳旧性梗塞の診断に役立つ。すなわち、梗塞巣では心室壁の厚みが減少したり、心周期に応じた厚みの変化が減少ないしは消失するという現象がみられるこ

とを利用するわけである。

1) X 線 CT による心室壁厚の評価²⁹⁾³⁰⁾

心室壁厚の評価に利用する画像は心室壁運動の評価に用いた心電図同期画像をそのまま利用した。正常例では左室断面のどの部分も収縮期に同様に収縮し、厚くなることが明らかである。陳旧性心筋梗塞では拡張期、収縮期を通じて全く壁厚の変化を認めなくなる (Fig. 11)。完成された貫壁性梗塞では心室壁が非薄化する現象が伴う。心周期毎の左室壁厚の変化の異常と左室造影による壁運動異常を対比した (Table 3)。心室中隔、心尖部、後下壁を除いて異常正診率、正常正診率ともにより成績を示す。

前項で述べた壁運動異常に加えて壁厚の非薄化と変化率の減少が著しい症例と左室造影で壁運動の欠除ないしは奇異を示すものとの一致は75%であった (Table 4)。

2) MRI による心室壁厚の評価

同様に断層像である心電図同期の MRI でも心室壁の厚さを評価することが可能であった。横断面、矢状断面で前壁、中隔の非薄化が、横断面、矢状断面、冠状断面で下壁の非薄化がそれぞれ観察できた。

(小括)

左室壁厚の減少、心周期を通じての壁厚の変動



Fig. 11 Old myocardial infarction, demonstrated by CT. Thinning and akinesis are noted at apical region of left ventricle (arrow heads).

Table 3 Detection of myocardial infarction. Comparison of wall thickness change in CT with wall motion abnormality in left ventriculography.

	sensitivity	specificity	accuracy
Post. Septum	67%	91%	84%
Ant. Septum	57	98	78
Ant. Lat. ~ Apex	67	97	81
Ant. Free wall	90	98	96
Post. Free wall	92	95	94
Inferopost.	93	68	78
All segments	70%	91%	86%

の減弱を観察することが出来ることは断層画像を得ることが出来る検査法の利点である。殊に X 線 CT, MRI は画像の空間分解能がよく心室壁の菲薄化, 壁厚の心周期に応じた変動を把握するのに適している。この方法は他の画像診断法では得られない特異な情報を提供するものといえる。MRI は任意の断面を得ることが可能であるため, X 線 CT と比べ, 死角となる箇所が少なく, X 線 CT が不得意とする後下壁の梗塞巣の検出に便利である

Table 4 Comparison of severely impaired left ventricular contractility in CT with severe wall motion abnormality in left ventriculography

CT	LVG None ~ Dyskinesis	Hypokinesis ~ Normal	
Severe	55	18	73 segments
Mild ~ Negative	18	\	
	73 segments		
	sensitivity 75%		

ことや造影剤が不要であるといった利点がある。高速 X 線 CT を使用すると虚血による壁厚の時間的変動のさらに詳細な検出が可能になるものと期待される³¹⁾。

4. 心筋灌流の評価

虚血性心疾患の診断に日常用いられるのは T1-201 心筋シンチグラフィであり, 安静時のみならず, 運動負荷を併用することが可能である点でも他に類を見ないすぐれた特徴を有する。その他, DSA, X 線 CT でも心筋灌流を画像化し, 機能図を描くことを試みその研究の一端を示す。

1) T1-201による心筋灌流の評価

心筋梗塞部位では安静時に灌流欠損を示すことが知られているし, 一過性心筋虚血を示す患者では運動負荷時に灌流欠損がみられた部分が 4 時間

後に欠損が消失することによって診断、梗塞巣との鑑別が可能になる。このような心筋灌流を示す画像の評価は肉眼的観察に頼るところが多く、主観によって左右されることが少なくない。診断精度を向上させるために客観的な診断法が必要であり、そのために種々の方法が試みられている。その中からsingle photon emission CT(SPECT)^{32)~34)}について検討した結果を述べる。

心筋シンチグラムのplanar像に比し、SPECTでは欠損部位の検出が容易となり、一層客観的な評価が可能となる。この結果比較的经验が浅い診断医でもplanar像の場合よりも診断精度が向上し、専門医の水準に近づく。このことはROC曲線で検討した結果明らかとなった。

SPECT像では虚血の局在診断が向上し一層明確になるという利点もあり、支配冠動脈との関連も明らかに出来る場合が多い。

SPECT像とplanar像との心筋梗塞検出能を比較するとSPECTはsensitivityにすぐれ、specificityは殆ど変わらないという結果が得られた³⁵⁾。

次に梗塞の存在部位診断を心筋シンチグラフィ、心エコー図、左室造影の3者で対比検討した。対象は心電図で前壁梗塞と診断された症例及び下壁梗塞と診断された症例とした。それぞれ冠動脈造影が行なわれており、75%以上の狭窄が1枝、2枝、3枝にそれぞれ存在する。これで見ると1枝病変では3者ともよく一致する例が多いが多枝病変では壁運動異常が前壁から後下壁にまで拡大しているのをエコー図では読みきれない症例が存在するし、心筋シンチグラフィでも一致しない例が存在することが判明した。検査法によって得失があることを示すものである。

2) DSAによる心筋灌流の評価

造影剤を経静脈的に注入しても大動脈起始部に注入してもDSAの画像処理で心筋像を得ることができる³⁶⁾³⁷⁾。ここでは大動脈基部に造影剤を注入し、これから心筋の機能画像を作成、心筋灌流の評価を試みた。

