

核磁気共鳴映像による心血管系の血栓診断について

Magnetic resonance imaging of cardiovascular thrombi

今井 均
榊原 誠
吉田 勝哉
渡辺 滋
増田 善昭
稲垣 義明
池平 博夫*
福田 信男*
館野 之男*

Hitoshi IMAI
Makoto SAKAKIBARA
Katsuya YOSHIDA
Shigeru WATANABE
Yoshiaki MASUDA
Yoshiaki INAGAKI
Hiroo IKEHIRA*
Nobuo FUKUDA*
Yukio TATENNO*

Summary

Magnetic resonance imaging (MRI) was performed for 10 patients with cardiovascular thrombi using a 0.1-Tesla resistive type apparatus (ASAHI MARK-J).

In all cases thrombi were clearly imaged by NMR and their shapes closely resembled those imaged by X-ray CT. Mural thrombi located within left ventricular aneurysms of two patients with old antero-septal myocardial infarction were semilunar in form. A mural thrombus in the right ventricle of a patient with cardiovascular Behçet's disease was also clearly imaged. Mural thrombi within the enlarged left atrium of two patients with mitral valve stenosis and insufficiency were clearly demonstrated in both cross- and longitudinal sections.

In three patients with thoracic aortic aneurysm, mural thrombi were recognized within the local dilatations of the aorta. In two patients with dissecting aortic aneurysm, mural thrombi were visualized within false lumen using MRI.

Mean T_1 values and standard deviations for the left ventricular cavity, the left ventricular wall, and the thrombi were 639 ± 49 , 349 ± 17 and 316 ± 84 msec, respectively. Mean T_1 values of the thrombi were usually shorter than those of the left ventricular wall. Some supposedly fresh thrombi had longer T_1 values, however.

Key words

Magnetic resonance imaging (MRI) Thrombus Myocardial infarction Mitral valve stenosis
Aortic aneurysm

千葉大学医学部 第三内科
*放射線医学総合研究所
千葉市亥鼻 1-8-1 (〒280)

The Third Department of Internal Medicine, Chiba University School of Medicine, and *the National Institute of Radiological Sciences, Inohana 1-8-1, Chiba 280

Received for publication September 22, 1984; accepted October 30, 1984 (Ref. No. 28-34)

はじめに

心血管系に血栓を有する患者が、突然、脳、心、その他、重要臓器の虚血を起し、重篤な臨床症状を呈する事は稀でない。したがって心血管系の血栓を診断する事は重要であり、観血的、非観血的な種々の画像診断法が試みられている。しかし、現在までの診断法には一長一短があり、より簡便で正確な画像診断法として、この数年めざましく進歩して来た核磁気共鳴断層撮影法 (magnetic resonance imaging computed tomography: MRI-CT) の利用が注目されている。

MRI 映像法は、X 線 CT と比較して、電離放射線を使用せず、安全な事、造影剤を使用せずに心血管壁と心血管腔を区別できる事、また骨や空気によるアーチファクトの無い事などが有利である。さらに水素のイメージングが得られ、その分解能も優れている事、縦緩和時間や横緩和時間という、組織内自由水などと関連した、組織内部の種々のパラメーターに反応した新しい情報が得られる事、また任意の断層像を選択できる事、血流を測定できる事などが特徴となっている¹⁾。

今回、我々は放射線医学総合研究所に設置されている MRI 装置を使用し、心大血管系の血栓について臨床的検討を行なった。

対象と方法

1. 装置

旭化成製 MRI (ASAHI MARK-J) を使用した。装置の主な仕様を **Table 1** に示す。

2. 対象

超音波断層法、X 線 CT 法、血管造影法により診断された心血管系血栓患者 10 例を対象とした。その内訳は陳旧性心筋梗塞に合併する左室内血栓 2 例、バネチット病に合併する右室内血栓 1 例、僧帽弁膜症に合併する左房内血栓 2 例、胸部大動脈瘤に合併する動脈瘤内血栓 3 例、解離性大動脈瘤に合併する動脈瘤内血栓 2 例である (**Table 2**)。

Table 1. Performance of the imaging system (ASAHI MARK-J)

Magnet	: 0.1 Tesla, resistive
Mode of imaging	: Spin-warp method
	: Saturation recovery (SR) imaging
	: Inversion recovery (IR) imaging
	: T ₁ imaging
	: Transverse, coronal, sagittal
Pixel numbers	: 128×128, 256×256
Scanning area	: 48×48
Slice thickness	: 15 mm
Spatial resolution	: Head coil 2 mm, body coil 4 mm
Required time	: 2-4 min/slice

3. 撮像法

被検者を装置内に仰臥位とし、できるだけ小さな呼吸を繰り返させた。まず、全例で大動脈弓部レベルから左室下部レベルまで 15 mm 間隔で連続的に横断 IR (inversion recovery) 像を撮像した。次いでこの画像を参考にし、必要個所のみについて SR (saturation recovery) 像と T₁ 像を撮像した。一部の例では腹部についても撮像した。また横断像のほか冠状断像と矢状断像を撮像し、さらに T₁ 像については、心血管の種々の部位に関心領域を置き、T₁ 値を計算した。

パルス系列は、IR 像については 180 度パルスと 90 度パルスまでの待ち時間を主に 350 ミリ秒とし、繰り返し時間を 1000 ミリ秒とした。T₁ 像については待ち時間を 300 ミリ秒とし、繰り返し時間を 1000 ミリ秒とした。SR 像については繰り返し時間を 300 ミリ秒から 1000 ミリ秒の間で撮像した。これらの撮像に要する時間は、1 スライス当たり、IR 像、SR 像で 2 分、T₁ 像で 4 分を要した。ブラウン管に表示された画像をマルチフォーマットカメラにより記録した。

