

407-421, 1956

5) 正津 晃, 竹内成之, 井上 正ほか: 特異的な心内異常を伴う心室中隔欠損症—Valsalva 洞動脈瘤その他. 胸部外科 25: 465-475, 1972

6) 内川 伸, 伊藤良明, 林 和秀ほか: 非破裂心外型 Valsalva 洞動脈瘤の経験. 胸部外科 56: 879-882, 2003

7) 水島恒和, 高橋俊樹, 島崎靖之ほか: 心外型非破裂性巨大 Valsalva 洞動脈瘤—1 手術例及び文献的考察. 日胸外会誌 44: 202-207, 1996

8) Yasuda F, Shimono T, Adachi K et al: Surgi-

cal repair of extracardiac unruptured acquired Valsalva aneurysms. Ann Thorac Surg 70: 1696-1698, 2000

9) Kusuyama T, Nakamura Y, Yamagishi H et al: Unruptured aneurysm of the sinus of Valsalva with Behçet's disease. Circ J 66: 107-108, 2002

10) 木村知恵理, 小宮達彦, 田村暢成ほか: 大動脈炎による未破裂 Valsalva 洞動脈瘤に対し大動脈基部再建術を施行した 1 例. 日心臓血管外会誌 35: 271-274, 2006

## SUMMARY

### Surgical Repair of Extracardiac Unruptured Aneurysm of the Sinus of Valsalva

Hiroaki Aida et al., Department of Cardiovascular Surgery, Hiraka General Hospital, Yokote, Japan

An isolated extracardiac unruptured aneurysm of the non-coronary sinus of Valsalva was detected incidentally in a 49-year-old woman with chronic obstructive pulmonary disease.

The orifice of the aneurysm was closed with XAG-400 patch. The aortic valve was normal. 20 cases of successful operation have been reported in Japan with extracardiac unruptured aneurysm. In the review of the literature, patch closure of the orifice of the aneurysm was the standard procedure in most cases. However, aortic root replacement was required in some cases with concomitant cardiac and/or aortic disease.

### KEY WORDS

aneurysm of sinus of Valsalva/extracardiac aneurysm/patch closure

\*

\*

\*

胸部外科

2006年4月号 (Vol.59 No.4)

定価2,520円 (税込)

南江堂 TEL 03-3811-7239 (営業)

## 特集〈狭小大動脈弁輪に対する弁置換術〉

■特集「狭小大動脈弁輪に対する弁置換術」  
よせて……………幕内晴朗

1 弁輪拡大術

Patient-prosthesis mismatchの回避／狭小大動脈弁輪に対する人工弁置換術／高齢者に対する大動脈弁輪拡大術

2 術式の工夫

高齢者狭小大動脈弁輪に対する弁置換術／狭小弁輪を伴う大動脈弁狭窄に対する弁輪上拡大の有用性／高齢者狭小大動脈弁輪に対するapicoaortic conduitの成績と問題点／石灰化狭小大動脈弁に対する弁置換術

3 小口径人工弁

狭小弁輪に対するconventional大動脈弁置換術の遠隔成績／高齢者に対する19mm人工弁

を用いた大動脈弁置換術

4 心機能

大動脈弁置換術後のpatient-prosthesis mismatch／左室拡張機能障害からみた大動脈弁手術

5 高齢者

高齢者の弁置換術において有効弁口面積指数0.85超は必要か／高齢者高度石灰化狭小大動脈弁輪に対する弁置換術

## 2) 心筋バイアビリティー評価

京都府立医科大学心臓血管・呼吸器外科学

小川 貢 土井 潔 夜久 均

### はじめに

心臓外科領域における心筋バイアビリティー評価は、虚血性心疾患に対する冠動脈バイパス術後の機能予後判定のみならず、虚血性心筋症における治療戦略を考慮する上で不可欠な術前評価である。特に、虚血性心筋症に対し、冠動脈バイパス術単独か、あるいは左室形成術を追加するか、また切除範囲をいかに決定するかといったクリティカルな問題を解決するために、心筋バイアビリティー評価法について理解を深める必要がある。本稿では、近年、有用性が示されている遅延造影MRIについても言及し、心臓外科領域における心筋バイアビリティー評価法について述べる。

心筋バイアビリティーとは、特に虚血を原因とした障害心筋の生存能のことをいう。一般的に、バイアビリティーを有する病態として、虚血に起因した収縮能低下を呈する冬眠心筋 (hibernating myocardium) や、虚血再灌流障害に起因した収縮能低下を呈する気絶心筋 (stunned myocardium) が存在する。心筋バイアビリティーを評価する第1段階として、細胞膜統合性、細胞代謝能、収縮予備能、癒痕組織壁内進展度といった各種イメージングの標的を理解すべきである (表1)。

■表1 各種イメージングの標的

①心臓核医学検査	
$^{201}\text{Tl}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ -SPECT, $\text{NH}_3$ -PET	細胞膜統合性
$^{18}\text{F}$ -FDG-PET, $^{123}\text{I}$ -BMIPP	細胞代謝能
②負荷心臓超音波検査	残存収縮能
③心臓MRI検査	
遅延造影MRI	癒痕組織壁内進展度
負荷シネMRI	残存収縮能

### 心筋バイアビリティー画像診断

#### 心臓核医学検査

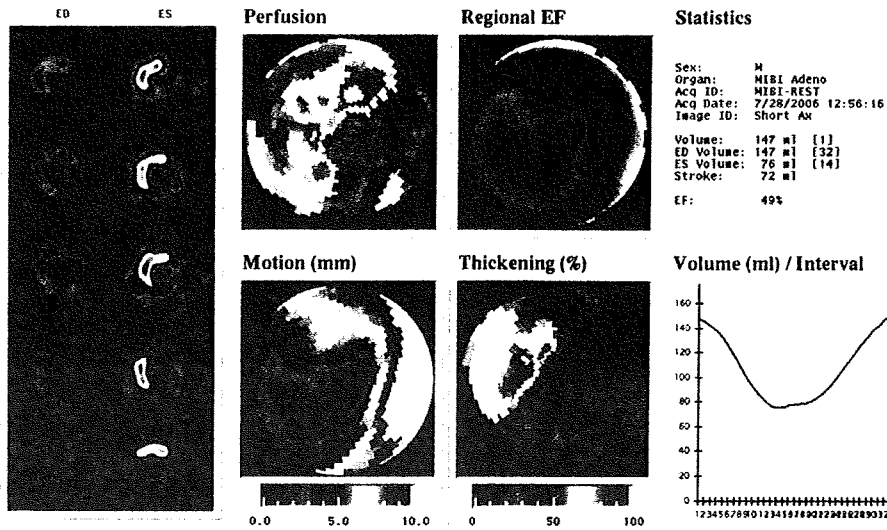
心臓核医学検査は、日常診療において心筋虚血の検出や心筋バイアビリティーの評価に広く用いられている。検査手法として心筋SPECT (single photon emission tomography) を用いた心筋血流、心筋代謝および神経機能からの評価が行われている。中でも心筋血流SPECTは、非侵襲的に心筋血流状態をイメージングすることが可能であり、心電図同期SPECTとQGS (quantitative gated SPECT) を組み合わせると、心筋血流状態と左心機能を同時に評価することが可能となった (図1)。最近、PET (positron emission tomography) 装置の導入施設が増加し、心筋SPECTにて判定が困難な症例における $^{18}\text{F}$ -FDG-PETが臨床に応用されている。

SPECT (単光子放射型コンピューター断層撮影) は、放射性同位元素から放出される1本の $\gamma$ 線を検出して画像を再構成する技術で、放射性同位元素として、 $^{201}\text{Tl}$ や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が使用されている。PET (陽電子放出型断層撮影) は、陽電子が電子と結合した際に発する2本の $\gamma$ 線を検出して断層撮影する方法である。SPECTと比較して、時間空間解像度が高く、また標識化合物が多様で、 $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ のような、生体構成元素の同位体を利用できるため、これらの核種で標識した化合物で、代謝物質の体内動態を観察できるという利点がある。

心筋バイアビリティー評価における核医学検査とドブタミン負荷心臓超音波検査についての多くの比較研究を見ると、核医学検査の感度は高いが、特異度がドブタミン負荷心臓超音波検査に比して若干低いことが報告されている<sup>1)</sup> (表2)。

#### 心筋血流イメージング

心筋血流イメージング製剤として、 $^{201}\text{Tl}$ と $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin) 標識製剤が用いられている。 $^{201}\text{Tl}$ は心筋細胞膜



■ 図1 <sup>99m</sup>Tc-MIBIによる心電図同期SPECTのQGS解析結果

■ 表2 各種イメージングの診断能 (文献4より改変)

Technique	No. of studies	% Sensitivity	% Specificity	% NPV	% PPV
<sup>18</sup> F-FDG PET	20	93	58	85	77
<sup>201</sup> Tl imaging	33	87	55	81	64
<sup>99m</sup> Tc-labeled tracers	20	81	66	77	71
DSE	32	81	80	85	77

DSE=dobutamine stress echocardiography, NPV=negative predictive value, PPV=positive predictive value

