

DSA による右心機能の定量的評価：左心機能との対比

Videodensitometric assessment of right and left ventricular functions by digital subtraction angiography

池田 久雄
吉賀 撰
芝尾 敬吾
日高 義雄
岡部 浩司
葉 昌義
冷牟田浩司
杉 健三
大北 泰夫
古賀 義則*
戸嶋 裕徳

Hisao IKEDA
Osamu YOSHIGA
Keigo SHIBAO
Yoshio HIDAKA
Kohji OKABE
Masayoshi YOH
Kohji HIYAMUTA
Kenzo SUGI
Yasuo OHKITA
Yoshinori KOGA*
Hironori TOSHIMA

Summary

Right and left ventricular volumes and systolic indices were determined by intravenous digital subtraction ventriculography in 50 patients with various heart diseases. Using a constant injection speed of 35 ml Renografin-76 contrast medium, serial right and left ventriculograms were obtained in the 30 degree right anterior oblique projection. Right ventriculograms were also obtained in the 60 degree left anterior oblique projection. The videotape recordings of subtracted images were continuously digitized into 128×128 eight bit (256 gray scales) pixel matrices using an image-processing computer. The endocardial outlines of the right and left ventricles were drawn manually using a joystick, frame by frame, for each cardiac cycle. By integrating overall the pixel densitometric counts within this outline for each frame, the computer generated a time-density curve with maxima and minima represented in the end-diastolic and end-systolic frames, respectively. Systolic indices including ejection fraction (EF), one-third ejection fraction (1/3 EF) and the peak ejection rate (PER) were derived from the time-density curve. Right ventricular volume was determined by the single-plane or biplane mathematical formulae of Ferlinz et al., and left ventricular volume was calculated by the area-length method in the 30 degree right anterior oblique projection.

久留米大学医学部 第三内科
*同 循環器病研究所
久留米市旭町 67 (〒830)

The Third Department of Internal Medicine and
*Institute of Cardiovascular Disease, Kurume University, School of Medicine, Asahi-machi 67, Kurume 830

Received for publication November 10, 1986; accepted December 23, 1986 (Ref. No. 32-K5)

Results by the two geometric methods correlated well for right ventricular volume ($r=0.84$) and for EF ($r=0.80$). Right ventricular densitometric counts correlated closely with single-plane volume ($r=0.91$). Right ventricular ejection fraction (RVEF) determined by videodensitometry also correlated satisfactorily with that by single-plane angiography ($r=0.74$).

In 43 patients with left ventricular ejection fraction (LVEF) of 55% or greater, end-diastolic volume and stroke volume (EDV and SV) in the right ventricle did not differ from those in the left ventricle (106 ± 23 vs 102 ± 25 ml and 71 ± 16 vs 71 ± 17 ml, NS). However, right ventricular end-systolic volume (ESV) was greater than left ventricular ESV (35 ± 11 vs 31 ± 12 ml, $p<0.05$); consequently, RVEF was less than LVEF (67 ± 6 vs $70\pm 6\%$, $p<0.05$).

The 1/3 EF and the PER of the right ventricle were significantly less than those of the left ventricle (23 ± 7 vs $33\pm 11\%$ and 5.9 ± 0.8 vs 6.6 ± 1.0 SV/sec, $p<0.005$).

In seven patients with LVEF of 55% or less, EDV and ESV did not differ in the right and left ventricles (128 ± 33 vs 143 ± 58 ml and 63 ± 23 vs 93 ± 50 ml, NS), and RVEF was significantly greater than LVEF (52 ± 6 vs $38\pm 9\%$, $p<0.05$).

Right ventricular PER was significantly greater than that of the left ventricle (6.1 ± 1.0 vs 4.9 ± 0.5 SV/sec, $p<0.05$), although the 1/3 EF did not differ significantly between the two ventricles (22 ± 8 vs $22\pm 10\%$, NS).

These findings suggest that right and left ventricular SV and EF are essentially the same, but that the characteristics of systolic ejection differ under normal conditions. Furthermore, right ventricular systolic function may be preserved, even when left ventricular function is severely impaired. Thus, digital subtraction ventriculography proves to be a convenient and practical method in the qualitative and quantitative assessments of the right and left ventricles.