成績

1. 血栓の形状について

MRI により血栓を有する 10 例全例で、血栓を検出できた。血栓の形状は半月状、塊状、楕円

Table 2. Patient profiles and MRI results

Case No.	Sex	Age (yr)	Diagnosis	Corroborative imaging modality	Detection of thrombi by MRI	T ₁ Values (msec)		
						LV cavity	LV wall	Thrombi
1	M	49	Old MI with LV thrombus	XCT, ANG, 2DE	+		365	259
2	M	62	Old MI with LV thrombus	XCT, ANG, 2DE	+	662	375	259
3	M	39	Behçet's dis. with RV thrombus	XCT, ANG, 2DE	+	631	344	438
4	M	64	Msi with LA thrombus	XCT, 2DE	+		327	187
5	M	53	Msi with LA thrombus	XCT, 2DE	+	670	352	449
6	M	64	A.A. with mural thrombus	XCT, 2DE	+	670	325	330
7	F	74	A.A. with mural thrombus	XCT	+			
8	M	74	A.A. with mural thrombus	XCT, 2DE	+	564	351	282
9	M	50	D.A.A. with mural thrombus	XCT, 2DE	+	693	362	323
10	M	73	D.A.A. with mural thrombus	XCT, 2DE	+			267
Mean±SD						639±49	349±17	316±84

M=male; F=female; MI=myocardial infarction; LV=left ventricle; RV=right ventricle; LA=left artium; Msi=mitral valve stenosis and insufficiency; A.A.=aortic aneurysm; D.A.A.=dissecting aortic aneurysm; XCT=X ray CT; ANG=angiography; 2DE=two-dimensional echocardiography.

状、楔状、層状と判別が可能であり、造影 X 線 CT 像と形態上はほぼ一致した。検出できたもっとも小さい血栓は、MRI および X 線 CT 像より約 5×5 mm と推定された。

2. 血栓の撮像の違いについて

撮像の違いによる画像の特徴については、いわゆる「T₁ 値強調画像」とよばれる IR 像では、血栓、心血管周囲脂肪、および心血管壁は明るく高信号として描出され、血液腔と髄液腔は暗く低信号として描出された。反対に T₁ 像では、血栓、心血管周囲脂肪、および心血管壁は低信号として、血液腔と髄液腔は高信号として描出された。また、水素密度を反映すると言われる SR 像では、血栓は低信号として描出されたが、心血管壁と血液腔との区別は困難であった。

3. 血栓の T₁ 値の測定結果について

各症例で左室腔、左室壁、および血栓の T₁ 値を前述のパルス系の条件で測定した (Table 2, Fig. 1)。これらの T₁ 値の平均と標準偏差はそれぞれ 639±49, 349±17, 316±84 msec であり、左室壁および血栓の T₁ 値は左室腔のそれよりも有

意に低値であった。10 例のうち、T₁ 値を測定できたのは 9 例であったが、そのうち 5 例 (187, 259, 259, 267, 282 msec) では心筋の平均より T₁ 値が低く、2 例 (323, 330 msec) ではほぼ同値であり、他の 2 例 (438, 449 msec) では心筋より高値であった。この高値を示した 2 例のうち、1 例は僧帽弁狭窄症兼閉鎖不全症に合併した左房内血栓で、MRI 施行数日後脳血栓によると考えられる原因で突然死した。他の 1 例は反復性の肺梗塞を呈する Behçet 病に合併した右室内血栓であった。この 2 例はいずれも血栓の遊離が推定されることから、比較的新しい血栓が存在すると考えられた。

4. 症例の呈示

症例 1: 陳旧性広範囲前壁梗塞、左室内血栓。49 歳、男性。

発症後 3 ヶ月経過。X 線 CT 像で (Fig. 2a) 左室壁は薄く外方へ突出し、心室瘤を形成し、瘤内には壁在血栓を認める。同一部位の T₁ 像 (Fig. 2b) で、同様に左室瘤内に半月状の低信号の血栓を認める。

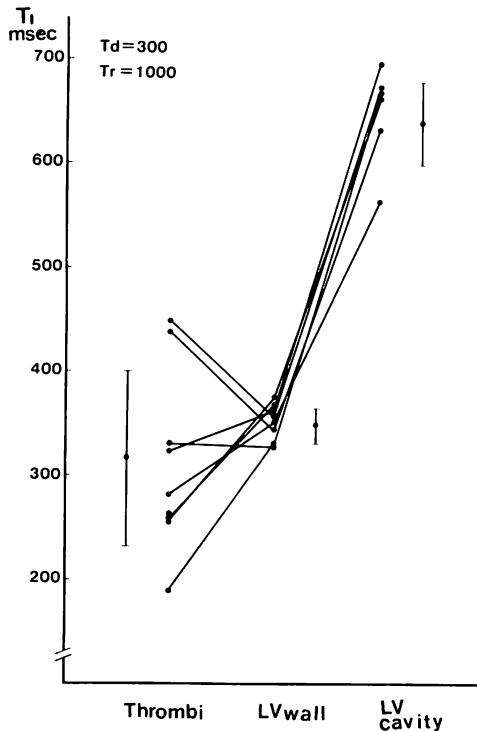


Fig. 1. Mean T₁ values of thrombi, left ventricular wall and cavity.

Mean T₁ values of the thrombi are usually shorter than those of the left ventricular wall. However, two thrombi supposedly fresh had longer T₁ values.

症例 3: 心血管型 Behçet 病, 右室内血栓. 39 歳, 男性.

心血管型 Behçet 病に肺塞栓を繰り返し起こした. X 線 CT 像では拡張した右心室内に塊状の血栓を認め (Fig. 3a), IR 像では高信号の血栓を認める (Fig. 3b). その T₁ 値は約 438 msec で, 左心腔の T₁ 値の約 344 msec より延長していた. また断層心エコー図所見では血栓は右心室心尖部に付着した有茎性の血栓であって, 診療経過中に血栓の大きさの縮小や増大を認めた. したがって本例の血栓は比較的新しい血栓と考えられた.