Na-K channelを介した能動輸送により心筋細胞内に取り込まれるため、細胞膜の統合性 (integrity) を反映していると考えられている。ファーストパスでの<sup>201</sup>Tl製剤の心筋への描出率は85%と高く、早期像での集積は生存心筋の血流を反映する。細胞内に取り込まれた<sup>201</sup>TlはK channelを介して細胞外に放出される。これを洗い出し (wash out) といい、特に負荷をかけた場合、虚血部では洗い出し速度は正常部より遅延し、後期像では正常部と虚血部での集積差は減少ないしは消失する。この減少を再分布 (redistribution) といい、後期像での分布は心筋バイアビリティーを反映したものと考えられている。

<sup>99m</sup>Tc製剤の心筋集積機序は受動拡散による

ものである。そのためファーストパスでの心筋描出率は<sup>201</sup>Tl製剤よりも低いが、初期像は血流分布を反映する。<sup>201</sup>Tl製剤の心筋摂取機序と比較すると、<sup>99m</sup>Tc製剤は心筋バイアビリティーよりむしろ心筋血流を反映していると考えられている。厳密には、心筋パーフュージョンと心筋バイアビリティーは分離して考えるべきではあるが、<sup>99m</sup>Tc-sestamibiは細胞内では90%以上がミトコンドリア分画に存在し、その心筋保持はミトコンドリア機能、つまり心筋バイアビリティーを反映している可能性がある。<sup>99m</sup>Tc製剤には<sup>201</sup>Tl製剤のような再分布現象はなく、負荷法の場合、2回投与が必要であるが、<sup>201</sup>Tl製剤 (73時間) と比較すると半減期が6時間と短く、大量投与が行えるので、SN比の比較的高

い画像が得られる。

SPECTにおいては、肝臓への核種の取り込みにより下壁のattenuation, 女性であれば乳房への取り込みにより、前壁のattenuationが影響することがあり、診断に注意を要する。

心筋脂肪酸代謝イメージング

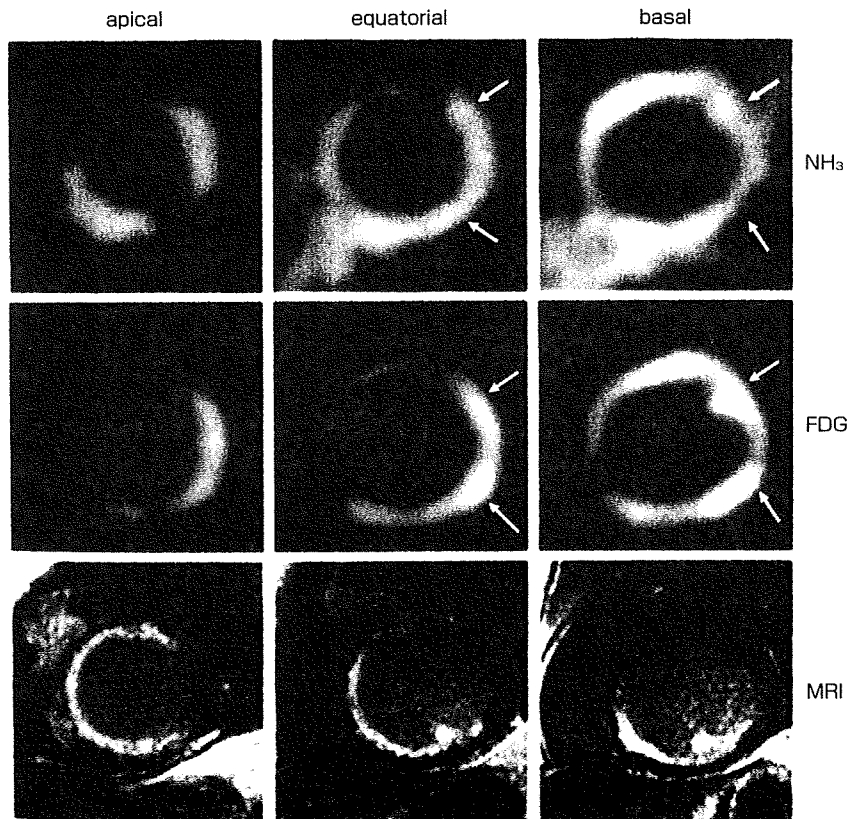
心筋脂肪酸代謝をイメージングするために、<sup>123</sup>I-BMIPPが用いられている。基本的には、心筋虚血部位の検出や重症心筋虚血の既往の診断に活用されている。

心筋糖代謝イメージング

心筋は、遊離脂肪酸およびブドウ糖を主たるエネルギー産生代謝基質として利用している。心筋のエネルギーのうち、約2/3は遊離脂肪

酸代謝により産生され、残り約1/3は糖代謝により産生される。虚血により、好気性代謝が低下することにより、心筋ブドウ糖摂取率が増加し、心筋糖利用は亢進する。FDG (5-fluoro-deoxyglucose) はブドウ糖の誘導体で、<sup>18</sup>Fで標識した<sup>18</sup>F-FDGの集積状態から心筋糖代謝を評価できる。心筋血流と糖代謝の乖離所見があれば、生存心筋の可能性が高く、両者が低下していれば、バイアビリティーに乏しいと考えられている(図2)。

核医学検査は、心機能、心容積、心筋血流、心筋代謝、心筋バイアビリティーを総合的に評価できる非常に優れたモダリティであるが、最大の弱点は空間分解能が低いことである。心



■ 図2 前壁、中隔、下壁に及ぶ心筋梗塞症例のPETとDE-MRI (文献12より改変)  
 NH<sub>3</sub>-PETの血流低下部位と<sup>18</sup>F-FDG PETの集積低下部位は梗塞巣で、DE-MRIでの高信号領域と相関している。NH<sub>3</sub>-PETと<sup>18</sup>F-FDG PETの集積乖離部位(矢印)は冬眠心筋の可能性が高い(DE-MRIでは低信号)。

臓外科手術、特に左室形成術の切除ラインの決定に際し、SPECTあるいはPET画像では3次元的なイメージの構築が困難であるが、これらの弱点を補完するためにマルチスライスCTとの融合画像も研究段階であり、今後の改良を待つところである。

### 心臓超音波検査

#### 負荷心臓超音波検査

心臓超音波検査は最も簡便で、患者のベッドサイドで行える有効な心機能評価法として広く活用されてきた。拡張末期壁厚が収縮予備能の指標になることが示されており、6mm未満であると収縮予備能はかなり乏しく<sup>2)</sup>、逆に6mm以上あれば収縮能の回復が期待できる。

一方、負荷心臓超音波検査は、心臓に何らかの負荷をかけることにより、狭窄血管により灌流されている領域の心筋虚血を誘発し、これにより生じる局所の壁運動異常を検出する方法である。負荷方法として、ドプタミン、ジピリダモール、アデノシンなどの薬物を使用する場合や、トレッドミルやエルゴメーターなどを使用した運動負荷、あるいはペーシング負荷がある。いずれにせよ、負荷心臓超音波検査は感度、特異度とも非常に高く優れた検査法であるが、検査手技がやや煩雑で、バイアビリティーの判定に熟練を要することから、循環器内科医の技量、経験に依存するところが非常に大きい。また患者の体型、呼吸状態等により、心臓全体が評価できない、あるいは画質が悪くなるといった弱点もある。

#### 経食道超音波検査

経食道超音波検査は、心臓外科領域では特に術中に有用である。人工心肺により左室容量負荷を減少させ、局所壁運動の改善の有無あるいは壁厚の増加を見ることで心筋バイアビリティーを評価するvolume reduction test<sup>3)</sup>が有用である。また最近、2D-tissue tracking<sup>4)</sup>による局所壁運動解析法も開発され、壁運動異常の詳細な定量解析が利用され始めている。