症例はすべてaorto-coronary bypass手術を施行し、術後の評価を必要としたものである。

大動脈基部で注入した造影剤が冠動脈、毛細管

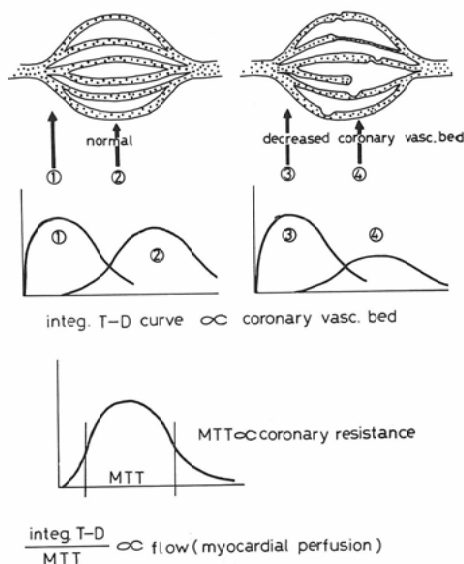


Fig. 12 Schematic demonstration of coronary vascular structure with and without obstruction, time density curves and parameters obtained from DSA.

相を経て冠動脈、右房と流れる過程を考え、各部分の時間濃度曲線を測定すると心筋レベルの曲線は冠動脈主幹部の曲線よりは上行部、下行部ともにより緩やかであり、最高濃度も低い。しかし、流れる量が一定である限り両曲線下の面積(Area)は等しく、冠動脈血管床の広さに比例する。冠血管に狭窄が存在すると心筋の濃度曲線はさらに緩徐な上行部、下行部を示し、最高濃度も低下する。これら時間濃度曲線の平均通過時間(mean transit time, MTT)は冠血管抵抗を表現し、Area/MTTは血流すなわち心筋灌流量を表わす(Fig. 12)。大動脈基部に造影剤を注入後、実際のDSA画像で左室に関心領域を設定すると、得られる第一の時間濃度曲線は心筋灌流を示し、これに続いて右心系への還流による第二の曲線とが得られる。第一の曲線を外挿して取り出し、解析の対象とした。この曲線の最高濃度値はCmax、面積をCinteg、平均通過時間をMTTとした。これらから各種パラメーターを求め、functional imageを作成した(Fig. 13)。

前述したようにCinteg/MTTは血流量を表現するものと考えられ、正常像では均等な血流分布

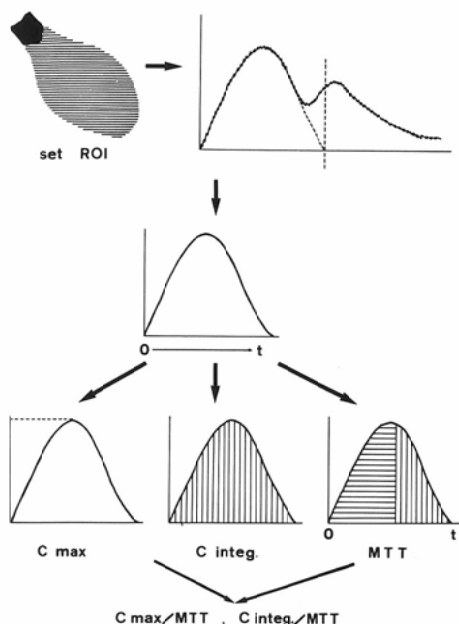


Fig. 13 Parameters from myocardial perfusion image, using DSA after aortic root injection.

が確かめられる。一方、左室前壁の心筋梗塞例では梗塞部位に一致して血流量の低下が画像として表現された (Fig. 14)。MTT を示す機能図を描かせると中隔梗塞例では左前斜位で通過時間の遅延部分、即ち血管抵抗が高値を示す部分が画像化される。この部分は血流の減少を示しており、両画像はよく対応した。

心筋画像の各部分に関心領域を設定し、各部分毎の時間濃度曲線を描かせることができる。正常の部分では時間濃度曲線は早い立ち上がりとなだらかな流出を示すのに対し、梗塞部分では立ち上がりが遅く、緩やかな勾配となり、最高濃度も低い。しかし、梗塞巣の中には立ち上がりが早く、最高濃度も大きい部分がある。梗塞巣の中の生存心筋部分か、あるいは副行路を介した血流の存在を示すものと考えられる。いずれにしても梗塞部分の血流が一様でないことの表現であろう。

3) X 線 CT による心筋灌流の評価^{38)~41)}

静脈注入でも大動脈基部への造影注入によっても dynamic CT を行なうと心筋の濃染像を得ることが出来る (Fig. 15)。これを利用して DSA と

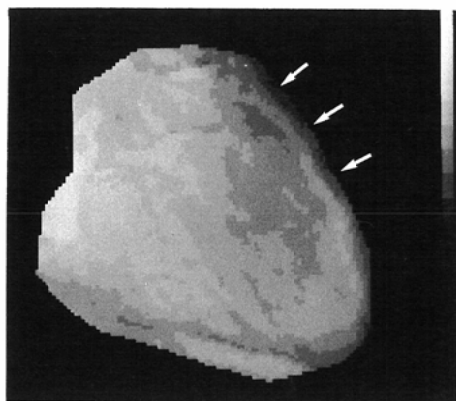


Fig. 14 Functional image of myocardial perfusion, using DSA, after aortic root injection. Reduction of blood flow due to infarction can be seen in left anterolateral region (arrows).