症例 4: 僧帽弁狭窄症兼閉鎖不全症, 左房内血栓. 64 歳, 男性.

1971 年以来, 現在まで心不全で入院を繰り返

している. 造影 X 線 CT 像 (Fig. 4a) では, 左房, 右房, 肺動脈は著明に拡張し, 左室後壁に付着した巨大な楕円状の血栓が造影欠損像として認められる. 同一部位の IR 像 (Fig. 4b) では, 巨大な楕円状の血栓は明るく高信号として描出され, 血液腔は暗く低信号として描出されている. 同一部位の T₁ 像 (Fig. 4c) では, 血栓は暗く低信号として描出され, 血液腔は明るく高信号として描出されている. Fig. 4d, e に示したそれぞれ冠状断像と矢状断像の T₁ 像では, 拡張した左房の右側後壁寄りに血栓が描出され, 血栓の立体的形態を示すのに有用である. Fig. 4f の矢状断 SR 像では, 血栓は低信号に描出されているが, 心血管の構造は明瞭でない.

症例 5: 僧帽弁狭窄症閉鎖不全症, 左房内血栓. 53 歳, 男性.

1984 年 1 月, 労作時呼吸困難が出現し当科受診した. 初診後まもなく会社のデスクワーク中に突然死亡し, 左房内血栓の流出による脳梗塞が原因と考えられた. 断層心エコー図法では左心耳から左房内に突出するエコー塊を認めた. 造影 X 線 CT 像では Fig. 5a のように, 左心耳内に血栓による造影欠損像が見られ, しかも血栓は不均一で, 血栓内に造影剤が見られる.

同一部位の IR 像 Fig. 5b では, 血栓は左心耳内に突出した塊状の高信号領域として描出されている. その T₁ 値は 449 msec で, 左室壁の T₁ 値の 352 msec より延長していた. したがって, 臨床所見, X 線 CT および断層心エコー図所見から, この血栓は内部に流動する血液を有し, 可動性がある比較的新しい血栓と考えられた.

症例 7: 胸部大動脈瘤, 動脈瘤内血栓. 74 歳, 女性.

1981 年, 胸部痛出現. 大動脈弓部中心とした紡錘状の胸部大動脈瘤で下行大動脈まで及ぶ. X 線 CT 像では (Fig. 6a), 上行大動脈より大動脈弓部は拡張し, 紡錘状の大動脈瘤を形成し, 左側壁内に半月状の壁に血栓を認める. Fig. 6b は同一部位の IR 像で, 同様に大動脈瘤内に半月状の高信

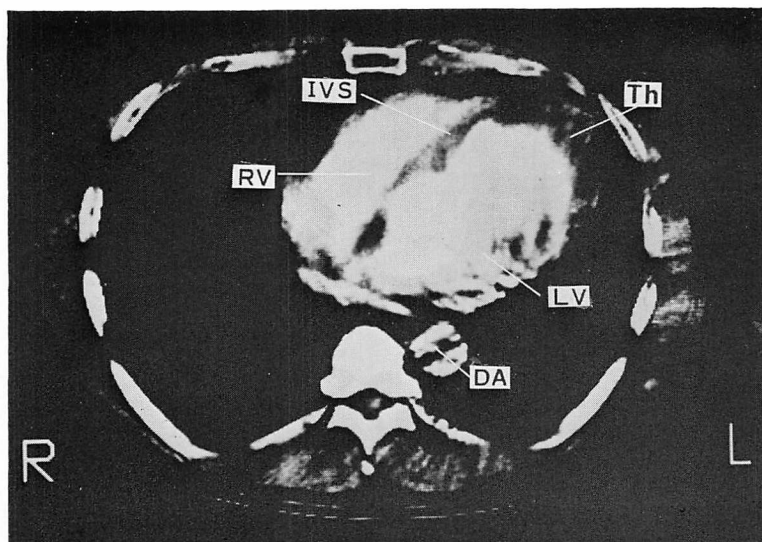


Fig. 2a. X-ray CT image of old anteroseptal myocardial infarction and a mural thrombus (Th) within the left ventricular aneurysm.

RV=right ventricle; RA=right atrium; IVS=interventricular septum; DA=descending aorta.

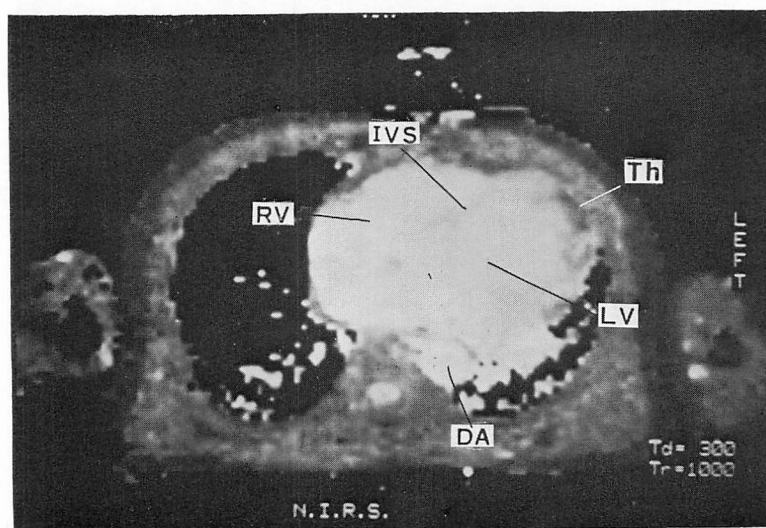


Fig. 2b. Transverse T_1 image of the left ventricular thrombus showing lower signal intensity than that of the left ventricular wall.