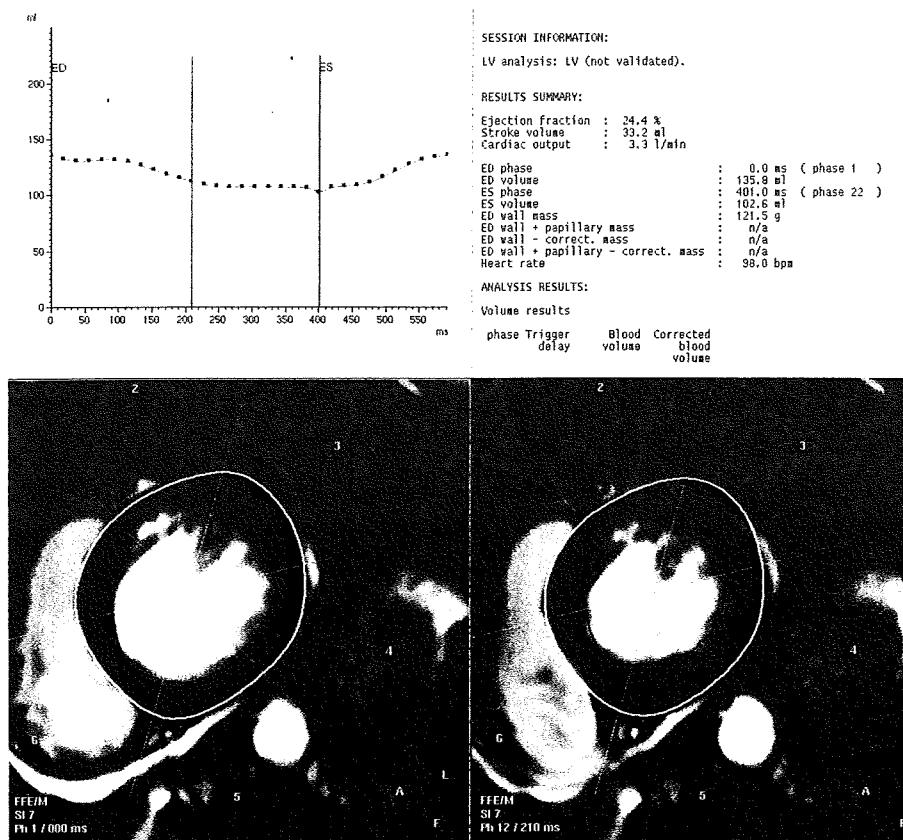
### 心臓MRI検査

心臓造影MRI検査は、心臓核医学検査と同等以上の心筋虚血、心筋バイアビリティー診断能を有し、欧米を中心に臨床利用が拡大してきている。心筋梗塞巣を描出するため、外科医にとって、特に虚血性心筋症に対する左室形成術の適応、切除範囲の決定に有用である<sup>5,6)</sup>。現在、わが国では心臓MRI検査を虚血性心疾患に対しルーチン利用している施設は少数ではあるが、心臓MRI検査、特に遅延造影MRIは心臓外科領域では今後さらに臨床利用が拡大していくものと思われる。遅延造影MRIは通常の機種MRI装置(1.5テスラ)を使用して十分に撮影することが可能であり、さらに検査費用は心筋シンチグラフィの約1/3であり、医療コストや患者負担軽減にも役立つ。

心臓MRI検査は、基本的には、壁運動、左室容積、左室駆出率、心拍出量、僧帽弁逆流流量などを計測できるシネMRIと、MR造影剤(ガドリニウム)を静脈注射後のファーストパスで心筋血流を見るパーフュージョンMRI(薬剤負荷を行うこともある)、造影剤投与10~15分後の遅延層で撮影する遅延造影MRIの3つのセクションに分かれる。

シネMRIは画像解像度が優れ、心全体を撮影できるため、左室容積、駆出率の計測においては最も正確であり、再現性が高い<sup>7)</sup>。さらに、正確な心内外膜のトレースから、正確な壁厚(変化率)、壁運動の解析も可能であり、薬剤負荷をかけて行う負荷シネMRIによって心筋バイアビリティーを評価している施設も存在する。また、超音波検査のように肥満や肺気腫などによる影響を受けずに、任意断面で心臓全体の評価を行うことができる(図3)。

しかし、MRIが禁忌(ペースメーカー、ICD植え込みなど)である症例が存在し、また、心房細動や頻脈傾向のある患者での画像分解能は



■ 図3 左室容積，駆出率の半自動計測

シネMRIは画像分解能が高いため，心内外のトレースを確実に行うことが可能で，シン普森法から正確な左室容積，駆出率を計測することができる。

低下し，長い息止め（約20秒）を必要とするなど，制限があることを知っておく必要がある。

#### 遅延造影MRI

ガドリニウムをボラス投与15分後に撮影する遅延造影MRI（delayed-enhanced MRI；DE-MRI）画像では，梗塞心筋は強い高信号を呈し，正常心筋とのコントラストは明瞭となる。遅延造影MRIは，梗塞巣をenhanceし，その壁内進展度（transmural extent, transmurality）でもって，心筋バイアビリティーの判定をするのが特徴である。遅延造影MRIを使用した心筋バイアビリティーの判定で用いるのは，造影部位と非造影部位，white and blackの法則だけであるので，外科医にとっても非常に分かりやすく，核医学検査や負荷超音波検査のように判定に特

別なトレーニングは必要ない。また，MRIは空間分解能が高いため，造影部位が左心室のどのセグメントに存在するか描出できる。従って，術前に心筋バイアビリティーを外科医自らが判定することができ，また左室形成術を行う際に，立体的なイメージを構築しやすいといえる。

#### 機序

MR造影剤（ガドリニウム）は細胞外液に分布し，正常心筋における分布容積はごくわずかであるが，心筋梗塞組織では，細胞膜の障害により造影剤は拡散し，分布容積が増加するため高信号を呈するといわれている<sup>8)</sup>。

#### エビデンス

遅延造影MRIにおける高信号領域はTTC染色による組織学的梗塞巣と直線的相関を示すこ

とが示されている<sup>9)</sup>(図4)。Kimらは、41人の虚血性心疾患を有する患者の術前後(PTCA 14人, CABG 27人)で遅延造影MRIを撮影し、血行再建後の壁運動回復の確率は、術前の壁内進展度に逆相関することを示した<sup>10)</sup>(図5)。つまり、術前壁内進展度が25%までにとどまっている領域は、たとえ壁運動が強く障害されていても、血行再建により高い確率で壁運動がある程度回復する。一方、壁内進展度が50~75%以上に達する領域は、血行再建を行っても機能回復しない壊死心筋ということになる。

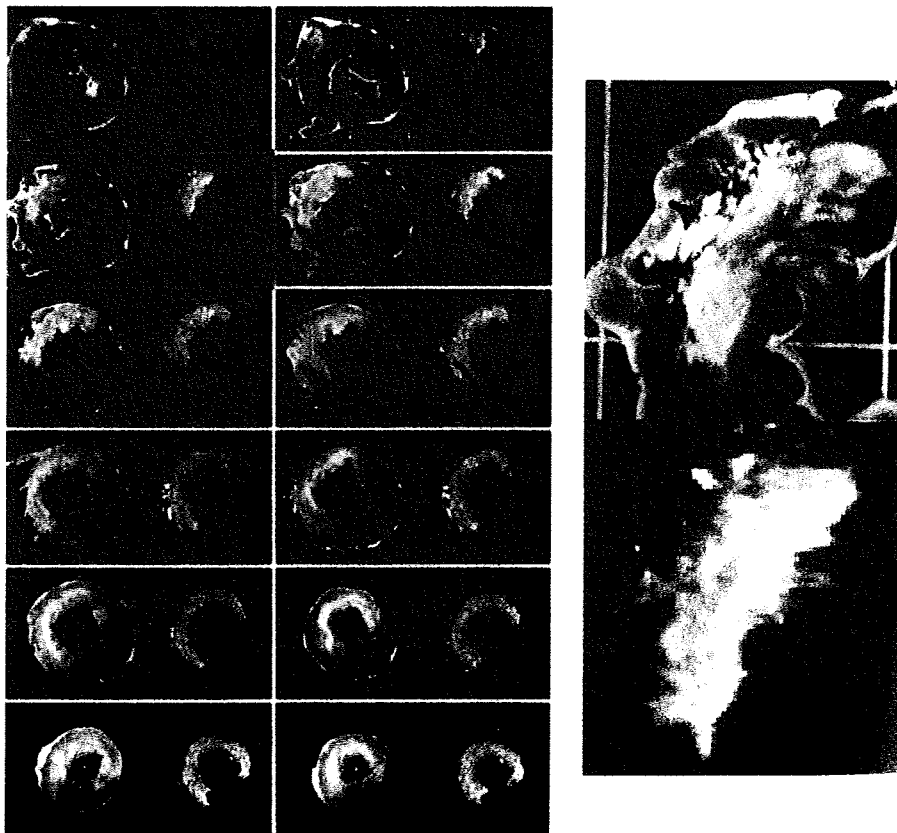
遅延造影MRIの評価方法

遅延造影MRIの評価法については、white and blackの法則で、高信号領域の壁内進展度を評価できる。重要なことは、心全体を短軸像、長軸像、四腔断面像すべてを用いて評価することである。つまり、短軸像を用いれば、前壁、

