

各種弁膜疾患における術  
前・術後の右心機能の非観  
血的評価とその意義

Pre- and post-operative  
right ventricular func-  
tions in valvular heart  
diseases: The signifi-  
cance of noninvasive as-  
sessment

植原 敏勇  
西村 恒彦  
林田 孝平  
高宮 誠

Toshiisa UEHARA  
Tsunehiko NISHIMURA  
Kohei HAYASHIDA  
Makoto TAKAMIYA

**Summary**

This investigation was undertaken to evaluate right ventricular function in valvular heart diseases by calculating right ventricular ejection fraction (RVEF) from first-pass radionuclide angiography (RNA).

One hundred cases of valvular heart disease were examined by RNA, 93 of whom underwent cardiac catheterization and contrast left ventriculography, preoperatively. Fifty of the 100 cases were examined by RNA; 18, by cardiac catheterization post-operatively.

The results were as follows:

1. In 49 cases of mitral valve disease, there was a correlation ( $r = -0.75$ ) between pulmonary artery mean pressure (PAm) and RVEF. This suggested that afterload of left atrial pressure elevation induced a decrease in RVEF.

2. Although PAm did not increase so much in aortic valve disease, RVEF decreased in some cases, especially in those having massive aortic stenosis or regurgitation. In 22 cases of aortic regurgitation which had normal PAm and a left ventricular-aortic systolic pressure gradient less than 50 mmHg, there was a correlation ( $r = -0.69$ ) between the RVEF and the left ventricular end-diastolic volume index (LVEDVI).

3. Although post-operative RVEF did not improve significantly in mitral valve disease, it increased significantly in the early post-operative period in aortic valve disease. Also, the increase in RVEF and the decrease in LVEDVI seemed to correlate closely in aortic valve disease.

It was speculated that pre-operative decrease of RVEF is derived from a deformity of the RV caused by pressure from the enlarged or thickened LV, and that post-operative increase of RVEF is dependent upon a decrease of LV size and volume.

国立循環器病センター 放射線診療部  
吹田市藤白台 5-7-1 (〒565)

Department of Radiology, National Cardiovascular  
Center, 5-7-1 Fujishirodai, Suita 565

Received for publication February 18, 1987; accepted March 27, 1987 (Ref. No. 32-PS 36)

## Key words

Right ventricular ejection fraction (RVEF)    Mitral valve disease    Aortic valve disease    Radionuclide  
cardioangiography

## 緒 言

心臓の弁膜疾患のうち、僧帽弁疾患と大動脈弁疾患は、臨床的によく遭遇する重要な疾患であり、かなりはリウマチ性の病変である。この両者の弁膜疾患は血行動態的に狭窄と逆流を惹起し、その程度に応じて圧・容積負荷を左房・左室に及ぼすが、右心系に対する影響には差がある。すなわち、僧帽弁疾患(特に狭窄)では左房圧上昇の結果、肺動脈圧が上昇し、肺血管抵抗上昇がおり、右室圧・右房圧が上昇し、右心系機能の障害が容易におこる。一方、大動脈弁疾患では、左室収縮能が著明に低下して始めて肺静脈圧の上昇をきたすのみである。

本研究では、僧帽弁疾患と大動脈弁疾患に赤血球標識  $^{99m}\text{Tc}$  心プールシンチグラフィーを施行し、右室駆出率 (RVEF)、左室拡張末期容積 (LVEDV)、左室駆出率 (LVEF) を算出し、心臓カテーテル造影検査の結果とも合わせ、各弁膜疾患の右心機能に及ぼす影響を、術前後の変化もあわせて検討した。

## 方 法

赤血球標識心プールシンチグラフィーは、Sn-PYP を用い、in vivo 標識にて行なった<sup>1)</sup>。右室駆出率の算出はファーストパス法から算出したが、この詳細は既に我々が発表したので省略する<sup>2)</sup>。左室拡張末期容積 (LVEDV) の算出は心拍同期  $^{99m}\text{Tc}$  心プールシンチグラフィー平衡相を用い、左室の拡張期の像を、二次微分法により輪郭を自動的に描出することにより、幾何学的に算出した。この方法も既に報告したが<sup>3)</sup>、この精度を検討するため、バルーンファントムの容積を順次変化させた時の実際の容量と、本法より求めた回転楕円体のバルーンファントムの容積とを比較

