

대동맥 및 승모판 판막폐쇄부전증에서 방사성동위원소 심혈관촬영술을 이용한 혈역류량 측정에 관한 연구

서울대학교 의과대학 내과학교실

신성해 · 정준기 · 이명철 · 조보연
서정돈 · 이영우 · 고창순

서울대학교 의과대학 흉부외과학교실

서경필 · 이영균

= Abstract =

Measurement of the left ventricular regurgitation by gated cardiac blood pool scan: Before and after valvular replacement surgery

Seong Hae Shin, M.D., June-Key Chung, M.D., Myung Chul Lee, M.D.
Bo Youn Cho, M.D., Jung Don Seo, M.D., Young Woo Lee M.D.
and Chang-Soon Koh, M.D.

Dept. of Internal Medicine, College of Medicine, Seoul National University

Kyung Phill Suh, M.D. and Yung Kyoon Lee, M.D.

Dept. of Thoracic Surgery

Quantification of the regurgitation amount is important before and after valvular replacement surgery. Until now cardiac catheterization with cineventriculography, echocardiography have been used to measure the regurgitation amount, but also have many limitations. EKG gated cardiac blood pool scan provides a simple, non-invasive method for quantify the regurgitation amount.

By calculating the ratio of left ventricular to right ventricular stroke counts (stroke volume ratio) in gated blood pool scan, we measured the left ventricular regurgitation amount in 28 cases of valvular regurgitation and 25 cases of normal group.

1. Stroke volume ratio was higher in cases of valvular regurgitation (2.11 ± 0.58) than in cases of normal control (1.15 ± 0.31). ($p < 0.01$).

2. Stroke volume ratio was classified by regurgitation grade using X-ray cineventriculography. In grades of mild regurgitation (Grade I ~ II), stroke volume ratio was 2.02 ± 0.29 , and in grades of severe regurgitation (Grade III ~ IV), stroke volume ratio was 2.55 ± 0.34 , so stroke volume ratio was well correlated with the grade of X-ray cineventriculography.

3. Stroke volume ratio was classified by functional class made in New York Heart Association. In classes of mild regurgitation (class I ~ II), stroke volume ratio was 2.08 ± 0.26 , and in classes of severe regurgitation (class III ~ IV), stroke volume ratio was 2.55 ± 0.38 , Stroke volume ratio well represented the functional class.

4. After aortic and mitral valve replacement in 28 patients, the stroke volume ratio decreased from 2.11 ± 0.58 to 1.06 ± 0.26 .

Gated blood pool scan provides a noninvasive method of quantifying valvular regurgitation and assessing the result of surgical interventions.

* 본 연구는 1982년도 서울대학교병원 임상연구비의 보조로 이루어진 것임.

I. 서 론

심장의 혈역동학에 관한 연구가 발전되면서 심장질환의 진단뿐 아니라 개심수술후의 경과관찰을 위한 추적검사도 손쉽게 시행할 수 있게 되었으며 이는 실제로 매우 중요한 위치를 차지하게 되었다. 특히 심장판막폐쇄부전증에서의 혈역류량의 정도는 임상적으로 중요시되는 바 이의 측정법으로는 초음파음향도를 이용

하여 과부하용적 (overload volume)을 측정하는 간접방법¹⁾과 심도자법을 시행하면서 방사선과심실조영술에 의한 혈역류량을 측정하는 직접방법²⁾이 있으나 전자는 정확도가 떨어져서 후자는 관혈적인 방법이어서 반복시행이 대단히 어렵고 수술후 경과관찰을 위한 추적검사로서의 임상적 유용도가 낮다는 단점을 갖고 있다.

최근 방사성동위원소 심혈관촬영술이 심장기능 평가에 널리 이용됨에 따라^{3,4)} Rigo⁵⁾등은 1979년 방사성동위원소 심혈관촬영술을 이용하여 혈역류량을 측정,