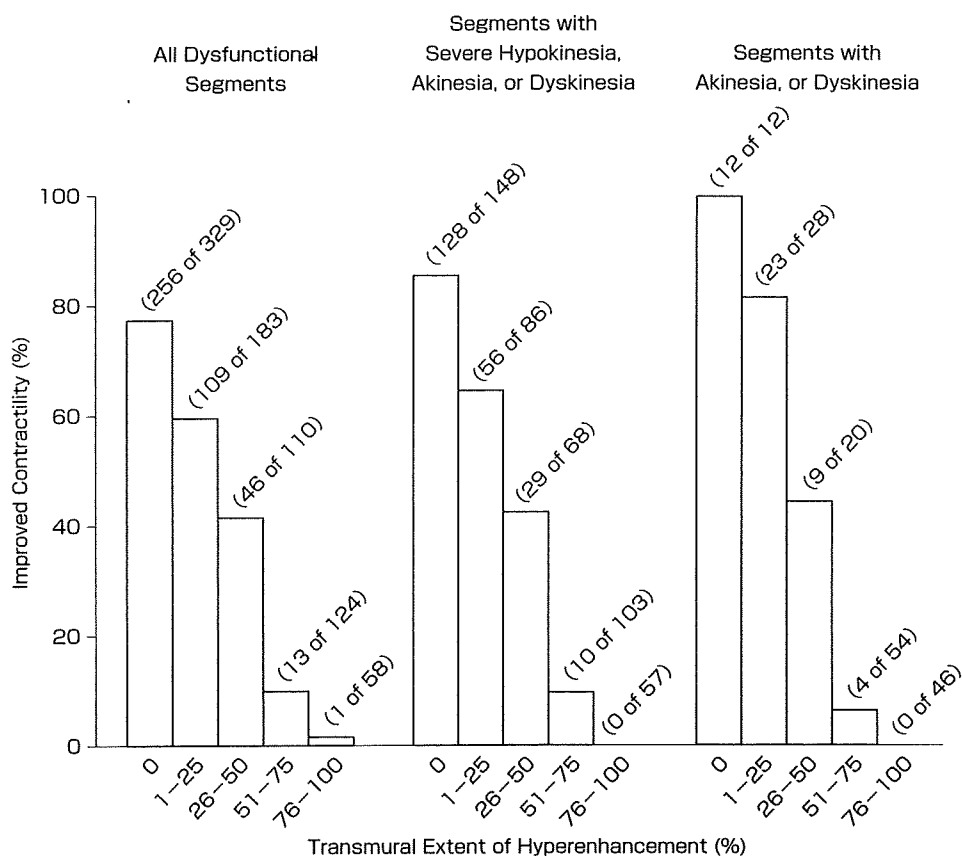
側壁、下壁、中隔の各セグメントの認識が容易であるが、心尖部の評価は困難である場合があり、長軸像、四腔断面像と併せて評価する必要がある。

Bull's eye表示

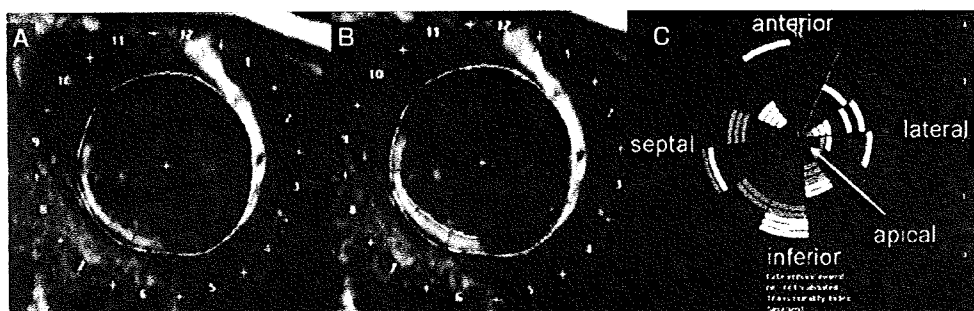
半自動解析ソフトを用いて定量的な評価を行うことができる。図6に当施設で使用している半自動解析ソフト(ViewForum<sup>®</sup>, Philips社)による高信号領域の壁内進展度解析の一例を示す。遅延造影画像は左室短軸、長軸および四腔断面像で評価可能であるが、半自動解析は左室短軸像で行う。左室短軸を心基部から心尖部まで10mmごとに、左室短軸は12セグメントに分割している。左室心内膜側、心外膜側をそれぞれmanual tracingし、正常心筋(非造影部位)と2~3SD以上高輝度になっている部位を梗塞巣(造影部位)と定義し、高信号領域が自動認



■ 図4 遅延造影MRIとTTC染色(文献9より引用)



■ 図5 術前壁内進展度と術後壁運動回復の程度 (文献10より引用)



■ 図6 遅延造影MRI壁内進展度半自動解析 (ViewForum®, Philips社)

識され (図6B), すべてのセグメントにおいて壁内進展度が自動計算される。

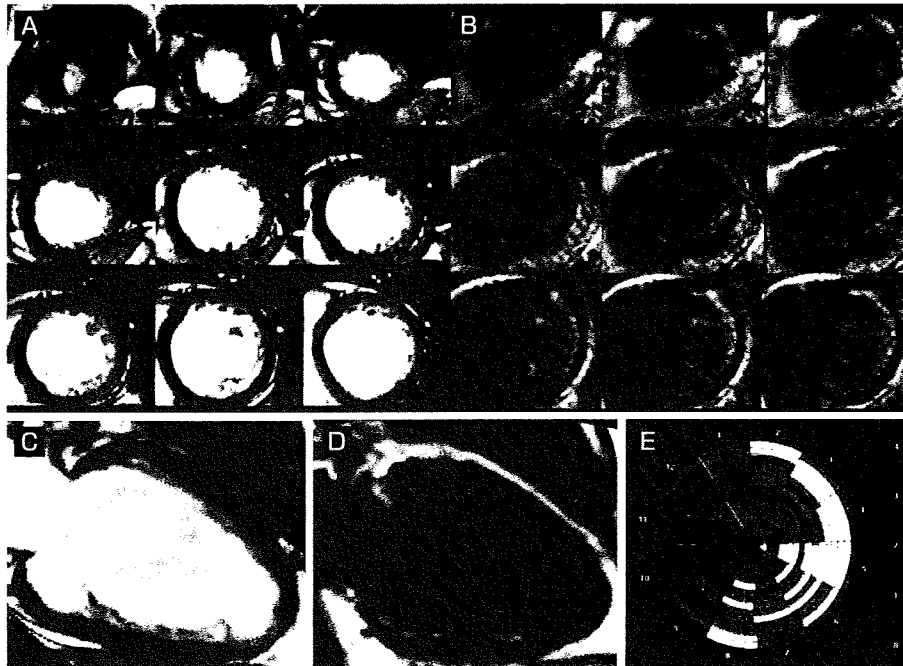
壁内進展度は5段階に分割, 色分け (青: 0%, 緑: 1~24%, 黄色: 25~49%, オレンジ: 50~74%, 赤: 75~100%) され, Bull's eye表示される (図6C)。つまり, この症例は, 心室中隔から下壁にかけて, 心基部から心尖部まで

広範囲に壁内進展度が75%以上の梗塞巣が認められている所見である。図7~9に3症例の術前遅延造影MRIを示す。

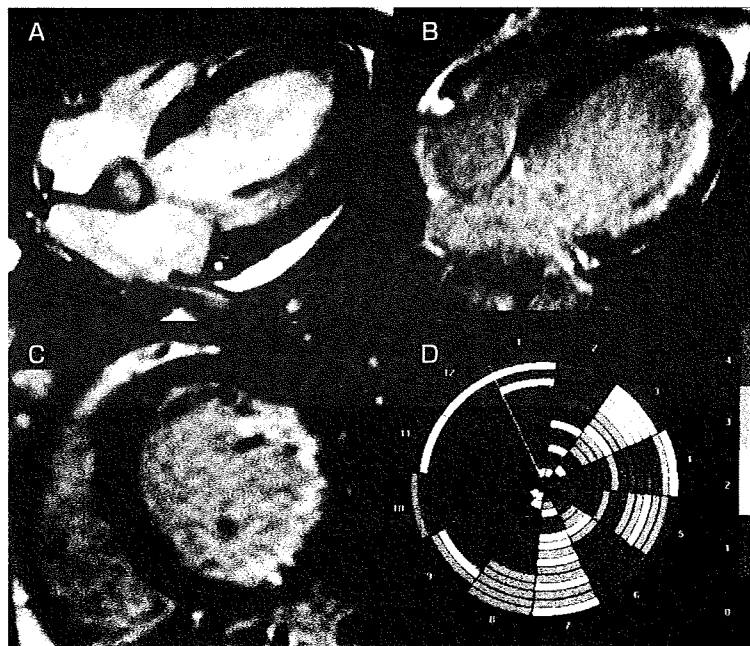
核医学検査との比較

MRIは空間分解能が高いため, SPECTあるいはPETより微小な梗塞巣や, 心内膜下梗塞の検出に優れている<sup>11, 12)</sup>。Wagnerらは遅延造

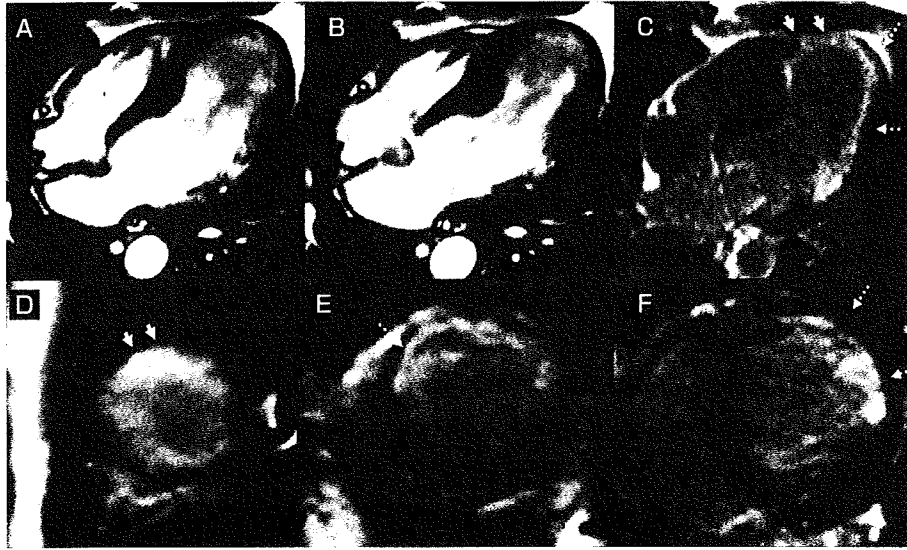




■ 図7 壁内進展度25~50%以下の心内膜下梗塞症例（側壁，下壁）  
**A** シネMRI（短軸像）. **B** 遅延造影MRI（短軸像）. **C** シネMRI（長軸像）. **D** 遅延造影MRI（長軸像）. **E** 遅延造影MRI transmural index.