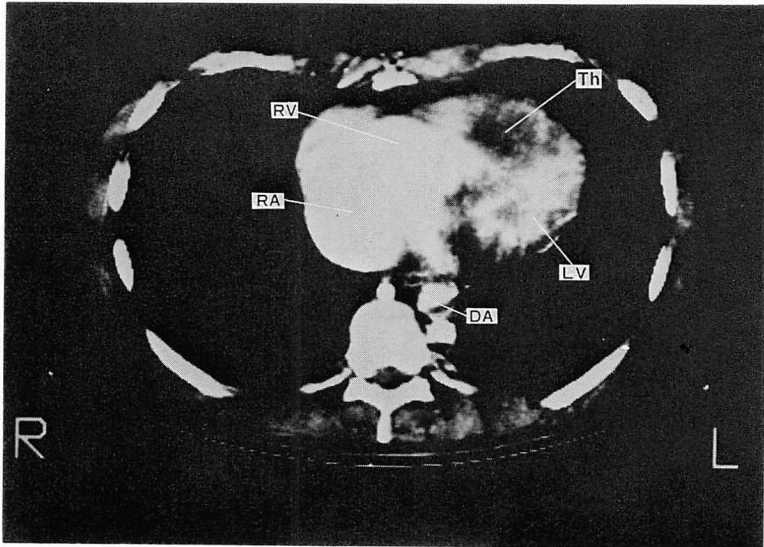


Fig. 3a. X-ray CT image of a right ventricular thrombus in cardiovascular Behçet's disease.

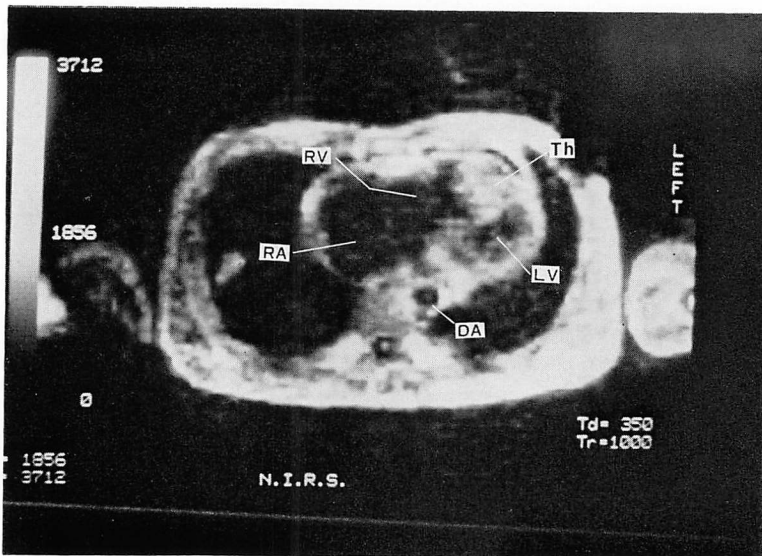


Fig. 3b. Transverse inversion recovery (IR) image of the right ventricular thrombus showing high signal intensity.

Mean T_1 value of the thrombus is longer than that of the left the ventricular wall.

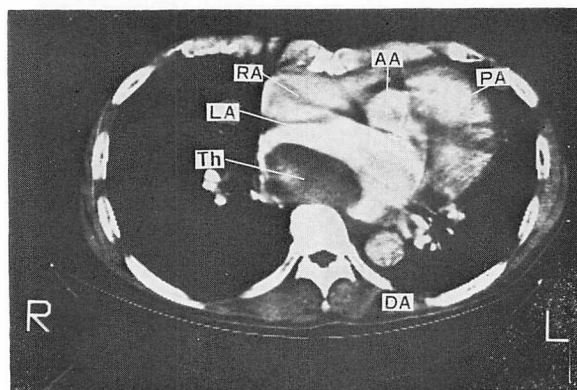


Fig. 4a. X-ray CT image of mitral valve stenosis and insufficiency with a left atrial thrombus.

PA=pulmonary artery; AA=ascending aorta.

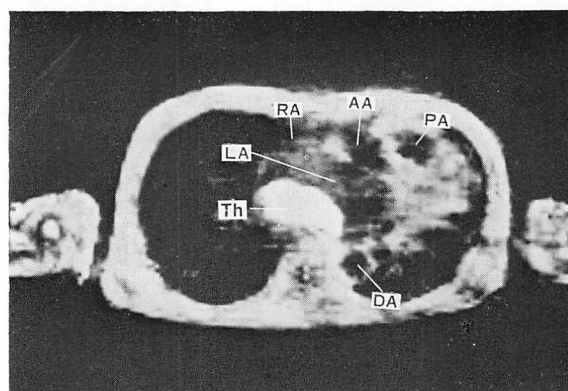


Fig. 4b. Transverse IR image of the left atrial thrombus showing the round shape with high signal intensity.

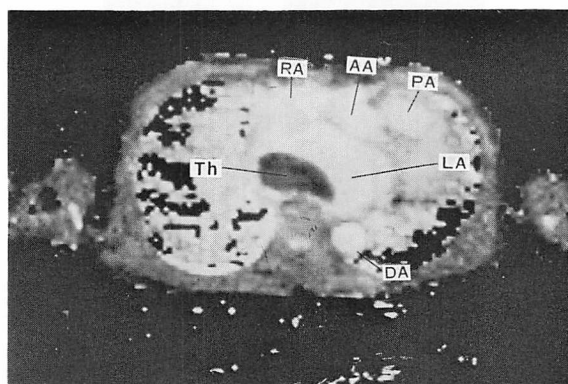


Fig. 4c. Transverse T₁ image of the left atrial thrombus in the enlarged left atrium showing low signal intensity.