Key words

Digital subtraction angiography
analysis Geometric analysis

Right and left ventricular systolic function

Videodensitometric

はじめに

右室容量や駆出分画の算出は、従来、一方向^{1,2)}あるいは二方向同時³⁻⁷⁾の右室造影像を幾何学的モデルに近似して求められてきた。これらの幾何学法より算出した右室容量は、剖検時に実測された右室容量とよく相関すると報告されている^{3,5,7,8)}。しかし右室は左室に比べ、その解剖学的形態がより複雑なために、右室容量の算出には複雑な過程の計算が必要であり、しかもこの幾何学的近似には方法論的に限界があるといわれている。したがって、最近では非観血的な方法で、しかも幾何学的モデルが不要である RI アンジオ法が、臨床的に広く用いられるようになった⁹⁻¹⁷⁾。しかし、RI 法では右室容量の絶対値は得られず、また画像が不鮮明で情報の信頼性にも限界があ

り、詳細な右心機能の評価には用い得ない。

一方、最近の著しいコンピューター技術の進歩により、digital subtraction angiography (DSA) が開発され、臨床応用が進みつつある。DSA 法では経静脈性に造影剤を注入して、連続的に右室および左室造影像が得られ、左右心室の形態的診断が可能である。しかもビデオデンシトメトリーによりデジタル化された濃度情報を用いれば、RI 法と同様に、幾何学的モデルにはとらわれず、容易に両心室機能の定量評価をし得る。本研究では DSA 法のこれらの特徴を利用して右心機能の定量的評価を行い、併せて左右心機能の比較検討を行った。

対 象

対象は久留米大学第三内科に入院し、精査を行

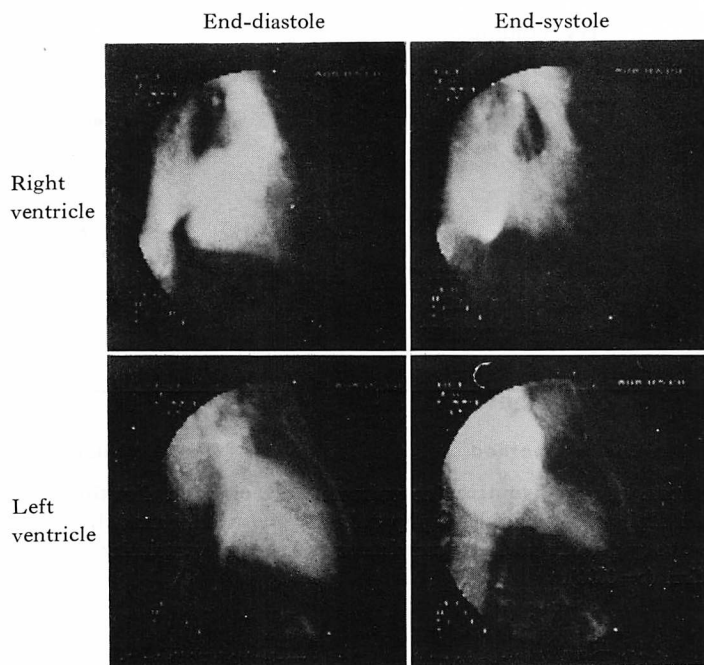


Fig. 1. Serial right and left ventriculograms by digital subtraction ventriculography (DSV).

In all study patients, 35 ml sodium meglumin diatrizoate (Renografin-76) were injected at a constant flow rate of 12 ml/sec through a 7F catheter with its tip in the vena cava superior or inferior. DSV images are serially obtained at 30 frames/sec.

った心疾患患者 50 例である。男性 36 例，女性 16 例で，年齢は 16 から 68 歳，平均 50 歳である。疾患別内訳は前壁梗塞 13 例，狭心症 10 例，肥大型心筋症 14 例，拡張型心筋症 3 例，不整脈疾患 4 例，高血圧心臓病 3 例，心筋炎 2 例，および僧帽弁置換術後 1 例である。なお全例洞調律で，高血圧性心臓病は降圧剤で血圧が正常化した例のみを用いた。一方，肺高血圧症は今回の対象から除外した。

方 法

1. 作像手順

使用した DSA 装置は東芝製 Digiformer-X (DFP-02A 型) で，撮影は super pulse mode (30 フレーム/秒) で施行した。造影剤は 76% ウログラフィンを使用し，上大静脈および下大静脈から同一量 (35 ml) および同一速度 (12 ml/秒) で注入