■ 図8 壁内進展度50~75%の心筋梗塞症例（側壁）  
**A** シネMRI（四腔断面像）. **B** 遅延造影MRI（四腔断面像）. **C** 遅延造影MRI（短軸像）. **D** 遅延造影MRI transmural index.



■ 図9 心尖部前壁中隔における壁内進展度75%以上の貫壁性心筋梗塞(矢印)、側壁、中隔(mid)は25~50%の心内膜下梗塞(点線矢印)  
**A** シネMRI (四腔断面像、拡張期). **B** シネMRI (四腔断面像、収縮期). **C** 遅延造影MRI (四腔断面像). **D**, **E**, **F** 遅延造影MRI (短軸像、心尖部から心基部).

影MRIで描出された心内膜下梗塞(壁内進展度50%未満)の47%において、 $^{201}\text{Tl}$  SPECTでは欠損像を呈することを示した<sup>11)</sup>(図10)。さらに、梗塞巣と正常心筋との境界部分もSPECT, PETより明瞭であることから、梗塞巣の左室壁での解剖学的位置関係が理解しやすいことが大きな利点である。例えば、症例2に後述するように、貫壁性の梗塞巣が側壁に存在するという所見だけでなく、前後の乳頭筋間に心基部から心尖部まで存在するというように、明確に梗塞巣をとらえることができる。

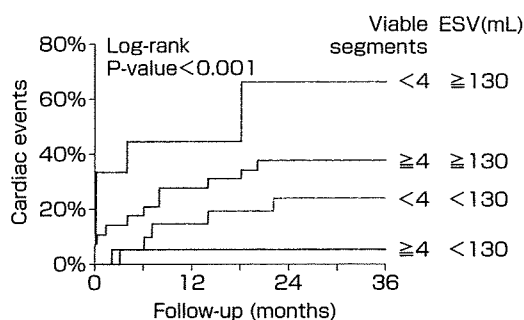
#### 心筋バイアビリティーと機能予後

心拡大症例に対する単独冠動脈バイパス術の遠隔成績は一般的に良好とはいえず、Yamaguchiら<sup>13)</sup>は収縮末期容積指数(end-systolic volume index; ESVI)  $>100\text{mL}/\text{m}^2$ 症例の5年生存率は54%(ESVI  $<100\text{mL}/\text{m}^2$ 症例: 85%)と有意に低いことを報告した。Baxら<sup>14)</sup>はバイアビリティー( $^{18}\text{F}$ -FDG PET,

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin SPECTを使用)を認めた症例においても、心拡大(ESV  $>130\text{mL}$ )症例の遠隔期イベント発生率は高率であることを報告した(図11)。一方、Carluccioら<sup>15)</sup>は、拡大心においても、心筋バイアビリティー(負荷超音波検査を使用)が認められれば、十分にreverse-remodelingすることを報告した(図12)。心拡大症例における心筋バイアビリティー評価については、慎重に考慮する必要があると思われるが、現在のところ、どのモダリティーがより正確に予後を推定できるか、あるいは、バイアビリティーがあっても、どれぐらいremodelingが進行するとirreversibleとなるのかに関しては、結論には至っていない。少なくとも左室容積だけでは機能予後を予測するのに十分ではなく、個々の症例で心筋バイアビリティー評価を行った上で、冠動脈バイパス術に適切に左室形成術を加えていくことにより、機能予後の改善が導かれるものと思われる。



■ 図10 心内膜下梗塞症例のSPECTと遅延造影MRI (文献11より引用)  
遅延造影MRI (下段) では下壁に心内膜下梗塞を認めるが, SPECT (上段) では欠損像を示している (矢印).



■ 図11 冠動脈バイパス術後心事故発生率の左室容積, バイアビリティーの程度による違い (文献14より引用)

### 症例提示

#### 【症例1】心内膜下梗塞症例

患者: 57歳, 男性.

経過: 心不全にて近医入院 (NYHA心機能分類Ⅲ度). 心臓カテーテルにて3枝病変 (#1: 100%, #6: 75%, #15: 100%), 著明な低心機能, 心拡大 (EF 7%, EDVI 160mL/m<sup>2</sup>, ESVI 148mL/m<sup>2</sup>), 心エコー上Dd 66mmと診断.

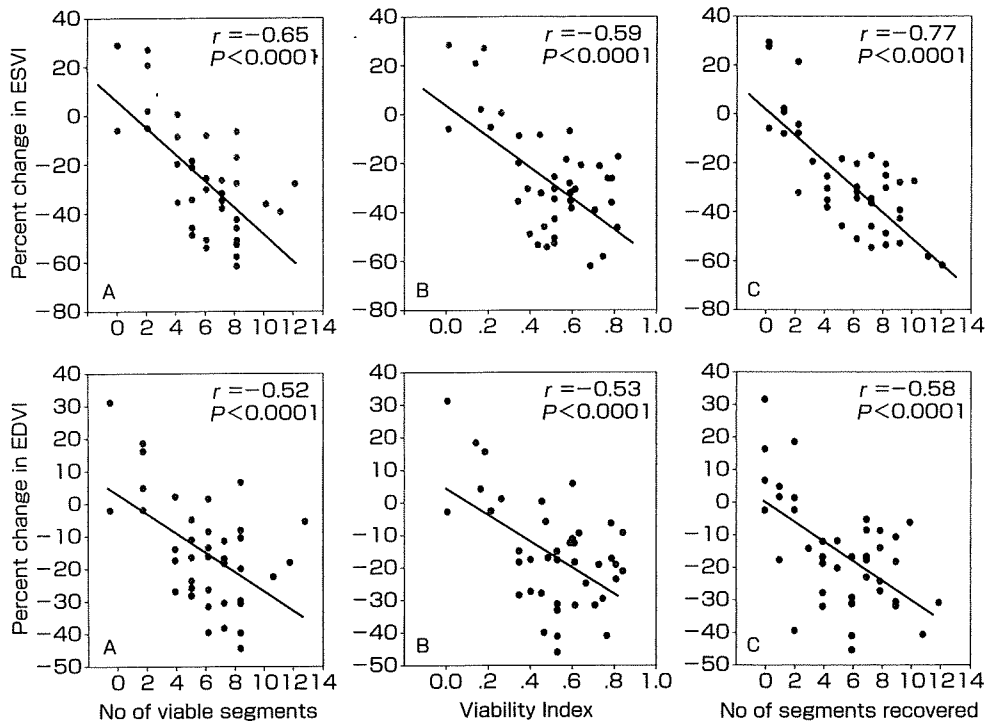
画像: 図13に, 術前<sup>99m</sup>Tc-sestamibi SPECT, 遅延造影MRIを示す. SPECTでは, 前壁, 側壁, 下壁に広範囲にuptake, fill-inの

低下を認め, バイアビリティーは乏しいという診断であったが, 遅延造影MRIでは広範囲ではあるが, すべて壁内進展度25%未満の典型的な心内膜下梗塞 (矢印) であり, off-pump CABG 5枝を行った. 6カ月後の左室造影では, EFは35%, EDVI 127mL/m<sup>2</sup>, ESVI 83mL/m<sup>2</sup>, NYHA心機能分類Ⅰ度まで回復した.

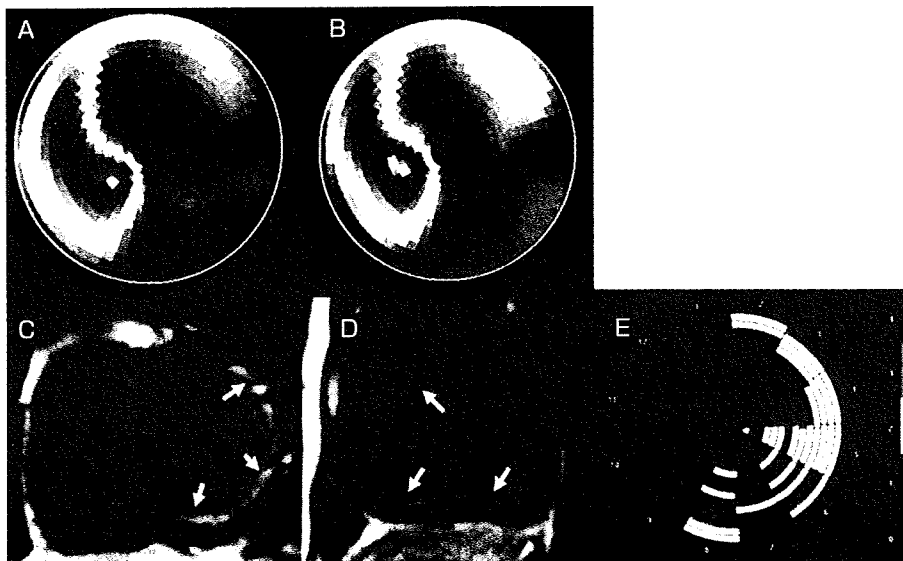
#### 【症例2】貫壁性梗塞症例

患者: 58歳, 男性.