同様に心筋の functional image を描くことが可能である。本研究では DSA と同様 aorto-coronary bypass 術後の症例で大動脈注入を行なって得た functional image を提示する。

dynamic CT で得られた心筋像を元画像として種々のパラメータを求め DSA と同様の表現で image を描かせた。

左室前壁、側壁から後壁にかけて広範囲に存在する心筋梗塞例を提示する (Fig. 16)。area で描かれた vascular bed 像では外側壁に虚血が存在することがわかるし、area/MTT で得られた血流像では血流欠損が明瞭に表現される。しかし、MTT の延長は明らかに示すことは出来なかった。

X 線 CT では実験的梗塞巣において造影早期の灌流欠損と後期の enhancement が生じることが報告されている。この pattern は梗塞発症後の時期によって様相を異にする。これをまとめてみると、心筋梗塞発症後早期には注入後早期でも後期でも梗塞巣は灌流欠損を示すが、発症後時期を経ると早期欠損、後期 enhancement が表われ、さらに発症後の時日が経過すると心筋は菲薄化し、早期欠損像は明らかでなくなり、後期の enhancement は僅かにみとめられるけれども左室腔との濃度差はなくなる。

しかし、臨床例では上述の動物実験による報告

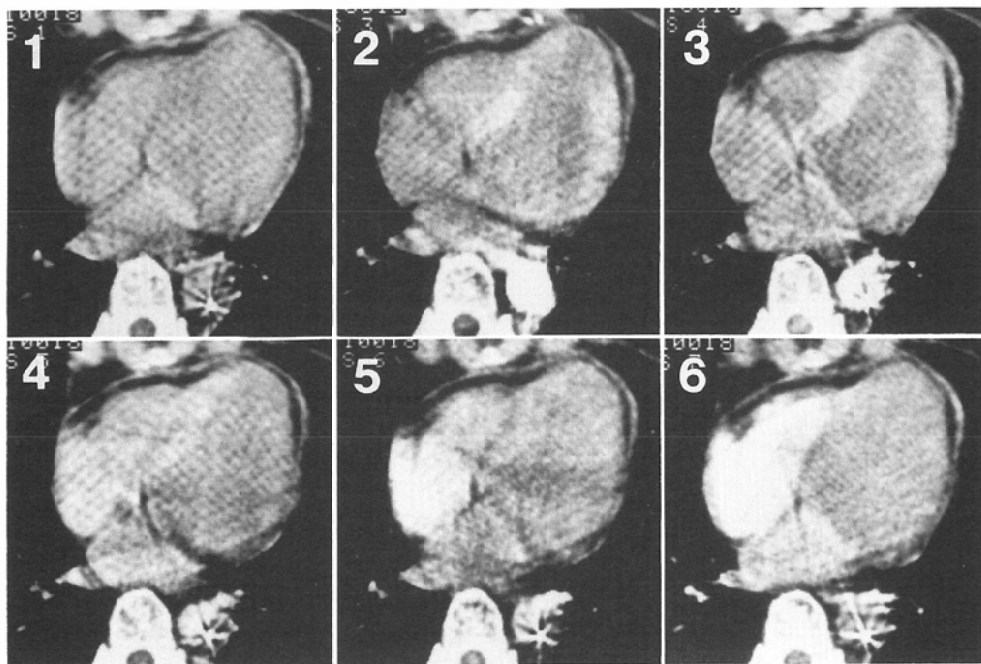


Fig. 15 Blood perfusion image using CT. Bolus injection gives myocardial staining in No. 2 and 3. Enhancement of right heart is demonstrated in No. 5 and 6.

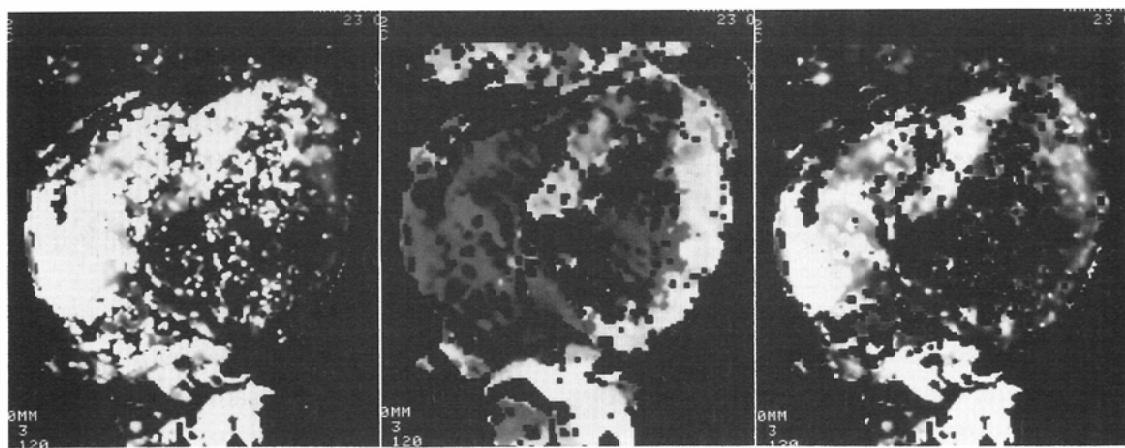


Fig. 16 Functional myocardial perfusion image of CT by similar principle with DSA. Reduced vascular bed in apical, lateral and posterior wall (left), transit time (middle), reduced blood flow in infarcted area (right).