した。患者を吸気相で呼吸停止させ，第一斜位で右室および左室造影像を連続して撮影した。また 15 例では第二斜位で右室造影を施行した。Fig. 1 は経静脈性 DSA により，連続して得られた右室および左室造影像を示すが，比較的明瞭な画像が得られた。

2. 画像解析

画像解析には東芝製 GMS-55A 解析装置を使用した。先ずビデオテープに収録した DSA 画像をインターフェースを通じて A/D 変換し，連続する 112 画面をイメージメモリーとして画像解析装置に転送した。なお転送時，濃度情報は 8 ビット 256 段階/1 画素，マトリックスサイズ 128×128 に圧縮した。転送後，右室 DSA 像に関心領域を設定し，一心周期の時間-濃度曲線を作成した。そしてこの曲線で最高および最低の濃度値を示すフレームを，それぞれ右室の拡張末期および収縮

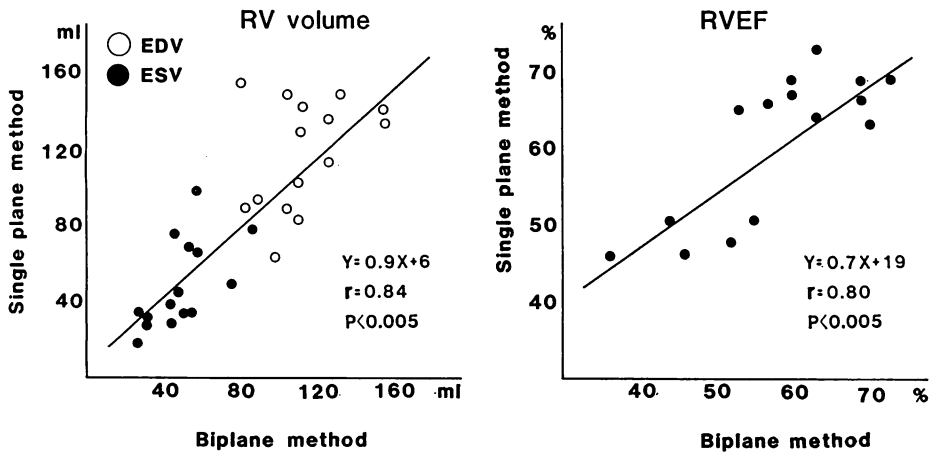


Fig. 2. Comparison of right ventricular volume and ejection fraction obtained by the single-plane and biplane ventriculography using a geometric model.

Results of the two geometric methods correlate well for right ventricular volume ($r=0.84$) and for ejection fraction ($r=0.80$).

末期像として選択した。左室 DSA 像についても同様の方法で、拡張末期および収縮末期像を決定した。

1) ビデオデンシトメトリー法による右室および左室の収縮期指標の算出:

駆出分画 (ejection fraction: EF) はスレッシュヨールド法でバックグラウンド処理を行った後、拡張末期 および 収縮末期の濃度値を用いて算出した。つぎに収縮期の時間-濃度曲線を三等分し、収縮早期 1/3 時相での駆出分画 (one-third ejection fraction: 1/3 EF) を求めた¹⁸⁾。さらに、この時間-濃度曲線を一次微分して、この曲線の極小値を最大駆出速度 (peak ejection rate: PER) とした¹⁹⁾。なお PER は一回拍出に伴う濃度差 (一回心拍出量に相当する) で補正して求め、これらを右室および左室収縮機能の指標とした。

2) 幾何学法による右室 および 左室容量の算出:

右室容量は右室形態を底辺が三角形のピラミッド型と仮定した Ferlinz らの方法により、第一斜位像を用いた一方向法¹⁾ および第一、第二斜位像を用いた二方向法³⁾ で以下の式により算出した。

二方向造影像による右室容量

$$= \frac{2(A_{RAO} \times A_{LAO})}{3(I_{RAO})}$$

一方向造影像による右室容量

$$= \frac{0.4(A_{RAO})^2}{I_{RAO}} + 3.9$$

なお A_{RAO} は第一斜位での右室像の面積, A_{LAO} は第二斜位の右室像の面積, I_{RAO} は第一斜位像で肺動脈弁口の中点と右室底辺の中点を結ぶ距離である。