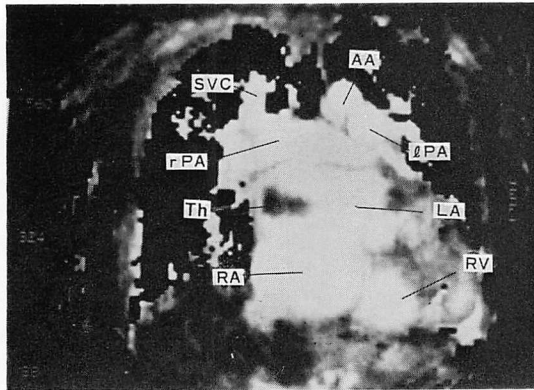


Fig. 4d. Coronal T₁ image of the left atrial thrombus.
SVC=superior vena cava.

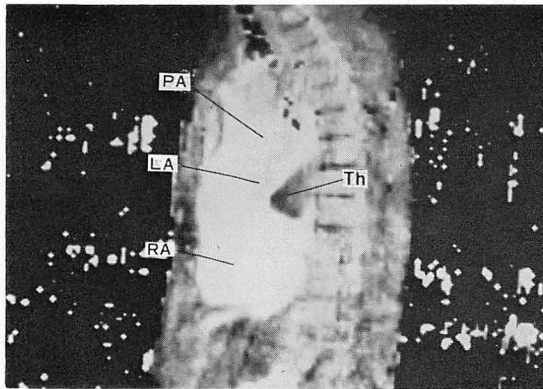


Fig. 4e. Sagittal T₁ image of the left atrial thrombus.

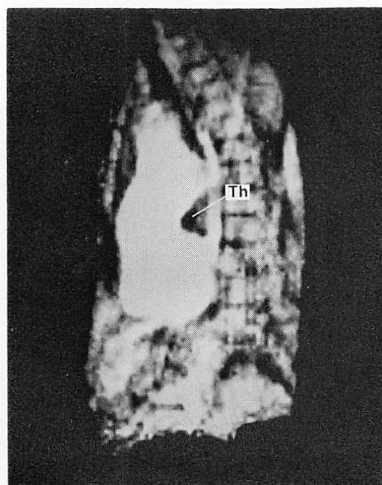


Fig. 4f. Sagittal saturation recovery (SR) image of the left atrial thrombus showing low signal intensity without showing the cardiovascular structure.

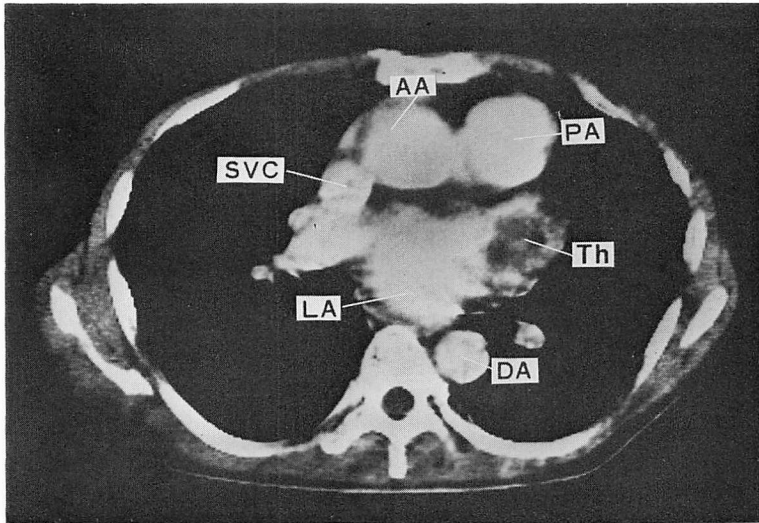


Fig. 5a. X-ray CT image of a left atrial thrombus in mitral valve stenosis and insufficiency showing a thrombus of heterogeneous quality.

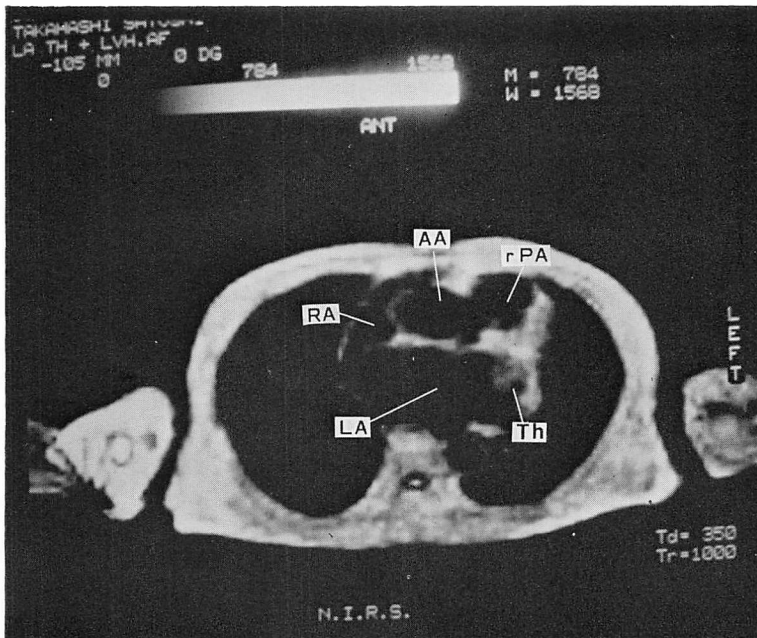


Fig. 5b. Transverse IR image of the left atrial thrombus showing high signal intensity. Mean T_1 value of the thrombus is longer than that of the left ventricular wall.