とは必ずしも一致する例ばかりではなく、症例毎に異なった pattern を示すことが経験される。ここで提示する例は急性期のものはなくすべて陳旧性心筋梗塞の例ばかりであるが、その時期でも早

期欠損、後期濃染をしめす例 (Fig. 17) や早期欠損が目立たず、後期の enhancement が存在する例、早期、後期ともに濃染像と欠損像とが混在する例などが観察された。DSA でみられた現象と同

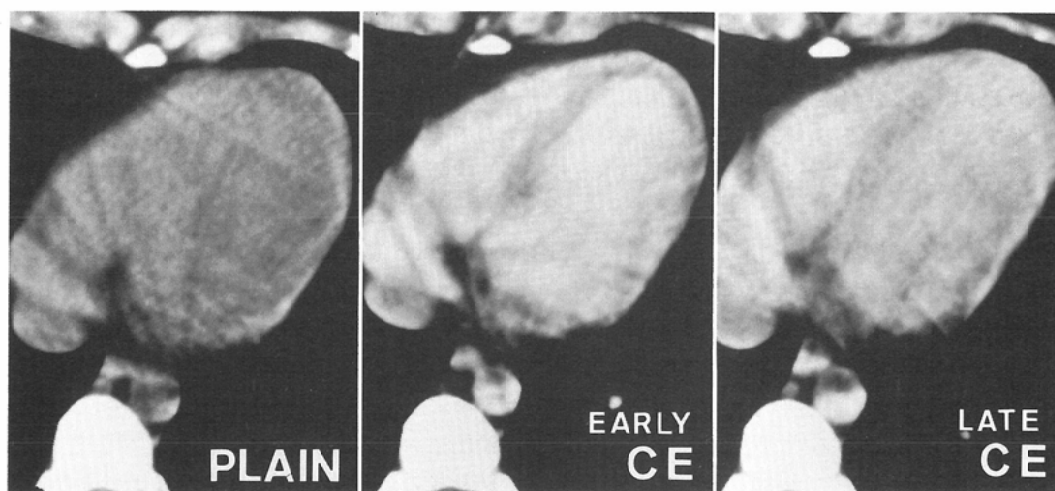


Fig. 17 Myocardial perfusion image of CT in case of old myocardial infarction after bolus injection of contrast medium into aortic root. Perfusion defect can be seen at apex after injection (middle). Late enhancement is demonstrated later (right).

様、残存心筋、側副血行路などが関与したものと考えられ、実験動物を用いた報告例のように一定した pattern は示さない。しかし、傾向としては慢性期には造影剤注入後早期はもちろん、後期にも欠損のまま残るのが安定した梗塞といえる。

[小括]

虚血性心疾患において心筋組織の血流障害の存在を表示することは冠動脈の解剖や左室壁運動の画像化よりは一層直接所見に近い診断法といえよう。この役割は従来専ら T1-T201による心筋シンチグラフィに頼ってきた。その心筋像も単なる static のものから SPECT の採用、運動負荷によって惹起された虚血とその後の再分布と washout rate の算出といった動的な解析に進展し、より客観的でより精度の高いものになったといえよう。SPECT を用いて、本報告でもより客観的に精度よく虚血や梗塞部分を診断できることを示した。

冠動脈の選択的造影をおこなっていると動脈相に続いて心筋の濃染像が得られることを経験する。アナログ画像ではこれを診断に用いることは困難であったが DSA、X 線 CT の採用によってこれをより鮮明な画像とすることや本報告で示したように functional image を作成することが可能

となった。これらによって心筋梗塞は必ずしも一様な image を示すものではなく、画像上様々な様相を呈することが判明した。このことは梗塞巢のより精密な解析とそれに基づいた治療法の選択に役立つものと思われる。さらに病理学的な所見との対比で解析を進める予定である。

5. 組織特性の同定による心筋梗塞の診断

以上述べた心筋虚血ないしは梗塞の画像診断はいずれも血流障害、あるいはそれを基礎とした機能の障害を表現したもので梗塞組織自体を直接示すものではない。組織特性を表現する画像診断法があれば理想的であり、その開発が望まれるわけである。

組織特性を表現できる可能性をもつ画像診断法としては心エコー図、X 線 CT、MRI があげられる。

a) 心エコー図による梗塞組織の検出^{(42)~(45)}

心エコー図では M-mode、断層エコー図ともに線維化した梗塞巣や石灰沈着巣を検出する可能性がある。前壁中隔梗塞症例においてエコー強度の増強によって瘢痕線維化した梗塞巣を描出できた例を呈示する (Fig. 18)。

b) X 線 CT による梗塞組織の検出

X線CTの濃度分解能はすぐれているけれども心筋梗塞組織を検出し、同定することはできない。しかし、脂肪変性に陥った組織、石灰沈着を検出することは可能である。ここでは心筋梗塞巣に広範な石灰沈着を生じた例を呈示する (Fig. 19)。

c) MRIによる心筋梗塞の検出

MRIは心筋組織性状を把握できる可能性が最も高い検査法として期待されている。すでに動物実験、臨床例で急性期心筋梗塞巣でT1あるいはT2の延長が報告されているがまだ検討すべきことが多いのが現状である^{46)~49)}。われわれはin

vivo imagingの可能性を求め、急性期心筋梗塞を犬を用いて作成し検討を加えた。さらにGd-DTPAによるenhancementの可能性も検討したのでその成績の一端を示す。