した時の結果を示す (Fig. 1)。左室の第1斜位 (RAO) 像は長軸像であるため、長軸と短軸がほぼ正確に得られる。したがって、バルーンファントムをガンマカメラに対して長軸方向に設定した時は、 $r=0.997$  と実際の容量とよく相関した。一方、バルーンファントムをガンマカメラに対して短軸方向に設定した時の実際の容量との相関は、 $r=0.98$  と比較的良好な相関係数を示したが、回帰直線は  $y=2.27x+44.9$  であり、低容量領域では容量の絶対値が実際と大きく異なる傾向があり、この回帰直線による補正が必要と考えられた。次に、実際の各種心疾患臨床例 26 例の左室拡張末期容積を、心臓カテーテル造影検査から得た値と本法を用いて、心拍同期心プールシンチ像から得た値を比較した時の結果を示す (Fig. 2)。この時の相関係数は、 $r=0.85$  と比較的良好な相関が得られ、また回帰直線も  $y=1.95x+57.8$  と、前述のバルーンファントムの短軸像より算出された回帰直線(破線で示す)と近似した直線が得られた。したがって、臨床例においても左室容積の絶対値算出には、バルーンファントム短軸像の回帰直線による補正が妥当であり、以下の左室拡張末期容積算出にはこれを採用した。

左室駆出率の算出は、従来法により心拍同期心プールシンチグラフィー平衡相より算出した<sup>4)</sup>。使用した装置は、ガンマカメラ Ohio-Nuclear  $\Sigma 410\text{S}$  とオンラインで接続したミニコンピューター DEC PDP 11/30 でこれより両室の駆出率を算出した。一方、LVEDV 計算には東芝製 RI データ処理装置 GMS-55A を使用した。

## 対 象

対象は赤血球標識  $^{99m}\text{Tc}$  心プールシンチグラフィーを施行した弁膜疾患 100 例である。この内訳は、僧帽弁疾患 49 例、大動脈弁疾患 37 例、僧

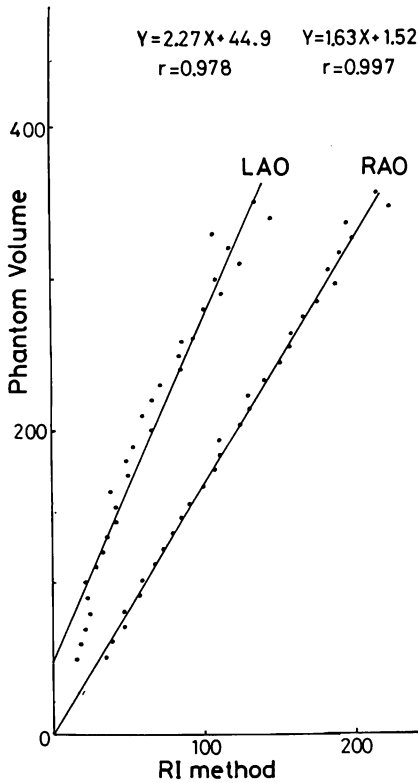


Fig. 1. Correlation between phantom volume and RI volume.

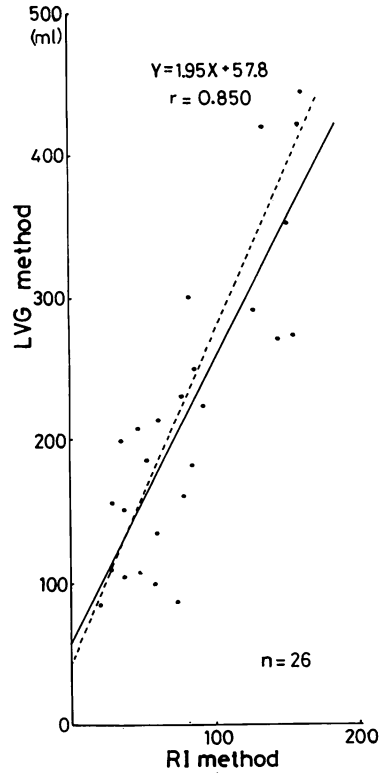


Fig. 2. Correlation of LV volumes according to the LVG and the RI methods.