Table 1. Clinical Characteristics of Patients

Case	Age & Sex	Regurgitant Lesion & Grade by Xray Angiography	Post-op. Dx.
1	61M	A I III	AS I
2	15F	MI III	MI
3	26M	MI I	MS I
3	35M	MI II, A I II	MS I + AS I
5	29F	MI II, A I III	MS I + AS I
9	37F	MI IV, A I III	MS I + AS I
7	13M	MI IV	MI
8	26M	MI III	MI
9	43M	MI I, AS I	MS I + A I
10	21M	MI III, A I III	MI + A I
11	27M	MI I	MS I
12	28M	MI I, A I II	MS I + AS I
13	23M	A I IV	AS I
14	28M	MI II, A I III	MS I + AS I
15	38F	MI I	MS I
16	42M	MI IV, A I IV	MS I + AS I
17	46F	MI III, A I III	MS I + AS I
18	35F	MI I	MI
19	29F	MI II, A I III	MS I + AS I
20	33M	MI IV	MS I
21	33F	MI I, A I III	MI + A I
22	30M	MI II	MS I
23	27M	MI III	MS I
24	39M	A I IV	MS I + A I
25	51M	MI IV	MS I
26	22M	A I III	MS I + AS I
27	27M	MI II	MS I
28	25F	A I II	MS I + AS I

Abbreviation; MI : Mitral Insufficiency
A I : Aortic Insufficiency

MS I : Mitral Stenoin-sufficiency
AS I : Aortic stenoin-sufficiency

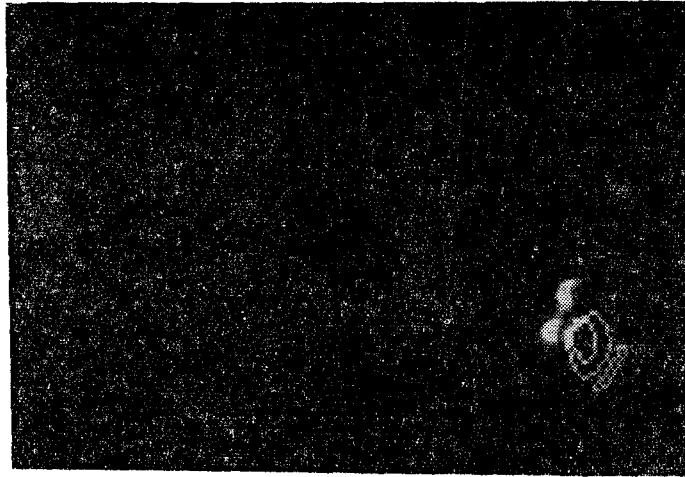


Fig. 1. Time-activity curve(left), and ROI's of both ventricles at the end-systolic phase and end-diastolic phase(right).

보고한 바 있다.

이에 저자들은 좌심실 판막폐쇄부전증 환자에서 평형상태방사성동위원소 심혈관촬영술(gated cardiac blood pool scan)을 이용하여 심혈역류량의 정도를 측정하고 그 진단적 가치와 임상적 의의를 관찰하고자 1981년 3월부터 1982년 5월까지 서울대학교병원에 입원한 좌심실 판막폐쇄부전증 환자를 대상으로 수술전 후의 좌/우심실 박출방사능비를 산출하고 이를 다른 검사 및 임상소견과 비교하여 다음과 같은 성적을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 대상 및 방법

1) 대 상

이학적 소견상 심장질환이 없는 건강인 25명을 정상 대조군으로 하였고 수술로써 확진된 좌심실 판막폐쇄부전증 환자 28명을 대상으로 하였다. 환자군은 남자 19명과 여자 9명이었고, 연령은 13세에서 61세 사이이었다.

각 질환별 환자수는 승모판막폐쇄부전증 12예, 대동맥판막폐쇄부전증 4예, 승모판과 대동맥에 판막폐쇄부전증이 동반된 경우가 12예이었다(표 1).

2) 방 법

^{99m}Tc-human serum albumin 15 mCi 를 정맥주사하고 5~10분후 방사성동위원소가 심혈관계에 균일하게 퍼진 뒤에 Gamma Camera(Ohio Nuclear Model Sigma 410)의 검출부를 좌전사위 30°~45°로 하여 좌

우심실이 가장 잘 분리되도록 하여 검사하였다.

심전도를 PDP-11 Computer 에 연결시켜 64×64 byte mode 로 수록하고 한 심박동기를 20화면으로 나누어 분석하였다. Computer 영상에서 좌·우심실에 특정관심영역(Region of Interest; ROI)을 그려 좌·우심실의 한 심박동기에서 시간-방사능곡선을 구하였다(그림 1). 이 방사능치의 변화는 좌·우심실의 용적 변화를 의미하므로 여기서 좌·우심실의 수축기말과 확장기말의 화면을 결정한 후 배후방사능으로 교정하여 각 화면에서의 방사능치를 구해 다음과 같은 공식에 의해 좌/우심실 박출방사능비를 산출하였다.