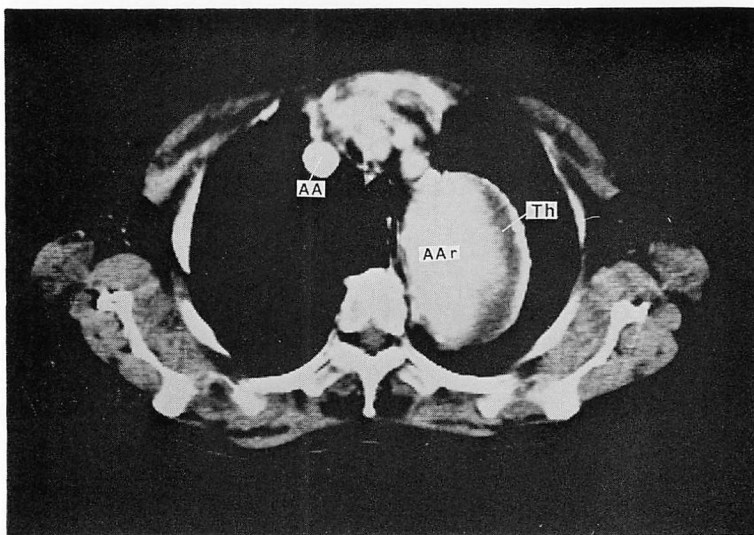


Fig. 6a. X-ray CT image of a mural thrombus in thoracic aortic aneurysm.
AAr=aortic arch.

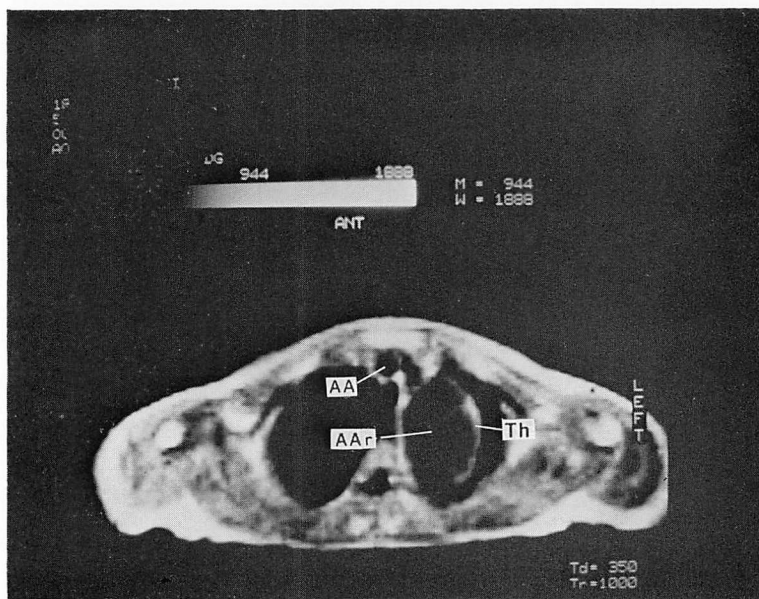


Fig. 6b. Transverse IR image of the mural thrombus showing the semilunar shape with high signal intensity.

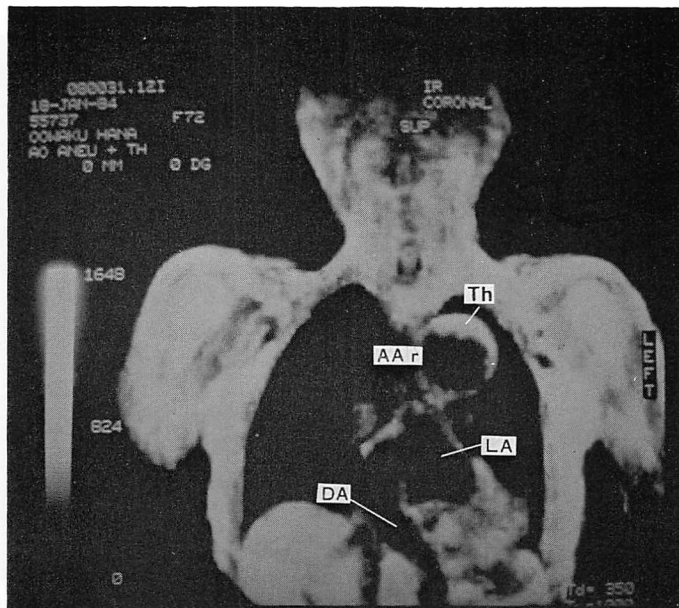


Fig. 6c. Coronal IR image of the mural thrombus.

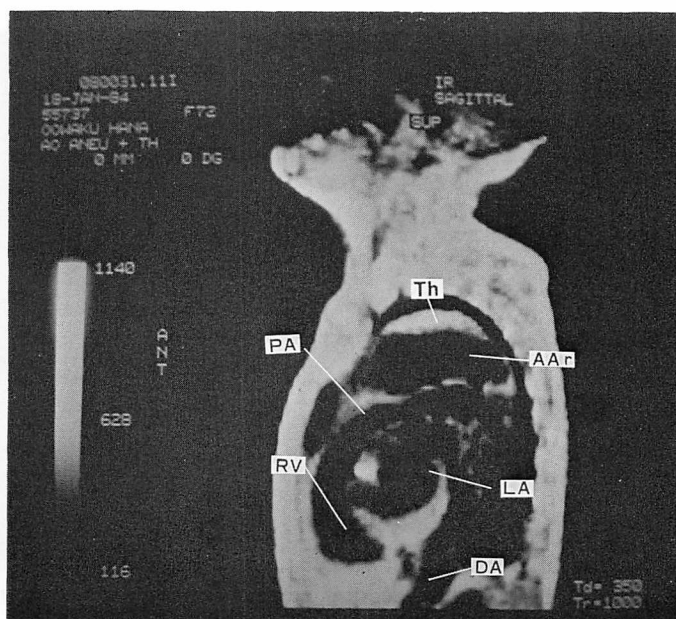


Fig. 6d. Sagittal IR image of the mural thrombus.