一方、左室容量は第一斜位の左室造影像を用い、Dodge らの area-length 法²⁰⁾ により算出した。

結 果

1. 一方向および二方向造影像の右心容量および駆出分画の比較

Fig. 2 はピラミッド法を用いて、一方向造影像および二方向造影像から算出した右室容量および右室駆出分画を、それぞれ比較したものである。右室容量の検討では両者は $r=0.84$ の良好な相関を示し、さらに右室駆出分画の検討でも同様に、 $r=0.80$ の良好な相関が認められた。次にビデオ

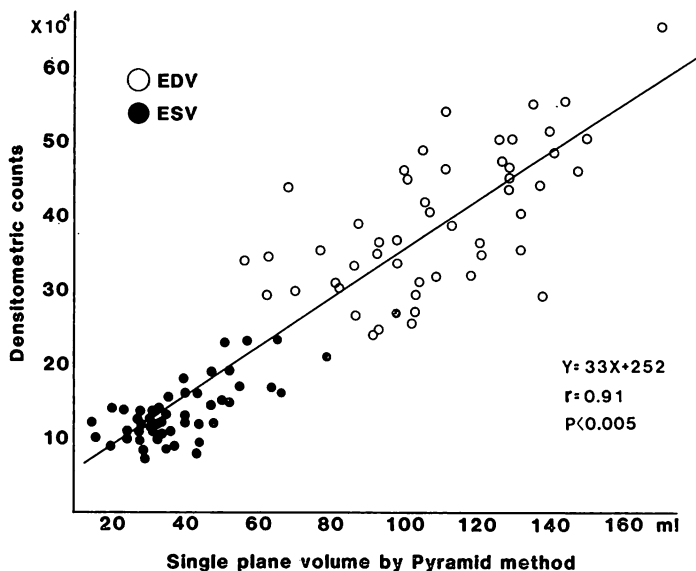


Fig. 3. Relationship between right ventricular videodensitometric counts and right ventricular volume determined by a geometric model (single-plane).

Right ventricular videodensitometric counts correlate closely with right ventricular volume ($r=0.91$).

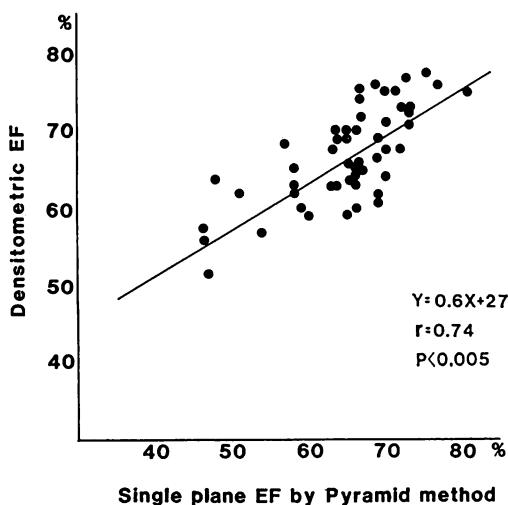


Fig. 4. Relationship between right ventricular ejection fraction (RVEF) determined by videodensitometry and by a geometric model (single-plane).

RVEFs determined by the two methods exhibit a satisfactory correlation ($r=0.74$).

デンシトメトリー法を用いて算出した右室の相対的容量と、ピラミッド法を用いて一方向造影像から算出した右室容量とを比較すると、両者は $r=0.91$ の高い相関を示した (Fig. 3). 同様の方法で算出した右室駆出分画の検討でも、両者は $r=0.74$ の比較的良好な相関を示した (Fig. 4).