帽弁と大動脈弁の連合弁疾患を有するもの 14 例である。この際、軽度の弁尖の開放制限があってもほとんど圧差がない場合、I 度程度の軽微な逆流は、疾患として考慮せずに分類した。このうち、93 例に心臓カテーテル検査が施行され、91 例では造影検査も施行されている。全 100 例のうち、弁置換術または交連切開術が施行されたのは 55 例であり、このうち 50 例に術後の赤血球標識  $^{99m}\text{Tc}$  心プールシンチグラフィが施行された。また、術後の心臓カテーテル造影検査が施行されたのは 18 例であった。

結 果

僧帽弁疾患 49 例において、心臓カテーテル検査より得られた肺動脈平均圧と  $^{99m}\text{Tc}$  心プール

シンチグラフィより求めた右室駆出率の相関を求めると (Fig. 3),  $r = -0.75$  の負の相関が得られた。したがって、僧帽弁疾患による左房圧上昇・肺静脈うっ血・肺血管抵抗上昇・肺動脈圧上昇に至る後負荷の程度が、右心機能低下に影響すると考えられた。また、Fig. 3 において左室容積の大きなものは回帰直線の下に位置し、右室駆出率が低めを示す傾向にあった。また三尖弁逆流の存在、程度の有無がこの図のいずれかの部分に偏在する傾向は認められなかった。

大動脈弁疾患を主とする 44 例において、同様に肺動脈平均圧と右室駆出率の関係を見たのが Fig. 4 である。破線で示した回帰直線は、Fig. 3 の僧帽弁疾患で得られた回帰直線を参考のために示したものである。大動脈弁疾患では肺動脈平均

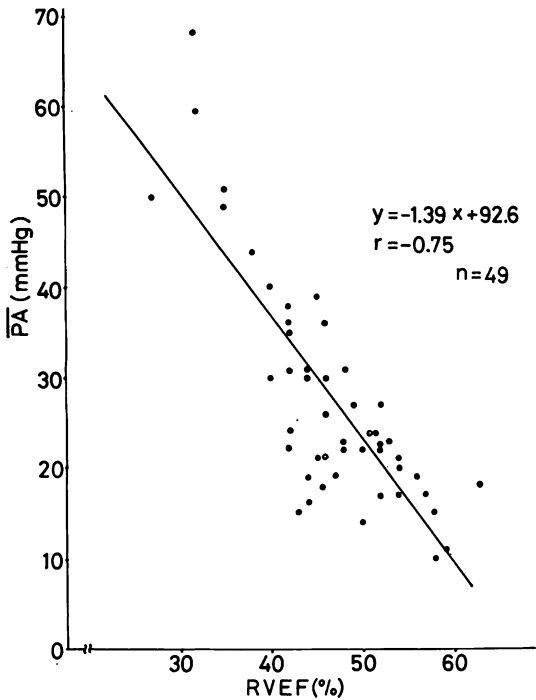


Fig. 3. Correlation between right ventricular ejection fraction (RVEF) and mean pulmonary artery (PA) pressure in mitral valve disease.

圧の上昇するものは少なかったにもかかわらず、右室駆出率は低値を示す傾向があり、特に左室肥大・拡大の著明なものにこの傾向が強かった。

左室肥大の定量的な評価は困難なので、左室拡大を主とする大動脈弁逆流の疾患で肺動脈平均圧 20 mmHg 未満、大動脈-左室間圧差 50 mmHg 以下の症例 22 例において、左室拡張末期容積率 (LVEDVI) と右室駆出率の相関を求めたのが Fig. 5 である。両者の間には  $r = -0.69$  の負の相関が得られ、左室拡大が右心機能の低下に影響を及ぼすことを示唆した。なお参考のために、大動脈弁逆流に大動脈-左室間圧差 50 mmHg 以上の大動脈弁狭窄を合併する 6 症例 (白丸印) と、大動脈弁逆流で肺動脈平均圧が 30 mmHg 以上の 2 症例 (三角印) で、両者の相関を同時に示した。これらの症例は、先の 22 例で得られた回帰直線の下方に位置し、左室拡大の影響に加えて左室肥大や肺動脈平均圧の上昇がさらに右室駆出率を低下させることを示した。