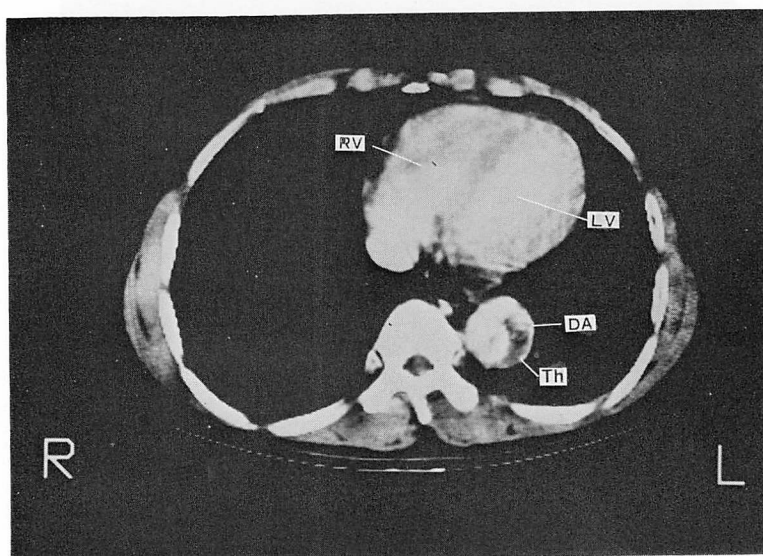


Fig. 7a. X-ray CT image of dissecting aortic aneurysm (Debaquey IIIb) at the level close to the middle of the left ventricle showing the true lumen (Tl), false lumen (Fl) and a mural thrombus in the enlarged descending aorta.

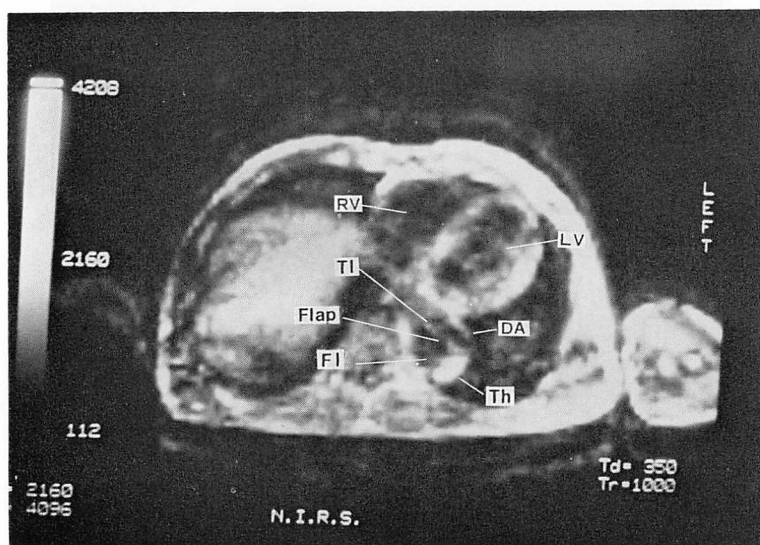


Fig. 7b. Transverse IR image of dissecting aortic aneurysm showing an intimal flap and the semilunar shaped thrombus with high signal intensity.

号の血栓を認める。Fig. 6c, d に示した冠状断像と矢状断像の IR 像では、高信号の血栓が大動脈弓の外側上方に位置している。

症例 9: 解離性大動脈瘤, 解離腔内血栓. 50 歳, 男性.

1982 年, 前胸部痛が出現し, 大動脈弓より腎動脈に及ぶ DeBakey IIIb 型の解離性大動脈瘤と診断された。左室中央レベルの X 線 CT 像 (Fig. 7a) では, 下行大動脈は拡張し, その右側壁側は解離腔であり, 左側壁側は真腔である。解離腔の後側は半月状の血栓で占められている。左室中央よりやや下方レベルの IR 像では (Fig. 7b), 拡張した下行大動脈を二分する剝離内膜が右上方から左下方に認められ, 解離腔の後側に半月状の血栓を認める。

考 察

心血管内血栓に対する従来の非侵襲的画像診断法としては, 超音波断層法, X 線 CT 法, 核医学診断法などがある。超音波断層法²⁾では骨や肺, 腸の空気が障害するため, 深部心血管内の血栓は検出困難な事が多い。また超音波ビーム方向を一定にする事が難しく, 血栓の大きさや形状を再現性よく描出する事が難しい場合も, しばしば経験される。X 線 CT 法では, 血栓の形状の判定は超音波断層法より容易であるが, 縦断方向の情報に乏しく, また大部分の場合に造影剤を必要とし, 真の非侵襲的画像診断法とは言いがたい。核医学を利用して, indium-111 をラベルした血小板を用いる方法³⁾では, 血小板が付着しない古い血栓の検出や, 表面にしか付着しない血栓の大きさの判定に問題がある。

今回我々の使用した 0.1 Tesla の MRI は, 空間分解能や画質などの点で X 線 CT に及ばないが, 造影剤を使用せずに心腔, 心筋, 大血管が明瞭に識別され, また任意の断層面が選択できるため, 複雑な心血管構造を立体的に把握することが容易であり, 各疾患に特徴的な形態, および血栓形状の診断が可能であった。MRI により, 血栓

を有する 10 例全例で血栓を検出できたが, その形状は半月状, 塊状, 楕円状, 楔状, 層状と判別でき, 造影 X 線 CT 像と, 形態上ほぼ一致した。また MRI では inversion recovery (IR) 像, T₁ 像, saturation recovery (SR) 像などが得られ, IR 像は心血管系の立体的解剖学的な診断に適し, T₁ 像は血栓の質的診断に適し, 又 SR 像は血流の有無の診断に適した。