経過: 急性心筋梗塞にて#13にステント留置. その後, Ⅲ度の僧帽弁閉鎖不全症による



■ 図12 バイアビリティーの程度と術前後の左室容積の変化 (文献15より引用)



■ 図13 症例1…57歳, 男性, 3枝病変, 心不全。  
**A** 負荷 $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT. **B** 安静時 $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT. **C** 遅延造影MRI (短軸像). **D** 遅延造影MRI (長軸像). **E** 遅延造影MRI transmural index.



■ 図14 症例2…58歳, 男性, PCI後, 心不全  
**A** 負荷<sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT. **B** 安静時<sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT. **C** 遅延造影MRI短軸像. **D** 遅延造影MRI transmurality index. **E** 術中写真 (左室側壁). **F** 術中写真 (左室内腔).  
 APM: 前乳頭筋, PPM: 後乳頭筋.

心不全が出現 (NYHA心機能分類Ⅲ度).  
 シネMRIでEF 37%, EDVI 110mL/m<sup>2</sup>,  
 ESVI 78mL/m<sup>2</sup>, 心エコー上Dd 68mm.

画像: 図14に術前<sup>99m</sup>Tc-sestamibi SPECT, 遅延造影MRI, 手術所見を示す. 貫壁性梗塞巣に関しては, SPECTと遅延造影MRIの所見は相関していることが多い. 本症例でも, SPECTでは側壁の欠損像, 遅延造影MRIでは側壁の貫壁性梗塞巣を示している. MRIでは高分解能であるため, 梗塞巣が前後の乳頭筋間に, 心尖部から心基部まで存在することが分かる. 手術は, 左室形成術と僧帽弁輪過縫縮を施行. MRI所見と手術所見がよく相関している

ことが分かる. 左室形成術は, 左室側壁を心尖部から心基部まで切開し, 乳頭筋間を合わせるようなlinear exclusion法で行った. 術後6カ月には, EF 47%, EDVI 60mL/m<sup>2</sup>, ESVI 32mL/m<sup>2</sup>, NYHA心機能分類Ⅰ度まで回復した.

#### おわりに

重症虚血性心疾患が増加している現況において, 心筋バイアビリティー評価は治療方針を決定する上で重要性を増している. 各モダリティーの特徴を理解し, 適切な治療を実践していくことが機能予後の改善につながっていくものと思われる.

#### 引用・参考文献

- 1) Bax, JJ. et al. Sensitivity, specificity, and predictive accuracies of various noninvasive techniques for detecting hibernating myocardium. *Curr Probl Cardiol.* 26, 2001, 142-186.
- 2) Schinkel, AFL. et al. Assessment of residual myocardial viability in regions with chronic electrocardiographic Q-wave infarction. *Am Heart J.* 144, 2002, 865-9.

- 3) Suma, H. and the RESTORE Group. Role of site selection for left ventriculoplasty to treat idiopathic dilated cardiomyopathy. Heart Failure Reviews. 9, 2004, 329-36.
- 4) Toyoda, T. et al. Assessment of regional myocardial strain by a novel automated tracking system from digital image files. J AM Soc Echocardiogr. 17, 2004, 1234-8.
- 5) Ogawa, M. et al. Surgical ventricular restoration based on evaluation of myocardial viability by delayed-enhanced magnetic resonance imaging. Gen Thorac Cardiovasc Surg. 55, 2007, 149-57.
- 6) Lloyd, SG. and the RESTORE Group. Use of cardiac resonance imaging in surgical ventricular restoration. Eur J Cardiothorac Surg. 29S, 2006, S216-24.
- 7) Sakuma, H. et al. Evaluation of left ventricular volume and mass with breath-hold cine-MR imaging. Radiology. 188, 1993, 377-80.
- 8) Judd, RM. et al. Physiological basis of myocardial contrast enhancement in fast magnetic resonance images of 2-day-old reperfused canine infarcts. Circulation. 92, 1995, 1902-10.
- 9) Kim, RJ. et al. Relationship of MRI delayed-enhanced contrast enhancement to irreversible injury, infarcted age, and contractile function. Circulation. 100, 1999, 1992-2002.
- 10) Kim, RJ. et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. N Engl J Med. 343 (20), 2000, 1445-53.
- 11) Wagner, A. et al. Contrast-enhanced MRA and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts : an imaging study. Lancet. 36, 2003, 374-9.
- 12) Klein, C. et al. Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging. Comparison with positron emission tomography. Circulation. 105, 2002, 162-7.
- 13) Yamaguchi, A. et al. Left ventricular volume predicts postoperative course in patients with ischemic cardiomyopathy. Ann Thorac Surg. 65, 1998, 434-8.
- 14) Bax, JJ. et al. Extensive left ventricular remodeling does not allow viable myocardium to improve in left ventricular ejection fraction after revascularization and is associated with worse long-term prognosis. Circulation. 110 (suppl I), 2004, II39-42.
- 15) Carluccio, E. et al. Patients with hibernating myocardium show altered left ventricular volumes and shape, which revert after revascularization Evidence that dyssynergy might directly induce cardiac remodeling. J Am Coll Cardiol. 47, 2006, 969-77.

### 3) 病変による適応

—多発性病変をどこまでやるか、内膜摘除術は必要か—

榑原記念病院心臓血管外科

福井 寿啓 高梨 秀一郎

#### はじめに

高齢化社会や生活の欧米化などにより、虚血性心疾患の発症数は増加傾向をたどっている。カテーテル治療の進歩は著しく、1～2枝病変のみならず、最近では左冠動脈主幹部病変や3枝病変に対してもステント治療を行う施設が増えつつある。このような現状において冠動脈バ

イパス術を行う患者の病態は以前に比べ変化しつつある。心機能が不良で動脈硬化の程度が強く多発性病変を伴ったり、ステント再狭窄を繰り返してステント治療が不可能となったりした症例などが、日常多々見受けられるようになった。

このような症例では末梢病変が強いため、通常の血行再建術では不十分となることがあり得る。外科的冠動脈血行再建で最も重要なことは完全血行再建であり、特に左冠動脈前下行枝(LAD)に対するそれは重要である<sup>1)</sup>。しかし、前述のような前下行枝にびまん性病変が存在したり、冠動脈末梢までステントがあったりで通常の吻合が行えない症例では特殊な吻合が必要

<特集「心不全治療の現状」>

## 心不全の外科治療

土井 潔, 夜久 均

京都府立医科大学大学院医学研究科心臓血管・呼吸器外科学\*

### Surgical treatment for heart failure

Kiyoshi Doi and Hitoshi Yaku

*Department of Cardiovascular and Thoracic Surgery,  
Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science*

#### 抄 録

心筋不全に起因した心不全に対する外科的治療法として、左室形成術 (LVR)、補助人工心臓および心臓移植などがある。虚血性心筋症に対する LVR では、梗塞部位の心筋を切開切除後に、心室が正常に近い大きさとなるように再建する。虚血性心筋症の多くは機能的僧帽弁逆流症を合併しているため僧帽弁形成術を同時に行う。拡張型心筋症に対する LVR は、その成績が心臓移植よりも劣っていたため日本以外の国々では下火になった。補助人工心臓 (VAS) は近年改良が進み、その生存成績は心臓移植に迫りつつある。またシステムの小型軽量化が進み、その結果として VAS 装着患者の QOL も向上している。

キーワード：心不全，外科的治療。

#### Abstract

Surgical treatments for heart failure include left ventricular restoration (LVR), ventricular assist system (VAS) therapy and heart transplantation. LVR for ischemic cardiomyopathy (ICM) is performed to exclude as much nonfunctioning ventricular wall as possible and to restore ventricular size and shape toward the normal. Patients with ICM are likely to have functional mitral regurgitation, and may require mitral valve procedure. LVR for dilated cardiomyopathy is getting less popular except for in Japan, because its clinical result was not as good as that of transplantation. Recently VAS technology is much improved, and renders significant survival and quality of life benefits.