術前後の右室駆出率の変化を、大動脈弁置換術を受けた大動脈弁疾患 21 例、僧帽弁置換術また

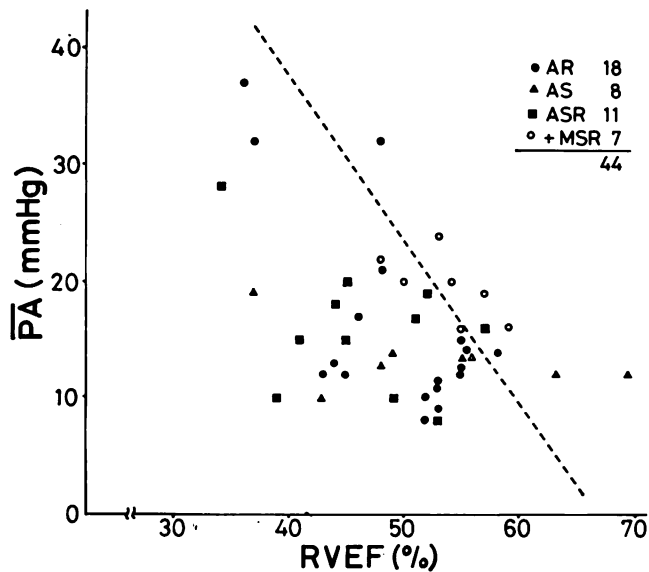


Fig. 4. Correlation between RVEF and mean PA pressure in aortic valve disease.

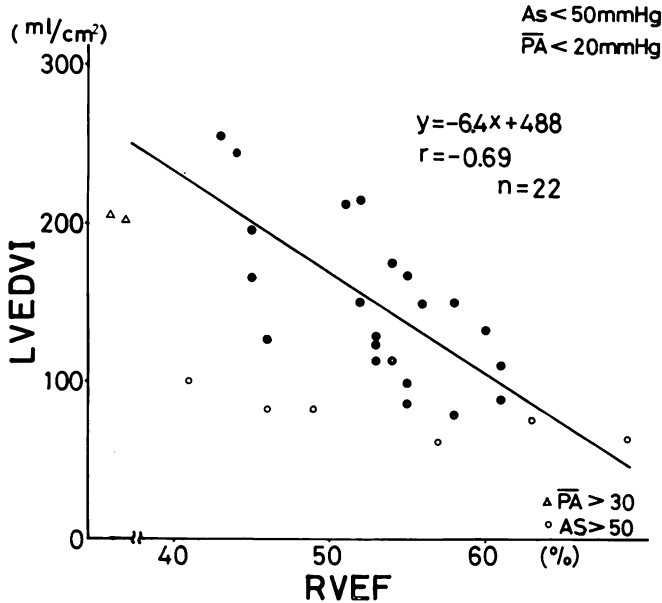


Fig. 5. Correlation between RVEF and the left ventricular end-diastolic volume index (LVEDVI) in aortic valve disease.

は交連切開術を受けた僧帽弁疾患 17 例, 大動脈弁置換術+僧帽弁置換(または交連切開術)を受けた大動脈+僧帽弁疾患 12 例にわけて検討した (Fig. 6). この結果, 大動脈弁置換術のみを受けた大動脈弁疾患群では, 術後早期から速やかに右室駆出率の改善をみたが, 僧帽弁置換術(交連切開術)のみを受けた僧帽弁疾患では, 改善するものもあるが, 術後早期にはむしろ増悪しているものも認められ, 平均すると有意な改善はなかった. 大動脈弁置換+僧帽弁置換(または交連切開術)術後の左室駆出率は, 有意な改善を示した. なおこの 3 群の間に術後検査の時期に有意差はなく, 術後 3 週間~6 カ月後, 平均 2~3 カ月後に施行された.

術前後の大動脈弁疾患の左室拡張末期容積の変化を Fig. 7 に示す. 縦軸の内側の目盛りは RI 法により実際に算出された値, 縦軸の外側の目盛りは前述したファントム実験より得た回帰直線で, これを補正したものである. 大動脈弁逆流の症例では, 術後, 左室拡大 (LVEDV) は速やかに著明に縮小しているのが認められる.

以上より, 大動脈弁疾患における術後の右室駆出率の改善は, 左室拡大の正常化によると考えられた.

術前後の大動脈弁疾患の左室駆出率の変化を Fig. 8 に示す. 大動脈弁逆流の症例では術前の駆出率は正常ないし軽度低値を示すのみであったが, 術後は術前に比し, 不変ないしやや低下するものが多かった.