2. 左右心室容量および収縮期指標の比較

Table 1 は対象を左室駆出分画が 55% 未満または 55% 以上の例に分類して、幾何学法とビデオデンシトメトリー法により算出した左右心室の心室容量および収縮期指標を比較したものである。Area-length 法による駆出分画が 55% 以上の例では、拡張末期容量は右左心室間には有意差はなかったが (106 ± 23 vs 102 ± 25 ml, NS), 収縮末期容量は右室がわずかではあるが有意に大きく (35 ± 11 vs 31 ± 12 ml, $p < 0.05$), 一方、一回心拍出量には両心室間で有意差はなかった (71 ± 16 vs 71 ± 17 ml, NS). 左室駆出分画が 55% 未満の例の左右心機能の比較は拡張型心筋症 3 例, 心筋梗塞 2 例, 高血圧性心臓病 1 例, 心筋炎 1 例を用い

Table 1. Comparison of right and left ventricular hemodynamic parameters

	LVEF \geq 55%		LVEF<55%	
	RV	LV	RV	LV
Pyramidal method				
EDV (ml)	106 \pm 23	102 \pm 25	128 \pm 33	143 \pm 58
ESV (ml)	35 \pm 11 *	31 \pm 12	63 \pm 23	93 \pm 50
SV (ml)	71 \pm 16	71 \pm 17	65 \pm 13 *	51 \pm 11
EF (%)	67 \pm 6 *	70 \pm 6	52 \pm 6 *	38 \pm 9
Videodensitometric method				
EF (%)	67 \pm 6 *	71 \pm 6	60 \pm 5 †	42 \pm 9
1/3 (EF (%))	23 \pm 7 †	33 \pm 11	22 \pm 8	22 \pm 10
PER (SV/sec)	5.9 \pm 0.8†	6.6 \pm 1.0	6.1 \pm 1.0*	4.9 \pm 0.5

*p<0.05; †p<0.005 compared with left ventricular hemodynamic parameters.

Values are expressed as means \pm SD.

LVEF=left ventricular ejection fraction; RV=right ventricle; LV=left ventricle; EDV=end-diastolic volume; ESV=end-systolic volume; SV=stroke volume; EF=ejection fraction; 1/3 EF=one-third ejection fraction; PER=peak ejection rate.

て行った。その結果、拡張末期および収縮末期容量はともに右室が左室に比べ低値を示す傾向(128 \pm 33 vs 143 \pm 58 ml, 63 \pm 23 vs 93 \pm 50 ml, NS)がみられ、一回心拍出量は右室が左室より高値(65 \pm 13 vs 51 \pm 11 ml, p<0.05)であった。

幾何学法とビデオデンストメトリー法による駆出分画の比較では、左室駆出分画 55% 以上の値では左右心室ともに差はなかった。しかし左室駆出分画が 55% 未満の例ではビデオデンストメトリー法による駆出分画が両心室ともに幾何学法より高値であった。一方、左右心室の駆出分画の比較では、左室駆出分画 55% 以上の例では、両方法による駆出分画はともに左室が右室よりも高値であった。これに対して、左室駆出分画が 55% 未満の例では、両方法による駆出分画はともに左室が低値を示した。

両心室の収縮早期 1/3 時相での駆出分画 (1/3 EF) および最大駆出速度 (PER) の比較では、左室駆出分画が 55% 以上の例では、1/3 EF および PER とともに左室で有意に高値であった (23 \pm 7 vs 33 \pm 11% および 5.9 \pm 0.8 vs 6.6 \pm 1.0 SV/sec, p<0.005)。これに対して、左室駆出分画が 55% 未満の例では、左室駆出分画 55% 以上の例と比較し

て、左室の 1/3 EF および PER が有意に低値であったが、右室では有意差を認めなかった。その結果、55% 未満の例では 1/3 EF は右左心室で差がなくなり (22 \pm 8 vs 22 \pm 10%, NS), 逆に PER では左室で低値 (6.1 \pm 1.0 vs 4.9 \pm 0.5 SV/sec, p<0.02) を示した (Table 1)。

考 察

1. DSA 法による右心機能評価の有用性と限界

右室の容量測定や機能評価のためには、選択的右室造影時の一方向造影像^{1,2)}あるいは二方向造影像³⁻⁷⁾を用い、右室形態を幾何学的モデルに近似した数式が用いられてきた。Ferlinz らが提唱し、今回の右室容量測定に用いたピラミッド法^{1,8)}もその一つであるが、DSA 法ではこれらの幾何学的公式のプログラムをコンピューターに組み込むことで、比較的簡便に右室容量を算出することができた。また経静脈性に造影剤を注入しているため、従来の選択的右室造影法に比べ、造影剤自身の血行動態に及ぼす影響も少ないものと考えられる。