実験方法としては犬の左冠動脈前下行枝を結紮し、梗塞を作成した。まず10時間後にin vivoでspin echo像を撮像したところ、前壁の梗塞で信号強度の増強をみとめた。2nd echoでコントラストが一層増強し、T2の延長に基く現象と考えられ、諸家の報告と一致するデータであった (Fig. 20)。

次にGd-DTPAを0.5mg/kg静注し、梗塞巣の検出における有用性を検討した⁵⁰⁾⁵¹⁾。左前下行枝結紮後の単純撮影では異常を検出できない。Gd-DTPAを静注すると心内膜を中心として梗塞巣に信号強度の増強をみとめるが、あまり顕著なものではない (Fig. 21)。

左前下行枝結紮3時間後に結紮を解除した後、Gd-DTPAを注入すると心内膜下の梗塞巣に一致して著大な信号強度の増強を得た。 (Fig. 22)。T1の短縮に基く現象と解釈することができる。

この現象を解明するためにin vivoでT1, T2像を撮像することをこころみましたが雑音が多いため成功しなかった。そこでin vivo実験後直ちに心臓を摘出し、spin echo像, T1, T2像の撮像を行なった。1st echo, 2nd echo共に信号強度が増強し、

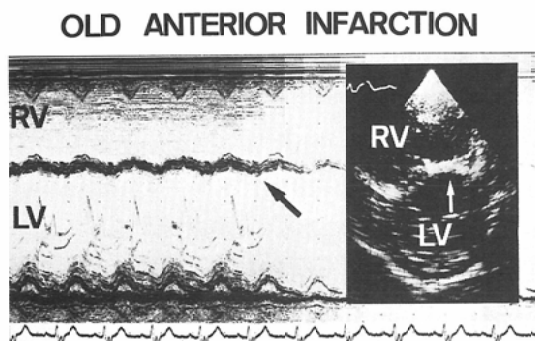


Fig. 18 Tissue characterization using B-mode and two-dimensional echocardiography. Increased echo-density is shown in ventricular septum (arrow).

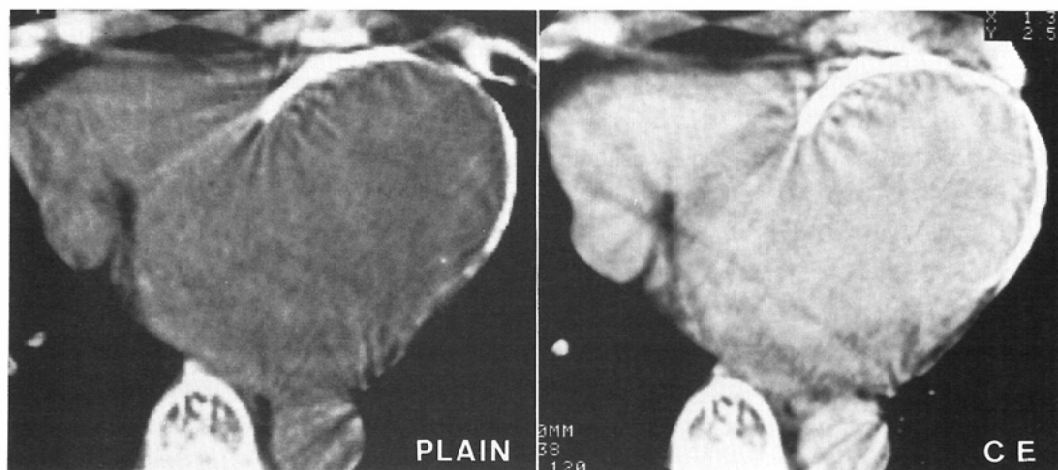


Fig. 19 Intensive and extensive calcification in myocardial infarcted area is revealed by plain and enhanced CT.



1st Echo



2nd Echo

Fig. 20 Magnetic resonance imaging of myocardial infarction in canine experiment. Multiple-spin echo sequence with TR value of 500msec and TE value of 30 and 60 msec show excellent contrast in infarcted area 10 hours after ligation of left anterior descending artery. Higher signal/noise ratio is obtained in second echo than in first echo.



Fig. 21 Magnetic resonance imaging of myocardial infarction, 6 hours after ligation of left anterior descending artery in canine experiment. After injection of Gd-DTPA (right), high contrast/noise ratio is achieved in comparison with plain image (left).

両者に差はない。T2像においても正常心筋との差は認めない。一方、T1像では梗塞部にT1短縮がみとめられた。したがって、Gd-DTPAを注入することによって得られたspin echo像における信号強度の増強はT1の短縮によるものと結論することができた。

〔小括〕

現在日常用いられている心筋梗塞の画像診断法はいずれも梗塞に伴う二次的な現象を捉える方法によるものである。それはそれなりに診断の向上が計られ、成果をあげて来たことは事実であるが、梗塞ないしは虚血に陥った組織を直接撮像することができれば診断精度は一層向上し、たとえば小さい心筋梗塞や心内膜下梗塞の診断も可能に