術前後の大動脈弁疾患における右室駆出率の変化を Fig. 9 に示す. 大動脈弁逆流, 大動脈弁逆流兼狭窄の症例群ともに, 駆出率は術後上昇する傾向が示された. 大動脈弁狭窄単独のものは症例数が少なく, 明らかな傾向を得られなかった.

大動脈弁疾患の術前後の左室拡張末期容積と右室駆出率の変化をより明瞭にするため, 前者を縦軸に, 後者を横軸にとり, 術前から術後への変化を症例ごとに Fig. 10 に矢印で示した. この結果, 大動脈弁逆流, 大動脈弁逆流兼狭窄のいずれの症例も, 術前後で右下方に矢印が向き, 左室容積縮小に伴って, 右室駆出率が上昇することが示

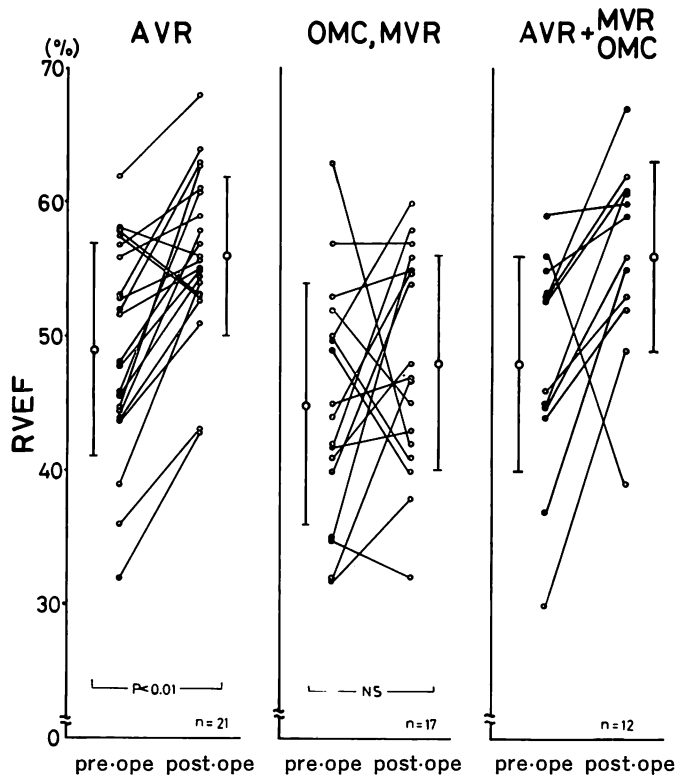


Fig. 6. Changes of RVEF before and after surgery in various valvular diseases.

された。

### 考 察

右心機能を捉えるための指標として、現在までに収縮能を見る方法、仕事量を測定する方法、拡張機能を見る方法など、様々な方法が考案されてきた。このうち最も一般的で、測定も正確かつ容易で、右心機能評価に応用されているのは、右室駆出率である。しかし、右室は左室と異なり、回転楕円体に近似できるような形態をしていないため、心臓カテーテル造影検査による幾何学的なRVEF算出方法は適用し難い。一方、赤血球標識<sup>99m</sup>Tc心プールシンチグラフィによるカウント法は、形態に関係なく心室の容量変化を捉えられ、右室駆出率の算出に最適である。ただ、平衡相第2斜位像では右室と右房が分離し難いとい

う難点がある。我々は既にファーストパス法から右室駆出率を算出する方法と、その基礎的検討を加え、日常臨床に応用している。今回は心臓弁膜症における右心機能の評価を検討したが、この結果を考察する上で、まず右室の収縮様式の特徴を把握しておく必要がある。

右室の収縮様式すなわち右室内容量の拍出は、左室のような回転楕円体の収縮様式とは異なり、右室自由壁と中隔壁の接近によるもので、“ふいご”様の動きによる。Rushmer<sup>5)</sup>によれば、右室収縮のメカニズムは以下の4つの動きに集約される。1) 右室内の乳頭筋が三尖弁を心尖方向に引き寄せ、長軸方向に短縮する。2) 自由壁の収縮は自由壁を中隔側に引き寄せる。3) 左室収縮に伴い、中隔壁の右室側への彎曲度・突出が増す。4) 右室自由壁の両端の付着部が、左室収縮に伴