DSA 法の第 2 の特徴は、右室関心領域内の造影剤濃度が三次元的情報を内包しているため、右

室の解剖学的形態の影響を受けずに、各指標の算出が可能であることである。この場合には、まず X 線の透過強度が指数関数的に減弱することを考慮する必要がある。この点に関しては、DSA 法ではアナログ信号を対数変換した後、デジタル変換して画像間の差分演算処理を行っているため、ほぼ補正されていると考えられる。また我々は先にファントムを用いた基礎的研究²¹⁾において、この濃度情報とファントム容量が直線性を示すことを確認しており、さらに臨床的には左室容量と左室造影剤濃度とは高い相関を示すことを報告^{21,22)}している。しかも本検討ではビデオデントメトリー法により求めた右室の相対的濃度値と幾何学法により求めた右室絶対容量との間に、高い相関 ($r=0.91$) が認められた。したがって、今回のように同一量の造影剤を同一速度で注入すれば、右室関心領域内の濃度情報は相対値ではあるが、右室容量を十分反映した値として応用できるものと考えられる。

右室容量や駆出分画を算出する場合には、房室弁輪部において右房と右室が重なるために、とくに三尖弁輪部の同定が問題になる。今回の右室 DSA 像においても、多くの症例で弁輪部において右房と右室の重なりが観察され、これは第二斜位像で顕著に認められた。最近の RI アンジオ法を用いた右心機能の検討でも、第 2 斜位像を用いた平衡時 RI アンジオ法による右心機能の評価は好ましくなく、右室駆出分画は第一斜位像で算出すべきであると報告²³⁾されている。これも三尖弁輪部の重なりの結果、右心機能を過小評価する恐れがあるためと考えられる。しかし DSA 像は RI アンジオ像に比べ、時間および空間分解能がはるかに優れており、弁輪部の同定に困難を感じることは少ない。以上のように DSA 法は右室形態の診断はもちろんのこと、幾何学法による右室容量測定と同時にビデオデントメトリー法を用いた右心機能評価も可能であり、この点、とくに有用な方法であると考えられる。

一方、DSA 法の限界としては、本法が first-

pass 法であるため、一心拍毎に拡張期に流入する造影剤の濃度が異なり、拡張期指標の算出が困難である点が挙げられる²⁴⁾。したがって、今回はビデオデントメトリー法を用いて右心の収縮期指標を算出したが、拡張期指標の検討は行いえなかった。今後は数心拍における濃度補正のプログラムを開発し、拡張期動態の評価にも DSA 法を応用して行く必要がある。

2. 両心室容量および収縮期指標の比較

一般に選択的右室造影像を用いて算出した右室駆出分画は左室と比較して、やや低値とするものが多い^{4~7)}。また、最近の RI アンジオ法を用いた評価でも、左室より右室駆出分画の方が小さいと報告^{9~17)}されている。しかし、この場合には最近、Marving ら²⁵⁾が指摘しているように、房室弁輪部での右房と右室の重なりの問題を考慮する必要がある。例えば RI 法では一般に拡張期と収縮期に共通な固定した関心領域が用いられるが、この場合には収縮期の三尖弁輪の下方移動が、駆出分画の過小評価の大きな要因となるものと考えられる。我々も以前、左室駆出分画について同様の検討を行い、固定した関心領域を用いた場合、弁輪部が収縮期に下方へ大きく移動し、左室関心領域の中に左房が大きく侵入し、左室駆出分画を過小評価するおそれが強いことを報告²²⁾した。このため今回の検討では右心の房室弁口部が同定しやすい第一斜位像を用い、また収縮期と拡張期に別別に弁口部を同定して関心領域を設定し、右室容量や駆出分画を算出した。その結果、心機能がほぼ正常と考えられる左室駆出分画 55% 以上の例では、収縮末期容量は左室がわずかに大であったが、拡張末期容量は左右心室で差はなく、また一回心拍出量および駆出分画はともに差は認められなかった。したがって今回の結果は、左右心室機能を同時に厳密に測定した Carlsson ら⁴⁾や Arcilla ら²⁵⁾の報告と一致した結果であった。このように、正常な心機能を有する例では、右室および左室の心室容量や駆出分画などのポンプ機能には明らかな差はないものと考えられた。

一方, 1/3 EF や PER の収縮速度を表わす指標は, 心機能正常例においても, 左室より右室で低値であり, おそらく右室心筋の収縮特性は左室に比べ, 生理的に低いものと考えられた. これは心筋厚や後負荷が左右心室では大きく異なることに対応した所見と考えられ, 全体としてのポンプ機能には差はなくとも, 左右心室の収縮様式はかなり異なるものと考えられた.