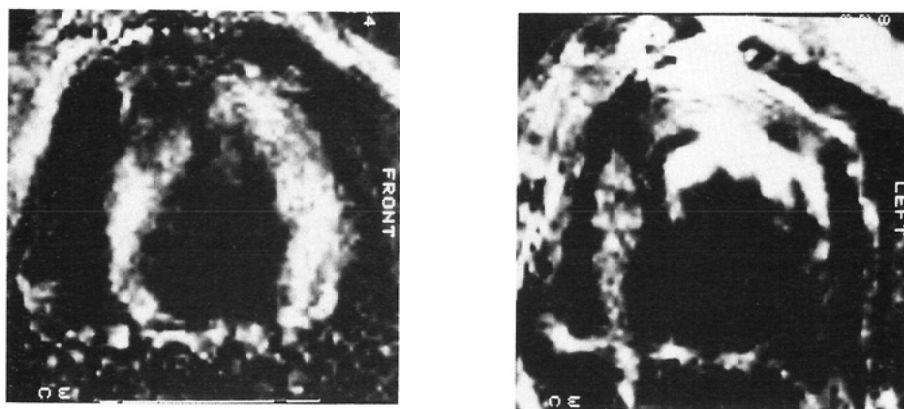


Fig. 22 Magnetic resonance imaging of myocardial infarction. Three hours after ligation of left anterior descending artery, no definitive infarction image can be obtained. Gd-DTPA injection after reperfusion gives high contrast image in infarcted area.

なることと思われる。心エコー図、X線CTでは瘢痕組織、変性組織でその可能性が考えられる。しかし、一種の化学的情報であるMRIではその可能性が一層強いものと期待されてきた。本報告ではその可能性を単なるspin echo像だけでなく、Gd-DTPAを用いて実現させようとしたものである。動物実験であること、急性心筋梗塞であることなど、まだ限界があるが、in vivo撮像の可能性を示したものと考える。

おわりに

虚血性心疾患に焦点を絞り、各画像診断法の特徴を検討し、精度の比較を行なった。デジタル画像を利用し、壁運動、壁厚といった方法に加え、心筋灌流の機能画像化、定量化について検討し、梗塞巣の診断に有用であることを示唆した。梗塞組織を直接画像化することは最も理想的な診断法であり、MRIを用いその可能性を示した。最近の理工学技術の進歩、発展に伴って診断法、殊に機能画像の有用性が高められ、心疾患の診断精度の向上に寄与することが期待される。

宿題報告の機会を与えて下さった第44回日本医学放射線学会会長篠原慎治教授、司会の労をとって頂いた本保善一郎教授にお礼を申し上げる。

本研究は国立循環器病センターにおいて心臓画像診断に携わる方々の所属を超えた御協力によってなされたもので

あり、ここにその氏名を記し、感謝の意を表する。

〔共同研究者〕国立循環器病センター放射線診療部 高宮 誠、木村晃二、西村恒彦、太田光重、内藤博昭、林田孝平、植原敏勇、浜田星紀、福岡治仁、心臓内科 朴 永大、研究所 高野久輝、中谷武嗣

文 献

- 1) Sos, T.A. and Baltaxe, H.A.: Cranial and caudal angulation of coronary angiography revised. *Circulation*, 56: 119-123, 1977
- 2) Abrams, H.L.: Coronary arteriography: Pathologic and prognostic implications. *A.J.R.*, 139: 1-18, 1982
- 3) 延吉正清: 冠動脈造影法. 医学書院, 東京, 1982
- 4) 小塚隆弘, 高宮 誠, 太田光重, 内藤博昭: デジタル画像法による冠動脈造影. *病態生理*, 4: 277-282, 1985
- 5) Tobis, J., Nalcioglu, O., Iseri, L., Johnston, W. D., Roeck, W., Castleman, E., Bauer, B., Montelli, S. and Henry, W.L.: Detection and quantitation of coronary artery stenoses from digital subtraction angiograms compared with 35-millimeter film cine angiograms. *Am. J. Cardiol.*, 54: 489-496, 1984
- 6) Ideker, R., Behar, V.S., Wagner, G.S., Starr, J. W., Starmer, C.F., Lee, K.L. and Hackel, D.B.: Evaluation of synergy. As an indicator of myocardial fibrosis. *Circulation*, 57: 715-725, 1978
- 7) AHA Committee Report. *Circulation*, 57: 7-40, 1975
- 8) Herman, M.V., Heinle, R.A., Klein, M.D. and Gorlin, R.: Localized disorders in myocardial