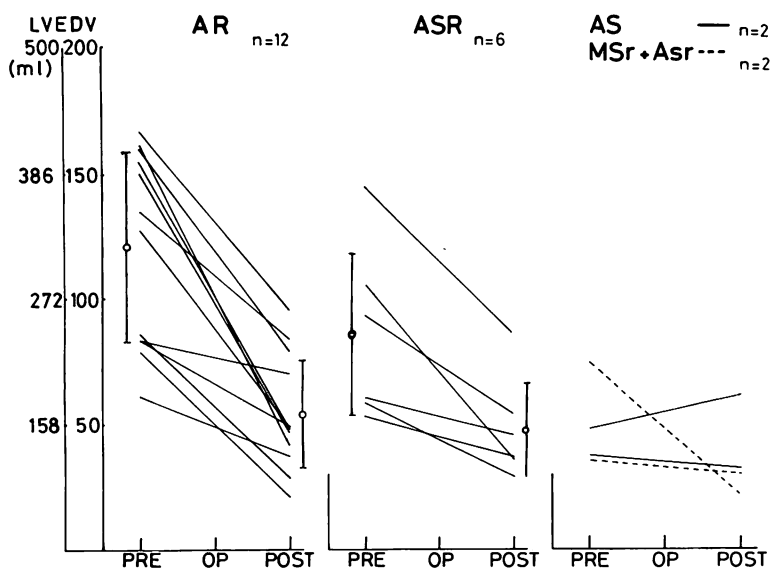


Fig. 7. Changes of LVEDV before and after urgency in aortic valve disease.

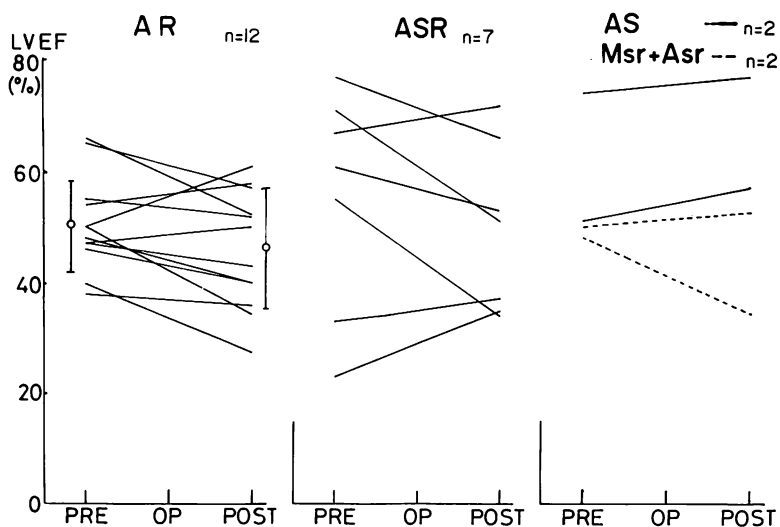


Fig. 8. Changes of left ventricular ejection fraction (LVEF) before and after surgery in aortic valve disease.

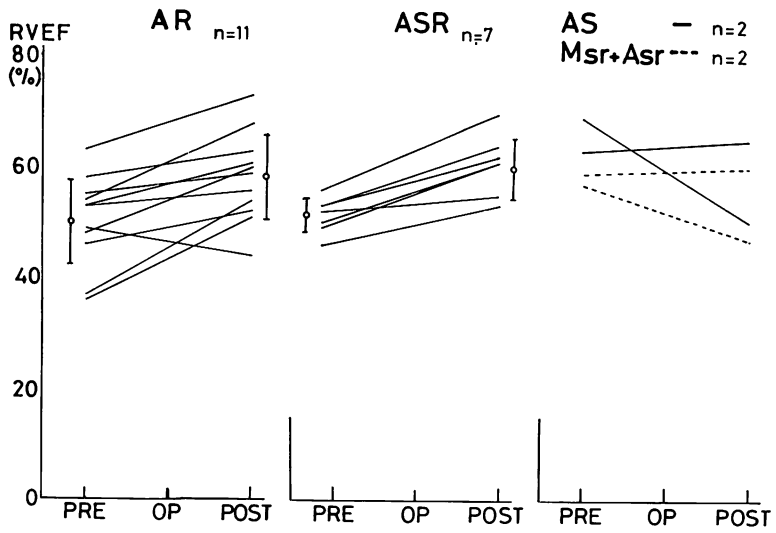


Fig. 9. Changes of RVEF before and after surgery in aortic valve disease.