SVR(Stroke Volume Ratio) =

$$\frac{LV(ED-ES) \text{ count}}{RV(ED-ES) \text{ count}}$$

LV : 좌심실

RV : 우심실

ED : 확장기말

ES : 수축기말

좌심실 판막의 폐쇄부전시 좌심실의 박출계수(확장기말 방사능치와 수축기말 방사능치의 차)는 전신으로의 박출용적(Stroke volume)과 역류용적의 합을 의미하고 우심실의 박출계수는 전신으로의 박출용적만을 의미하므로 좌/우심실 박출방사능비는 좌심실의 역류용적을 측정하는 지표로 사용할 수 있다.

방사선심혈관조영술의 혈역류량 측정은 심혈관조영술의 판막폐쇄부전 정도에 따라 그 등급을 1~4로 구분하였고 승모판막폐쇄부전증과 대동맥판막폐쇄부전증이 같이 있을 때에는 양자중 심한 등급을 채택하여 방

Table 2. Values(m±S.D.) of SVR according to the functional and angiographic grades

Grade	NYHA Functional Class	Angiographic Grade
I	1.75±0.14	1.66±0.38
II	2.19±0.19	2.09±0.12
III	2.43±0.32	2.54±0.29
IV	2.70±0.41	2.56±0.43

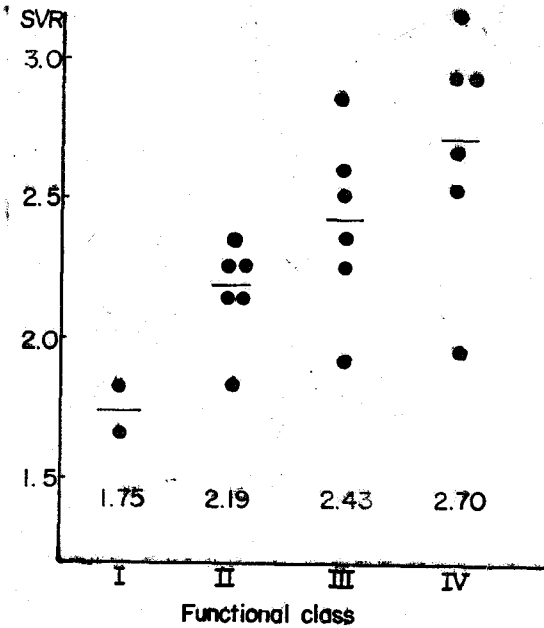


Fig. 2. Comparison between value of SVR and NYHA functional class.

사성동위원소 심혈관촬영술에서 얻은 좌/우심실 박출방사능비와 비교, 분석하였다.

수술후 gated cardiac blood pool scan은 수술후 5일에서 16일사이에 시행하였고 수술전·후의 좌/우심실 박출방사능비의 비교는 t-test로 하였다.

III. 성 적

좌심실 판막폐쇄부전증 환자의 수술전의 좌/우심실 박출방사능비는 2.11±0.58로 정상대조군 1.15±0.31보다 유의하게 증가되어 있었다(p<0.01). 이들을 질환별로 보면 승모판막폐쇄부전증에서는 2.03±0.35, 대동맥판막폐쇄부전증에서는 2.58±0.82, 대동맥과 승모판에 판막폐쇄부전증이 동반된 경우는 2.03±0.45로 각

Table 3. Values of Stroke Volume Ratio in normal control and patients with valvular regurgitation before(pre-op.) and after(post-op.) operation

Disease	No of Evaluated	Pre-op.	Post-op.
Normal Control	(25)	1.15±0.31	
Left Heart Regurgitation	(28)	2.11±0.58	1.06±0.26
Mitral Valve	(12)	2.03±0.35	1.03±0.25
Aortic Valve	(4)	2.53±0.82	1.19±0.10
Mitral & Aortic Valves Combined	(12)	2.03±0.45	1.04±0.33