**Key Words:** Heart failure, Cardiac surgery.

#### はじめに

一般的な心不全患者に対する外科治療では、

心筋自体への治療を行っているわけではなく、心筋への血流を改善したり心筋への負荷を軽減したりすることで結果的に心機能が改善される

ことを目的としている。すなわち冠動脈病変に対するバイパス術や弁膜症に対する弁置換術・形成術である。しかしながら、すでに心筋自体に重篤なダメージ（心筋不全）が存在している場合には、これらの治療を行ってもなお心不全が遷延・進行する。末期的心筋不全に対する外科的治療法の gold standard は心臓移植であるが、残念ながら本邦では極端なドナー心不足から一般的な治療法となっていない。また埋め込み型の補助人工心臓も現在のところ治験の段階である。さらに病的な心筋を部分切除して心機能の回復を図る心室形成術も、その治療効果が十分に証明されるに至っていない。今回、これら心筋不全に対する外科治療についての現状および将来の展望についてまとめた。

### 虚血性心筋症に対する左室形成術

虚血性心疾患において心筋梗塞発症後の遠隔期に心拡大をきたす場合がある。心室内容積が増加するだけでなく、正常ならば紡錘状である左心室の形態が球状に変化してくる（図1）<sup>1)</sup>。この病態（虚血性心筋症）が進行すると心筋収縮力は低下して心不全を発症する。また左心室形態の変化が、僧帽弁下部組織（乳頭筋・腱索）の牽引（tethering）や弁輪拡大による機能的僧帽弁逆流を引き起こしてくると、心不全をさらに増悪させる<sup>2)</sup>。

残念ながら虚血性心筋症における心室形態の変化（リモデリング）は、冠動脈バイパス術

（CABG）などの血行再建を行っても正常の形やサイズに復帰しない。おそらく病態の初期においては、心機能の低下を補う代償機構の一つとしてリモデリングが始まったのだろう。しかしながら、ある時点を超えると不自然な心室形態そのものが心臓の正常なポンプ機能を妨げるようになると考えられている。この仮説に基づき、不自然な（球状）心室形態をより自然な（紡錘状）形態へ外科的に修正することによって心機能の改善を図る方法が左室形成術（LVR）である。

虚血性心筋症に対するLVRでは、まず viability を失った梗塞心筋部位を切開（場合により切除）する。心筋の viability 評価としてPETやシンチグラフィ以外に最近ではMRI遅延造影法が注目されている。MRI遅延造影法で左室心筋壁厚の50%以上が壊死している部分には、たとえ血行再建を行っても心筋収縮力は回復しない。すなわち心筋の viability が無いと報告されている<sup>3)</sup>。しかもMRI画像は他の方法に比べて非常に分解能が高いため、心筋梗塞部位を正確に判定する補助手段として優れている。

梗塞部の心筋切開切除後に左心室をなるべく正常に近い大きさと形態へ再建する手技は、その心筋梗塞部位によって異なる。心尖部梗塞に対してはDor型手術（図2）<sup>4)</sup>、前壁中隔梗塞に対してはSAVE型手術<sup>5)</sup>、側壁や後壁の梗塞に対してはリニア切除法などを用いる。また、虚血性心筋症の多くは先に述べたように機能的僧帽

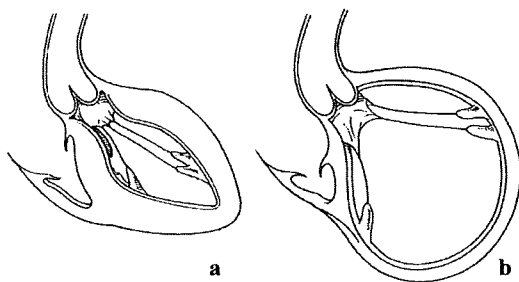


図1 a: 正常の心臓 b: 虚血性心筋症の心臓。リモデリングによって心室内容積が増加してくるだけでなく、心室の形態が球状に変化してくる。（文献1より改編）

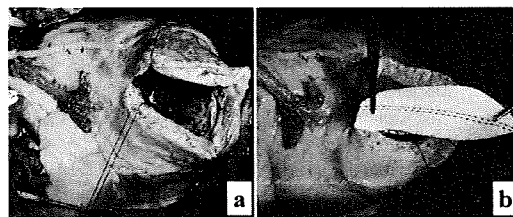


図2 Dor型の左室形成術。a: 左室前壁から心尖部にかけての梗塞部心筋を切開。b: 左心室の容積と形態を正常に近づけるために再建する。再建に際しては楕円形のパッチを梗塞部辺縁の頑丈な瘢痕組織に逢着していく。（Menicanti L. Multimedia Manual of Cardiothoraci Surgery .http://mmcts.ctsnetjournals.org より改編）



弁逆流症を合併しているため、LVRの際に僧帽弁形成術(MVP)を同時に行うことが多い。リモデリングによる僧帽弁輪拡大に対しては僧帽弁輪縫縮術(MAP)を、僧帽弁下部組織(乳頭筋・腱索)の牽引(tethering)に対しては乳頭筋吊り上げ術などを行う。

これらLVRの治療効果は現在のところまだ明確ではなく、定まった手術適応やガイドラインは無い。海外の12施設から構成されるRESTORE groupからの報告によると、前壁梗塞後に左室拡大をきたした1198例にLVRを行い、30日死亡率が5.3%で5年生存率が68%であった<sup>6)</sup>。そして術前の左室駆出率が30%以下および左室収縮末期容積係数が80 ml/m<sup>2</sup>以上の症例では、術後の遠隔成績が不良であった。この他にもLVRの治療効果を検討するために北米では複数の施設が共同し、虚血性心筋症症例に対してLVRとCABGを行ったグループとCABGのみを行ったグループの成績とを比較する無作為化前向き研究「STICH trial」を進めている<sup>7)</sup>。

われわれの施設でも、左室駆出率が40%以下で機能的僧帽弁逆流を合併している虚血性心筋症グループに対し、CABGとMVPのみを行っ

たグループとCABGとMVPに加えてさらにLVRまで行ったグループの比較研究を行った。その結果、LVRを追加したグループでは左室駆出率がより改善され、機能的僧帽弁逆流の再発が少ない傾向にあった。また、LVRを追加したグループでは術後遠隔期の心不全発症率が低く抑えられた(図3)。

### 拡張型心筋症に対する左室形成術

拡張型心筋症において、拡大しすぎた心筋の一部を切除して左室容積を減らせればLaplaceの法則に従って心室壁のストレスも減少し、その結果心収縮能が改善すると期待される。この仮説に基づき拡張型心筋症に対する左室形成術を行ったのが有名なBatistaである<sup>8)</sup>。この術式を追試したCleveland Clinicからのデータによると、術直後に補助人工心臓を必要とした症例が15%あり、1年生存率が80%、3年生存率が60%だったと報告している<sup>9)</sup>。我が国でもSumaらによる報告では、病院死亡率が11.6%、1年生存率が72.8%、3年生存率が61.4%、5年生存率が50.5%であった<sup>10)</sup>。米国では左室形成術の成績よりも心臓移植の成績が勝っていたため、次第にこの術式は下火になった。しかしな

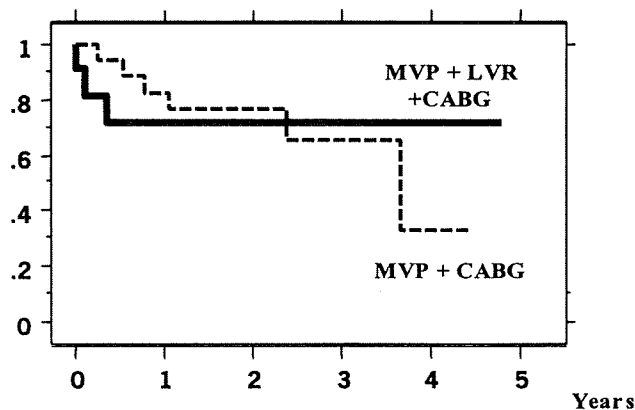


図3 虚血性心筋症に対する外科治療後の心不全回避率。左室駆出率が40%以下で機能的僧帽弁逆流を合併している虚血性心筋症グループに対し、CABGとMVPのみを行ったグループとCABGとMVPに加えてさらにLVRまで行ったグループを比較すると、LVRを追加したグループでは術後遠隔期の心不全発症率が低く抑えられた。

からドナー心の極端に少ない我が国では現在も行われている。Matsuiらはこの術式を改良し、viabilityのある心筋を切除せずに温存できるoverlapping法を報告している(図4)<sup>11)</sup>。

### 臨床研究中の左室補助装置

拡張型心筋症において、肥大した心筋を編目状のデバイスで包み、左室のリモデリングの進行を抑制して心不全症状を改善させようと言う臨床試験が米国で行われている。このデバイスはCorCap™ Cardiac Support Device (Acorn Cardiovascular社)と呼ばれ、伸縮性ポリエステルで作成されており、心室を取り囲むようにして装着する(図5a)。これまで3年間の経過観察によると、デバイスの使用によって心拡大の進行は有意に抑制され、心不全の発症も抑制されたと報告されているが、生存率に関してはコントロール群との間に差はなかった<sup>12)</sup>。

先に述べたように虚血性心筋症の多くは、左室のリモデリングに伴い機能的僧帽弁逆流症を合併している。僧帽弁逆流症の存在は左心室に容量負荷をかけ、リモデリングを進行させると同時に心不全を増悪させる。この病態に対し、

心臓表面から心室腔内を貫通させたデバイスで心室前壁と後壁の距離を短縮して僧帽弁逆流を減少させる治療法が米国で研究されている(図5b)。このデバイスはCoapsys Annuloplasty System™ (Myocor社)と呼ばれ、装着には人工心肺を必要としない。これまで1年間の経過観察によると、デバイスの使用によって僧帽弁逆流は有意に抑制されたと報告されている<sup>13)</sup>。