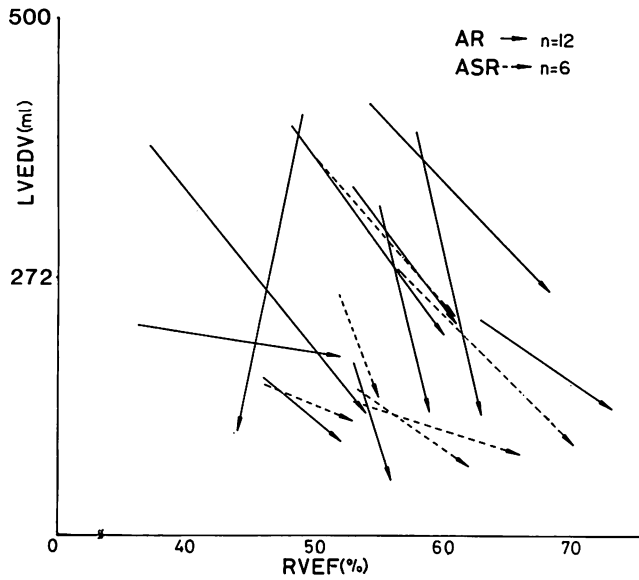


Fig. 10. Changes of left ventricular end-diastolic volume (LVEDV) and RVEF before and after surgery in aortic valve disease.



い左側に引きこまれるため、右室自由壁が中隔壁に近づく。

このため、右室の形態の変化はこの“ふいご”状の動きに影響を与え、右室収縮を妨げる可能性も考えられる。

また実験的に右室自由壁に冠動脈中隔枝結紮や焼灼により障害を与えたり、自由壁をテフロンパッチに置換したりしても、静脈圧、肺動脈圧、体血圧に変化がなく、右心不全症状が出現しなかった。しかしこれに圧負荷や容積負荷を加えると、著明な右心不全が出現したとの報告も見られる<sup>6)</sup>。したがって左心機能が保たれ、三尖弁と肺動脈弁機能が保たれておれば、右心機能が多少損なわれても、右心不全症状は表われにくいと考えられる。

本研究の結果から、大動脈弁逆流を有する例では、左室の拡大によって右室駆出率が低下し、術後左室容積が速やかに減少するとともに駆出率が上昇した。これは左室拡大による右室圧排変形が右室の収縮力を障害しているという推論に一致するものである。またこの場合、右室は容量・圧負荷の原因となる肺動脈圧上昇や、三尖弁逆流などは合併せず、また右室駆出率の低下も40%以下といった著明なものはないため、右室圧、右房圧には変化がなく、右心不全症状もおこさないと考えられた。

今回の検討はおもに大動脈弁逆流例において、左室拡大の程度と右室駆出率低下の程度の比較に主眼をおいたが、左室拡大にとどまらず、左室肥大による右室圧排変形とか、左室の拡張末期容量とともに左室収縮力(すなわち収縮末期における中隔壁の形態の変化)が右室収縮能に及ぼす影響などを考慮できなかったため、相関係数は $r = -0.69$ にとどまった。また、大動脈弁狭窄のみで逆流を伴わない症例、すなわち左室肥大が主な疾患が少なかったこと、心筋肥大の定量評価法が困難なことから、心筋肥大(中隔壁肥大)による右室圧排の影響を検討できなかった。

Fig. 8 に示したように、大動脈弁逆流の術後、

左室駆出率はやや減少する傾向があった。この理由として、術前、左室は大量の容量負荷に対し、スターリングの法則に基づき最大の代償性収縮増強を行い、前方血流を保っていたのであるが、術後容量負荷の軽減とともに、収縮力がより少くてもまかなえるようになったためと考えられる。

また、弁膜疾患術後の回復過程を見ると、大動脈弁疾患術後には比較的早期に全身状態が改善することが多いのに反し、僧帽弁疾患術後の全身状態改善は、比較的緩徐であることが多い。いずれの弁疾患も、左心機能に大差がないことから、右心機能の改善の差が臨床的全身状態の回復の差に密接に関係するとも考えられた。