左室駆出分画 55% 未満の慢性左心不全例では, 左室収縮機能の低下にもかかわらず, 右室駆出分画, 1/3 EF および PER はほぼ正常に保たれていた. しかし本群では前壁梗塞は 2 例のみで, 他の 5 例は拡張型心筋症, 高血圧性心臓病であり, 左室とともに右室もある程度の心筋障害が存在するものと推測される. そして本群でみられた右室拡張末期および収縮末期容量の増加は, この右室心筋障害を反映した所見と考えられる. これらの症例で駆出分画や PER などの右室収縮機能がほぼ正常に保たれた機序としては, 今回の症例では右心病変が左心に比し, 軽度であったことのほかに, 右室では後負荷が小さいことや, 前負荷予備能が比較的大きいことが推測され, このために Frank-Starling 機構により左心駆出能の低下がほぼ代償されたことが考えられる. このように, 慢性左心不全例での右心の収縮機能は比較的保持されていることが示唆されたが, これは臨床的にも, 右心不全症状がこれらの例では比較的軽微であることと一致する所見と考えられた.

一方, 今回の検討では左室駆出分画が 55% 未満の例では, 左右心室間の一回心拍出量に有意差を認めた. この原因としてはまず第一に慢性心不全例では右室が球形に拡張し, 右室形態を三角錐と仮定したピラミッド法の応用が適当でないことが考えられる. また左室駆出分画 55% 未満の例では, 幾何学法とビデオデンシトメトリー法による駆出分画にも差がみられ, これは拡張心では幾何学モデルが必ずしも適応しえないことを示唆する所見と解釈された. 左右心室の一回心拍出量が一致しなかった第 2 の原因としては, 拡張心に高

率に合併すると思われる機能的三尖弁閉鎖不全の関与が最も考えられ, この結果, 右室の一回心拍出量が高値であったと推測される. しかし今回は症例数も少なく, これらの点に関しては充分検討しえなかった.

要 約

Digital subtraction angiography (DSA) を用いて右心機能の定量的評価を行い, 併せて左右心室の収縮機能の比較検討をした.

1. DSA で算出した右室相対容量は, 幾何学法で求めた右室絶対容量と良く相関し, 両者の駆出分画も相関した. したがって DSA 法により右心機能評価が可能と考えられた.

2. 左心機能良好例では, 両心室の拡張末期容量, 一回拍出量および駆出分画は良く一致した. しかし右室の収縮早期 1/3 駆出分画および最大駆出速度は, いずれも左室に比較し有意に低値であり, 右室と左室の収縮様式は異なるものと考えられた.

3. 慢性左心不全例では, 左心収縮機能の低下にもかかわらず, 右心室の収縮機能は比較的保持されているものと推測された.

なお本研究の一部は日本自転車振興会公益事業補助金によった.

文 献

- 1) Ferlinz J: Measurements of right ventricular volumes in man from single plane cineangiograms. *Am Heart J* 94: 87-90, 1977
- 2) Ferlinz J: Right ventricular performance in essential hypertension. *Circulation* 61: 156-162, 1980
- 3) Ferlinz J, Gorlin R, Cohn PF, Herman MV: Right ventricular performance in patients with coronary artery disease. *Circulation* 52: 608-615, 1975
- 4) Carlsson E, Keene RJ, Lee P, Goerke RJ: Angiocardiographic stroke volume correlation of the two cardiac ventricles in man. *Invest Radiol* 6: 44-51, 1971
- 5) Graham TP, Jarmakani JM, Atwood GF, Canent RV Jr: Right ventricular volume determinations