### 心筋再生治療

重症心筋不全に対する新しい治療法としてtissue engineeringを応用した心筋再生治療が注目を集めている。そのなかでも心筋細胞の再生を目的とした自己骨格筋芽細胞や、血管新生を目的とした自己骨髄由来細胞を心筋梗塞部分に注入する細胞移植療法が最初に臨床応用された。しかしながら陳旧性梗塞部に対する骨格筋芽細胞移植の治療効果を評価する目的で行われた臨床研究MAGIC trialによると、心機能の優位な改善を認めなかった<sup>14)</sup>。また、細胞移植後に心室性頻脈の発生が多かったとも報告されている。骨髄由来細胞移植の場合も、陳旧性梗塞部に対する治療効果は完全に証明されてい

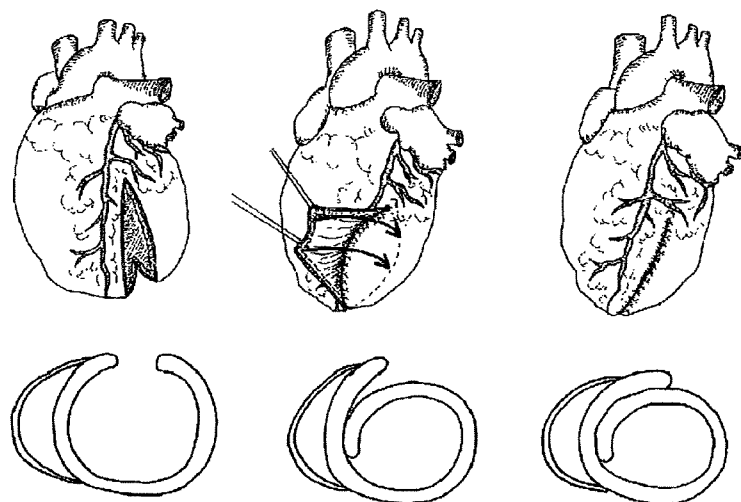


図4 Overlapping法による左室形成術。拡張型心筋症においてviabilityの残っている心筋を切除せずに温存しながら、同時に左心室の容積と形態を正常に近づけて再建することが出来る。(文献11より改編)

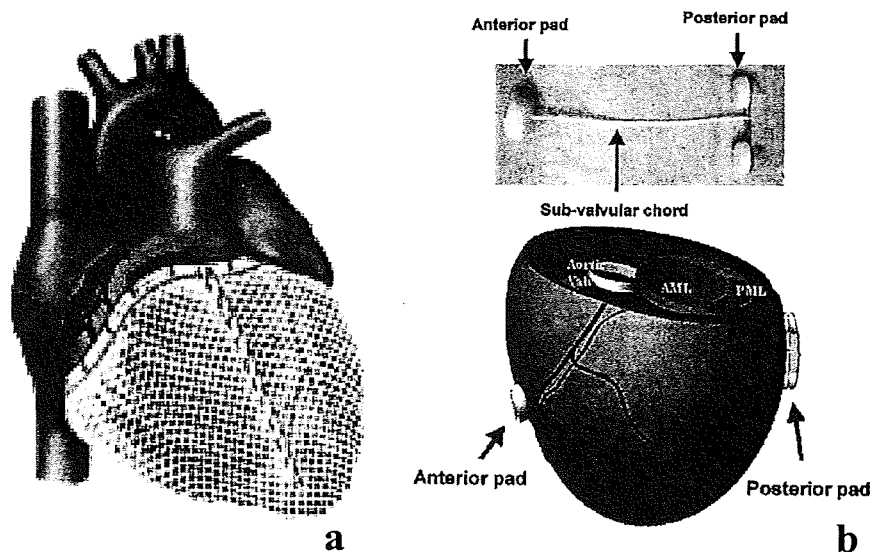


図5 a : CorCap Cardiac Support Device b : Coapsys Annuloplasty System

い。

単離した細胞を用いる細胞移植療法では、大量の細胞を確実に梗塞心筋部位へ長期間停めておくことは難しい。これに対し最近では三次元的な疑似心筋組織（心筋シート）を自己骨格筋芽細胞から体外で再構築し、心臓表面に貼付ける治療法が報告されている<sup>15)</sup>。

### 補助人工心臓

これまで補助人工心臓（VAS）は末期的な心不全患者を対象に、心移植までの一時的な橋渡しを目的として用いられてきた。しかしながら第1世代の体外式VASに代わり、第2世代の植え込み式VASが用いられるようになると感染症や血栓症などの合併症が減り、その結果VAS装着患者の生存期間が延長してきた。すると末期的心不全患者の心機能がVAS装着期間中に改善し、VASからの離脱に成功した症例が報告されるようになった。Matsumiyaらの報告によると、VASを装着した11例の拡張型心筋症患者のうち5例が、平均453日後に離脱したと報告している<sup>16)</sup>。その結果現在では移植までの橋渡しではなく、自己心機能の回復を目的としたVASの使用が注目されている。また米国では移

植待機患者を対象にVASを装着したグループと装着しなかったグループの予後を比較する臨床研究REMATCH trialを行い、VAS装着グループの2年生存率(29%)が非装着グループ(13%)に比べて良好であったと報告している<sup>17)</sup>。これに基づき、米国の高齢者医療保険はVASを移植までの一時使用ではなく「心不全を解決する最終的な治療法」として永久使用（destination therapy）への保険給付を2003年に決定した。最近では軸流ポンプを使用したJarvik 2000 Flow Maker™（Jarvik HEART社）や遠心ポンプを使用したEVAHEART System™（サンメディカル社）・DuraHeart™（テルモ社）などシステムをさらに小型軽量化した第3世代のVASが臨床使用に入っている（図6）。欧州で行われたDuraHeartの臨床試験で2年生存率は77%と非常に良好であった。また我が国で行われているEVAHEART™の臨床試験ではこれまでに13名の患者に装着され、そのうち6名が退院して在宅療養に移行している。

### 心臓移植

心臓移植は、現在のところ末期的心不全に対する唯一確立された外科的治療法である。国際

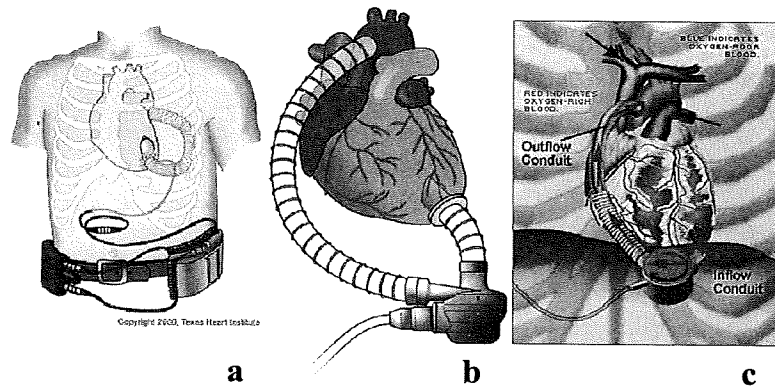


図6 第3世代の補助人工心臓 a: Jarvik 2000 Flow Maker b: EVAHEART System c: DuraHeart

心肺移植学会からの報告によるとこれまでに世界で総計70000例以上、年間4000例ほどの心臓移植が行われている。心臓移植後の1年生存率は80%、5年生存率は70%、10年生存率は50%となっており、移植を受けた患者の90%は日常生活の活動制限がほぼ無くなった<sup>18)</sup>。すなわちLVRやVASなどの外科的治療法に比べると、心臓移植の生存成績およびQOL改善の程度は圧倒的に良い。

しかしながら心臓移植の最大の問題はドナー心の慢性的な不足である。日本臓器移植ネットワークによると日本では心臓移植を必要とする患者数は常時1600人ほどいるが、毎年その中の350人程は心不全の進行の結果死亡する。1997年の臓器移植法制定後、昨年までにおよそ300人が心臓移植候補患者として登録されたが、実際に我が国で心臓移植を受けることのできた患者はわずかに49例(平成19年12月まで)だった。そして心臓移植を受けた患者たちの平均待機期間は860日に及んだ。しかしながら我が国で心臓移植を受けた患者の成績は、1年生

存率で98%、5年生存率で92%と諸外国に比べて非常に良好である。

### おわりに

重症心筋不全に対する外科的治療法には他にも別項で述べられている心臓再同期療法(CRT)なども行われている。LVRの場合にはそれを単独で行うよりも、このCRTや先に述べた再生治療等を補助療法として組み合わせることによって、心不全患者の生存期間をさらに延長できる可能性がある。しかしながらLVRとその補助療法を行っても心機能が正常に回復するわけではないので、患者には日常生活における活動制限が残り、QOLの改善には限界がある。心臓移植の場合、日本においては極端なドナー心不足が理由で、海外のように末期的心不全に対する治療法の主流とは今後もなり得ないだろう。一方VASの場合には、その性能が向上し同時にコストが下がれば、近い将来において「心不全の究極の治療法」となる可能性がある。

### 文 献

- 1) Buckberg GD. Congestive heart failure: Treat the disease, not the symptom: Return to normalcy/Part II The experimental approach. J Thorac Cardiovasc Surg 2007; 134: 844-849.
- 2) Otsuji Y, Handschumacher MD, Liel-Cohen N, Tanabe H, Jiang L, Schwammenthal E, Guerrero JL, Nicholls LA, Vlahakes GJ, Levine RA. Mechanism of ischemic mitral regurgitation with segmental left