- contraction: Asynergy and its role in congestive heart failure. *New Engl. J. Med.*, 277: 222—232, 1967
- 9) Sigel, H., Nechwatal, W., Kress, P. and Stauch, M.: Intraobserver and intermethod variation in evaluation of regional wall motion of the left ventricle. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, 6: 14—19, 1983
 - 10) Felix, R. and Eichstädt, H.: Assessment of left ventricular wall motion in digital subtraction angiography. A comparative study. *Contrast Medium in Digital Radiography*. ed. R. Felix, W. Frommhold, J. Lissner, T.F. Meaney, H.P. Niendorf, E. Zeitler. Excerpta Medica, Amsterdam, 1983, p. 241—260
 - 11) Kozuka, T. and Ohta, M.: Evaluation of left ventricular function using digital subtraction angiography. *Jpn. J. Circul.*, 49: 710—718, 1985
 - 12) Adams, W.E., Tarkowska, A., Bitter, F., Stauch, M. and Geffers, H.: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc. Radiol.*, 2: 161—173, 1979
 - 13) Heger, J.J., Weyman, A.E., Wann, L.S., Dillon, J.C. and Feigenbaum, H.: Cross-sectional echocardiography in acute myocardial infarction: Detection and localization of regional left ventricular asynergy. *Circulation*, 60: 531—538, 1979
 - 14) Horowitz, R.S., Morganroth, J., Parrotto, C., Chen, C.C., Soffer, J. and Pauletto, F.J.: Immediate diagnosis of acute myocardial infarction by two-dimensional echocardiography. *Circulation*, 65: 323—324, 1982
 - 15) Berninger, W.H., Redington, R.W., Doherty, P., Lipton, M.J. and Carlsson, E.: Gated cardiac scanning: Canine studies. *J. Comput. Assis. Tomogr.*, 3: 155—163, 1979
 - 16) Lipton, M.J. and Higgins, C.B.: Evaluation of ischemic heart disease by computerized transmission tomography. *Radiol. Clin. N. Amer.*, 18: 557—576, 1980
 - 17) 内藤博昭, 有沢 淳, 木村晃二, 小塚隆弘, 鬼頭義次, 小原邦義, 藤田 毅, 永田正毅, Redington, R.W.: Computed tomography を用いた左心室機能及び形態診断. *J. Cardiogr.*, 12: 425—440, 1982
 - 18) Powel, W.J. Jr., Wittenberg, J., Miller, S.W., Maturi, R.A. and Dinsmore, R.E.: Assessment of drug intervention of the ischemic myocardium: Serial imaging and measurement with computerized tomography. *Am. J. Cardiol.*, 44: 46—52, 1979
 - 19) 内藤博昭, 木村元政, 太田光重, 木村晃二, 高宮誠, 小塚隆弘: Computed tomography による虚血性心疾患の右心室壁収縮性の評価. *J. Cardiogr.*, 14: 15—28, 1984
 - 20) Feiglin, D.H., George, C.R., MacIntyre, W.J., O'Donnel, J.K., Go, R.T., Pavlicek, W. and Meaney, T.F.: Gated cardiac magnetic resonance structure image: Optimization by electronic axial rotation. *Radiology*, 154: 129—132, 1985
 - 21) 内藤博昭, 西村恒彦, 高宮 誠, 小塚隆弘: 心大血管の磁気共鳴画像診断. 映像情報, 17: 748—754, 1985
 - 22) Higgins, C.B., Byrd, B.F. II, McNamara, M.T., Lanzer, P., Lipton, M.J., Botvinick, E., Schiller, N.B., Crooks, L.E. and Kaufman, L.: Magnetic resonance imaging of the heart: Review of the experience in 172 subjects. *Radiology*, 155: 671—679, 1985
 - 23) Lanzer, P., Barta, C., Botvinick, E.H., Wiesendanger, H.U.D., Modin, G. and Higgins, C.B.: ECG-synchronized cardiac MR imaging: Method and evaluation. *Radiology*, 155: 681—686, 1985
 - 24) Lanzer, P., Botvinick, E.H., Schiller, N.B., Crooks, L.E., Arakawa, M., Kaufman, L., Davis, P.L., Herkens, R., Lipton, M.J. and Higgins, C.B.: Cardiac imaging using gated magnetic resonance. *Radiology*, 150: 121—127, 1984
 - 25) Schad, N.: Nontraumatic assessment of left ventricular wall motion and regional stroke volume after myocardial infarction. *J. Nucl. Med.*, 18: 333—341, 1977
 - 26) Borer, J.S., Kent, K.M., Bacharach, S.L., Green, M.V., Rosing, D.R., Seides, S.F., Epstein, S.E. and Johnston, G.S.: Sensitivity, specificity and predictive accuracy of radionuclide cineangiography during exercise in patients with coronary artery disease. Comparison with exercise electrocardiography. *Circulation*, 60: 572—580, 1979
 - 27) Steckley, R.A., Kronenberg, M.W., Born, M. L., Rhea, T.C., Bateman, J.E., Rollo, F.D. and Friesinger, G.C.: Radionuclide ventriculography: Evaluation of automated and visual methods for regional wall motion analysis. *Radiology*, 142: 179—185, 1982
 - 28) 西村恒彦, 植原敏勇, 小塚隆弘: 心 RI アンジオグラフィによる心筋梗塞症例における局所壁運動の評価. 核医学, 17: 927—938, 1979
 - 29) Skiöldebrand, C.G., Ovenfors, C.-O., Mavroudis, C. and Lipton, M.J.: Assessment of