血栓の T₁ 値の測定結果については, 左室腔, 左室壁, 血栓の T₁ 値の平均はこれらの順番に低くなり, 左室壁および血栓の T₁ 値は, 左心室腔より有意に低値であった。9 例の血栓のうち, 5 例では心筋の平均より T₁ 値が低く, 2 例ではほぼ同値, 2 例では心筋より高値であった。すなわち多くの場合, 心筋と血栓は T₁ 値の差によって区別可能と考えられるが, 少数例では心筋と血栓を T₁ 値で区別できず, この場合は, 血栓が心腔内へ突出しているという形状により区別しなければならぬと思われた。また高値を示した 2 例は比較的新しい血栓であることが示唆された。このさい, T₁ 値の高低は血栓自体の性状の違い, 例えば, 水分含有量, 器質化の程度, 脂肪含有量などの影響を受けていると思われ, T₁ 値より血栓の性状, 形成時期を推定する事ができるのではないかと考えられた。

今回使用した機種は常伝導のもので, 超伝導 MRI では血栓についても画像の向上が考えられる。しかし一般に静止磁場強度の増加にしたがって T₁ 値は延長するので, 超伝導 MRI で正確な T₁ 値を求めるためには, 繰り返し時間は長くなり, T₁ 値測定に要する時間は延長する。本機のごとく 0.1 Tesla の低磁場を用いる場合には, 超伝導による高磁場に比べ, 短時間で T₁ 像と T₁ 値を求める事ができ, この点では臨床上より有用であると考えられた。

MRI 像の血栓の大きさは, X 線 CT 像と比較すると, ほぼ同等大と推定された。しかし現時点では MRI は心拍非同期, スライス厚 (15 mm), 空間分解能 (4 mm) のため, 両者の比較は厳密な

ものでないので, 今後の検討を要する. MRI では血流の影響を受け, 血流の遅い部分ではいわゆる paradoxical enhancement のため, spin echo 法で信号強度の増加が見られるという^{4,5)}. すなわち spin echo 法では, 血栓の周囲や解離性大動脈瘤の解離腔の遅い血流部分が強信号になるため, 血栓の大きさの判定や解離腔内の強信号が, 遅い血流であるか血栓なのかの判定に注意する必要がある. しかし, 今回行なった IR 像, T₁ 像は血流の影響を受けない⁶⁾ので, 血栓と遅い血流との区別は可能で, 形状と大きさをより正確に把握できると考えられた.

結 論

断層心エコー図法, X 線 CT 法および血管造影法によって心大血管内の血栓と診断された 10 例について MRI を実施し, 血栓診断の有用性を検討した.

1. 全例において, MRI により血栓が検出され, その形状はよく把握された.
2. 横断像だけでなく, 縦断像が血栓の形状把握に役立った.
3. 血栓の T₁ 値は, 心筋より低値を示す場合が多かった. また血栓の T₁ 値の高低は, 血栓の性状を示すものと示唆された.

以上, MRI は心大血管内の血栓診断に有用であった.

要 約

MRI による心血管系の血栓診断の有用性を評価するため, 常伝導, 0.1 Tesla の MRI 装置(旭化成製 MARK-J)を用い, 心大血管系の血栓を有する 10 症例について臨床検討を行った.

10 例全例で MRI により心血管の血栓が検出され, その形状は造影 X 線 CT 所見とほぼ一致

した. すなわち 2 例の陳旧性前壁中隔梗塞例では, 前壁中隔に位置する左室腔内に壁在血栓が認められた. 心血管型 Behçet 病の 1 例では右室壁に血栓が, 僧帽弁膜症の 2 例では拡大した左房内に壁在血栓が, MRI で描出された. 3 例の胸部大動脈瘤例では拡張した動脈瘤内に壁在血栓が認められ, 2 例の解離性大動脈瘤例では, 剝離内膜により分けられる解離腔内に壁在血栓が認められた. 左室腔, 左室壁, 血栓の T₁ 値の平均と標準偏差は各々 639±49, 349±17, 316±84 であった. 血栓は左室壁に比べ一般に低い T₁ 値をとるが, 新鮮血栓と思われる例では, 左室心筋壁より大きな値をとった. 以上の結果は, MRI が心血管系の血栓診断に有用であることを示すものである.

文 献

- 1) 飯尾正宏(監訳): NMR イメージング. 医学書院: 東京, 1982, p 1-7
- 2) Mikell FL, Asinger RW, Rouke T, Hodges M, Sharma B, Francis GS: Two-dimensional echocardiographic demonstration of left atrial thrombi in patients with prosthetic mitral valves. *Circulation* **60**: 1183-1190, 1979
- 3) Ezekowitz MD, Leonard JC, Smith EO, Allen EW, Taylor FB: Identification of left ventricular thrombi in man using indium-111-labeled autologous platelets. *Circulation* **63**: 803-10, 1981
- 4) Herfkens RJ, Higgins CB, Hricak H, Lipton MJ, Crooks LF, Lanzer P, Botvinick E, Brundage B, Sheldon PE, Kaufman L: Nuclear magnetic resonance imaging of the cardiovascular system: Normal and pathological findings. *Radiology* **147**: 749-759, 1983
- 5) Higgins CB, Lanzer P, Stark D, Botvinick E, Schiller NB, Crooks L, Kaufman L: Imaging by nuclear magnetic resonance in patients with chronic ischemic heart disease. *Circulation* **69**: 523-531, 1984
- 6) 福田信男, 池平博夫, 鳥居真一郎, 今井 均, 柿本茂文, 上嶋康裕, 森脇正司: NMR-CT による血流イメージングの検討. *NMR 医学* **4**: 6-10, 1984