## 結 語

心臓弁膜疾患の術前後における右心機能を、赤血球標識  $^{99m}\text{Tc}$  心プールシンチグラフィ・ファーストパス法から右室駆出率を算出することによって求め、これを心拍同期平衡相から得た左室駆出率、左室拡張末期容量、心臓カテーテル検査より得られた肺動脈平均圧と比較し、僧帽弁及び大動脈弁疾患の右心機能に及ぼす影響について検討した。

その結果は次のごとくであった。

1. 僧帽弁疾患では、肺動脈平均圧の上昇と右室駆出率の間に  $r = -0.75$  の相関を得、左房圧上昇による後負荷の程度が右心機能低下に影響を及ぼすと考えられた。
2. 大動脈弁疾患では、肺動脈平均圧の上昇が正常または軽度にもかかわらず、右室駆出率の低下している症例があり、その低下の程度と左室拡大の程度に  $r = -0.69$  の相関を認めた。
3. 術前後で右室駆出率の推移を見ると、術後大動脈弁疾患では、左室容量が速やかに改善し、駆出率も速やかに上昇した。一方、僧帽弁疾患では、その改善は術後早期には有意ではなかった。

したがって大動脈弁疾患では、著明な左室拡大による右室の圧排が右室の収縮を低下させ、術後拡大した左室腔の縮小が右室収縮の上昇をもたら

すと考えられた。

### 要 約

$^{99m}\text{Tc}$  赤血球標識心プールシンチグラフィ・ファーストパス法より右室駆出率を算出し、心臓弁膜疾患における右心機能の評価を試みた。対象は  $^{99m}\text{Tc}$ -RBC 心プールシンチグラフィを施行した弁膜疾患 100 例で、このうち 93 例に心臓カテーテル検査を施行した。術後  $^{99m}\text{Tc}$ -RBC 心プールシンチグラフィを施行したのは 50 例、心臓カテーテル検査を施行したのは 18 例である。

僧帽弁疾患 49 例において、肺動脈平均圧と右室駆出率の間に  $r = -0.75$  の相関が得られ、左房圧上昇、肺うっ血、肺動脈圧上昇に至る後負荷の程度が右心機能低下に影響すると考えられた。

一方、大動脈弁疾患 37 例では、肺動脈平均圧が上昇するものは少なかったが、その割に右室駆出率は低値を示す傾向があり、特に左室肥大、拡大の著明なものにこの傾向が強かった。したがって肺動脈平均圧 20 mmHg 未満、大動脈-左室間圧差 50 mmHg 未満の大動脈弁逆流の症例 22 例にて左室拡張末期容積率と右室駆出率の相関を求めると、 $r = -0.69$  であった。

術前後の右室駆出率の推移を見ると、僧帽弁疾患では術後駆出率の改善は著明でなく、特に術後

早期には増悪する傾向もあった。一方、大動脈弁疾患では、術後早期からその著明な改善を認め、また各症例ごとに左室拡張末期容積率の減少と右室駆出率の上昇は密接に関連していた。

以上より、僧帽弁疾患では後負荷が右室駆出率の低下をきたし、大動脈弁疾患では拡大・肥大した左室の右室に対する圧排が右室の駆出率を低下させており、術後左室が縮小することにより右室駆出率が上昇すると推察された。

### 文 献

- 1) 林田孝平, 西村恒彦, 植原敏勇, 小塚隆弘: In vivo 標識  $^{99m}\text{Tc}$ -赤血球標識における標識率の検討. 核医学 18: 495-501, 1981
- 2) 植原敏勇, 西村恒彦, 内藤博昭, 林田孝平, 小塚隆弘, 林 真, 香川雅昭, 山田幸典, 伊藤慎三: 心 RI アンジオグラフィによる右室駆出率 (RVEF) の検討. 核医学 18: 917-927, 1981
- 3) 長谷川兵治, 池谷憲生, 二次佳史, 西村恒彦: 左心室輪郭自動認識による左心機能解析法の開発. 核医学 23: 945-954, 1986
- 4) 西村恒彦, 香川雅昭, 今井行雄, 林 真, 小塚隆弘: 心 RI アンジオグラフィによる左室駆出分画 (EF) の精度に関する検討 (II)—MUGA 法について—. 核医学 17: 269-275, 1980
- 5) Rushmer RF: Cardiovascular Dynamics. 4th ed, WB Saunders, Philadelphia, 1976
- 6) 木全心一, 中沢 誠: 心機能の臨床. 中外医学社, 東京, 1981