- ventricular wall thickness in vivo by computed transmission tomography. *Circulation*, 61 : 960—965, 1980
- 30) 内藤博昭, 山口敏雄, 植原敏勇, 太田光重, 西村恒彦, 小塚隆弘: Computed tomography による虚血性心疾患の左心室壁性状の評価. *J. Cardiogr.*, 12 : 371—385, 1982
 - 31) Farmer, D., Lipton, M.J., Higgins, C.B., Ringertz, H., Dean, P.B., Sievers, R. and Boyd, D.P.: In vivo assessment of left ventricular wall and chamber dynamics during transient myocardial ischemia using cine computed tomography. *Am. J. Cardiol.*, 55 : 560—565, 1985
 - 32) Budinger, T.F. and Gullberg, G.T.: Transverse section reconstruction of gamma-ray emitting radionuclides in patients. In reconstruction tomography in diagnostic radiology and nuclear medicine. Ter-Pogossian, M.M., Phelps, M.E., Brownell, G.L., eds., Baltimore, University Park Press, 1977, p. 315—342
 - 33) Maublant, J., Joude, M., Veyre, A. and Meyniel, G.: Transverse CAT of the myocardium with ²⁰¹Tl. *Eur. J. Nucl. Med.*, 4 : 457—459, 1979
 - 34) Holman, B.L., Hill, T.C., Wynne, J., Lovett, R.D., Zimmerman, R.E. and Smith, E.M.: Single-photon transaxial emission computed tomography of the heart in normal subjects and in patients with infarction. *J. Nucl. Med.*, 20 : 736—740, 1979
 - 35) 植原敏勇, 西村恒彦, 林田孝平, 小塚隆弘: Single photon emission コンピューター断層法(SPECT)を使用した心筋断層像による梗塞診断と定量的診断の比較. *J. Cardiogr.*, 14 : 645—653, 1984
 - 36) Radke, W., Bursch, J.H., Brennecke, R., Hahne, H.J. and Heintzen, P.H.: Assessment of left ventricular muscle volume by digital angiocardiology. *Invest. Radiol.*, 18 : 149—154, 1983
 - 37) 太田光重, 木村晃二, 小塚隆弘, 香川雅昭, 大西義隆, 巢組一男, 大江光雄: デジタルサブトラクションアンギオグラフィを用いた心機能の評価. *医学のあゆみ*, 127 : 1314—1320, 1983
 - 38) Carlsson, E., Lipton, M.J., Berninger, W.H., Doherty, P., Redington, R.W.: Selective left coronary myocardiography by computed tomography in living dogs. *Invest. Radiol.*, 12 : 559—562, 1977
 - 39) Harell, G.S., Guthaner, D.F., Breiman, R.S., Morehouse, C.C., Seppi, E.J., Marshall, W.H. and Wexler, L.: Stop-action cardiac computed tomography. *Radiology*, 123 : 515—517, 1977
 - 40) Higgins, C.B., Siemers, P.T., Schmidt, W. and Newell, J.D.: Evaluation of myocardial ischemic damage of various ages by computerized transmission tomography, time-dependent effects of contrast material. *Circulation*, 60 : 284—291, 1979
 - 41) Doherty, P.W., Lipton, M.J., Berninger, W.H., Skiöldebrand, C.G., Carlsson, E. and Redington, R.W.: The detection and quantitation of myocardial infarction in vivo using transmission computed tomography. *Circulation*, 63 : 597—606, 1981
 - 42) 田中元直, 引地久春, 寺沢良夫, 今野 淳, 仁田桂子, 柏木 誠, 目黒泰一郎, 渡辺 恵, 武田久尚, 中村俊夫, 小田島秀夫: 心筋梗塞にみられる組織学的変化の超音波断層法による診断. *心臓* 11 : 3—11, 1979
 - 43) Cohen, R.D., Mottley, J.G., Miller, J.G., Kurnick, P.B. and Sobel, B.E.: Detection of ischemic myocardium in vivo through the chest wall by quantitative ultrasonic tissue characterization. *Am. J. Cardiol.*, 50 : 838—843, 1982
 - 44) Rasmussen, S., Lovelace, D.E., Knoebel, S.B., Ransbury, R. and Corya, B.C.: Echocardiographic detection of ischemia and infarcted myocardium. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 3 : 733—743, 1984
 - 45) Schinittger, I., Vieli, A., Heiserman, J.H., Director, B.A., Billingham, M.E., Ellis, S.G., Kernoff, R.S., Takamoto, T. and Popp, R.L.: Ultrasonic tissue characterization: Detection of acute myocardial ischemia in dogs. *Circulation*, 72 : 193—199, 1985
 - 46) Williams, E.S., Kaplan, J.I., Thatcher, F., Zimmerman, G. and Knoebel, S.B.: Prolongation of proton spin lattice relaxation times in regionally ischemic tissue from dog hearts. *J. Nucl. Med.*, 21 : 449—453, 1980
 - 47) Higgins, C.B., Lanzer, P., Stark, D., Botvinik, E.H., Schiller, N.B., Crooks, L., Kaufman, L. and Lipton, M.J.: Imaging by nuclear magnetic resonance in patients with chronic ischemic heart disease. *Circulation*, 69 : 523—531, 1984
 - 48) Nishikawa, J., Machida, K., Iio, M., Yoshimoto, N., Sugimoto, T., Kawaguchi, H., Mano, H., Yoshida, Y. and Fujita, A.: ECG-gated NMR-CT for cardiovascular disease. *Rad. Med.*, 1 : 274—280, 1983
 - 49) Brown, J.J., Strich, G., Higgins, C.B., Gerber, K. H. and Slutsky, R.A.: Nuclear magnetic resonance analysis of acute myocardial infarction in dogs: The defects of transient coronary ischemia of varying duration and reperfusion

- on spin lattice relaxation times. *Am. Heart J.*, 109 : 486—490, 1985
- 50) McNamara, M.T., Higgins, C.B., Ehman, R.L., Revel, D., Sievers, R. and Brasch, R.C. : NMR contrast enhancement of acute myocardial ischemia using the paramagnetic pharmaceutical complex gadolinium-DTPA. *Radiology*, 153 : 157—163, 1984
- 51) Wesbey, G., Higgins, C.B., Lipton, M.J., Brasch, R.C., McNamara, N.T., Engelstad, B.L., Weinmann, H.J., Ehman, R.L., Lovin, J. and Sievers, R. : Functional evaluation of the myocardium in NMR imaging employing the paramagnetic pharmaceutical Gd-DTPA. *Radiology*, 153 : 165—169, 1984
-