- in children. *Circulation* **47**: 144-153, 1973
- 6) Fisher EA, DuBrwo IW, Hastreiter AR: Right ventricular volume in congenital heart disease. *Am J Cardiol* **36**: 67-75, 1975
 - 7) Boak JG, Bove AA, Kreulen T, Spann JF: A geometric basis for calculation of right ventricular volume in man. *Cathet Cardiovasc Diagn* **3**: 217-230, 1977
 - 8) Gentzler RD, Briselli MF, Gault JH: Angiographic estimation of right ventricular volume in man. *Circulation* **50**: 324-330, 1974
 - 9) Steele P, Kirch D, LeFree M, Battock D: Measurement of right and left ventricular ejection fractions by radionuclide angiocardigraphy in coronary artery disease. *Chest* **70**: 51-56, 1976
 - 10) Berger HJ, Matthay RA, Loke J, Marshall RC, Gottschalk A, Zaret BL: Assessment of cardiac performance with quantitative radionuclide angiocardigraphy: Right ventricular ejection fraction with reference to findings in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Cardiol* **41**: 897-905, 1978
 - 11) Johnson LL, McCarthy DM, Sciacca RR, Cannon PJ: Right ventricular ejection fraction during exercise in patients with coronary artery disease. *Circulation* **60**: 1284-1291, 1979
 - 12) Maddahi J, Berman DS, Matsuoka DT, Waxman AD, Stankus KE, Forrester JE, Swan HJC: A new technique for assessing right ventricular ejection fraction using rapid multiple-gated equilibrium cardiac blood pool scintigraphy. *Circulation* **60**: 581-589, 1979
 - 13) Slutsky R, Hooper W, Gerber K, Battler A, Froelicher V, Ashburn W, Karlner J: Assessment of right ventricular function at rest and during exercise in patients with coronary heart disease: A new approach using equilibrium radionuclide angiography. *Am J Cardiol* **45**: 63-71, 1980
 - 14) Marmor A, Geltman EM, Biello DR, Sobel BE, Siegel BA, Roberts R: Functional response of the right ventricle to myocardial infarction: Dependence on the site of left ventricular infarction. *Circulation* **64**: 1005-1011, 1981
 - 15) Korr KS, Gandsman EJ, Winkler ML, Shulman RS, Bough EW: Hemodynamic correlates of right ventricular ejection fraction measured with gated radionuclide angiography. *Am J Cardiol* **49**: 71-77, 1982
 - 16) Legrand V, Chevigne M, Foulon J, Rigo P: Evaluation of right ventricular function by gated blood-pool scintigraphy. *J Nucl Med* **24**: 886-803, 1983
 - 17) Hurwitz RA, Treves S, Kuruc A: Right ventricular and left ventricular ejection fraction in pediatric patients with normal hearts: First-pass radionuclide angiocardigraphy. *Am Heart J* **107**: 726-732, 1984
 - 18) Slutsky RS, Karlner JS, Battler A, Peterson K, Ross J: Comparison of early systolic and holosystolic ejection phase indexes by contrast ventriculography in patients with coronary artery disease. *Circulation* **61**: 1083-1090, 1980
 - 19) Hammermeister KE, Brooks RC, Warbasse JR: The rate of change of left ventricular volume in man: I. Validation and peak systolic ejection rate in health and disease. *Circulation* **49**: 729-738, 1974
 - 20) Sandler H, Dodge HT: The use of single plane angiocardigrams for the calculation of left ventricular volume in man. *Am Heart J* **75**: 325-336, 1968
 - 21) Utsu F, Ikeda H, Koga Y, Shibao K, Shimamatsu M, Furuta Y, Ohkita Y, Sugi K, Toshima H: Computer videodensitometry of digital subtraction angiography for measurement of the cardiac volume. *Kurume Med J* **31**: 317-323, 1984
 - 22) Ikeda H: Quantitative analysis of left ventricular volume curve by digital subtraction angiography. *J Cardiol* (in press, in Japanese)
 - 23) Marving J, Høilund-Carlsen PF, Chræmmer-Jørgensen B, Gadsbøll N: Are right and left ventricular ejection fractions equal? Ejection fractions in normal subjects and in patients with first acute myocardial infarction. *Circulation* **72**: 502-514, 1985
 - 24) Bonow RO: First-pass technique and diastolic phenomena. *Circulation* **65**: 640, 1982
 - 25) Arcilla RA, Tsai P, Thilenius O, Ranniger K: Angiographic method for volume estimation of right and left ventricles. *Chest* **60**: 446-454, 1971