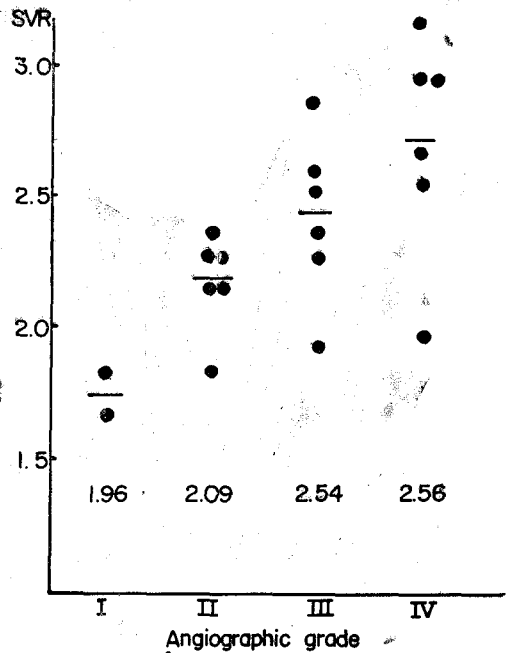


Fig. 3. Comparison between value of SVR and angiographic grade.

군간의 유의한 차이는 없었다.

New York Heart Association 분류에 따른 심장기능 정도가 심할수록 gated cardiac blood pool scan으로 구한 좌/우심실 박출방사능비도 증가하여 class I, II군(2.08±0.26)과 class III, IV군(2.55±0.38)사이에는 통계적으로 유의한 차가 있었다(p<0.01)(표 2)(그림 2).

방사선심혈관조영술에 의한 혈역류량이 많을수록 좌/우심실 박출방사능비가 증가하여 방사선심혈관조영술상 Grade I, II군(2.02±0.29)과 Grade III, IV군(2.55±0.34)사이에는 통계적으로 유의한 차가 있었다(p<

—신성해 외 7인 : 대동맥 및 승모판 판막폐쇄부전증에서 방사성동위원소 심혈관촬영술을 이용한 혈역류량 측정에 관한 연구

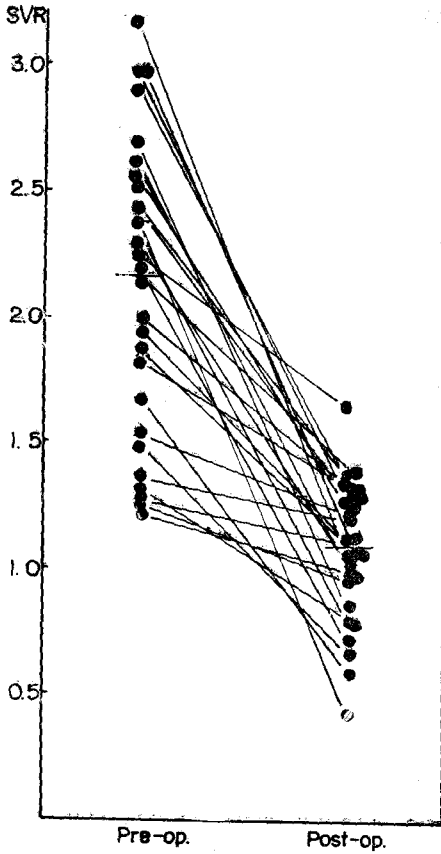


Fig. 4. Values of SVR preoperatively and postoperatively.

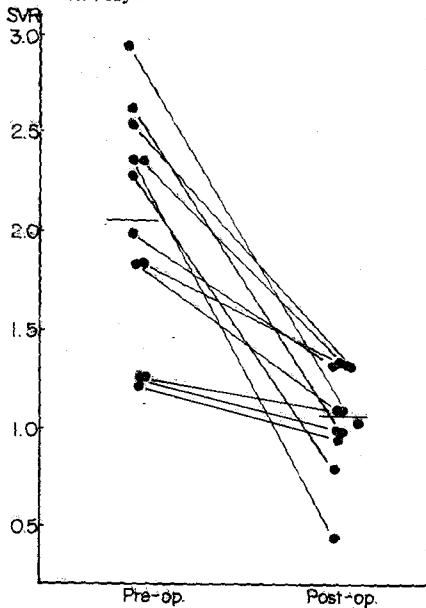


Fig. 5. Values of SVR before and after operation in patients with mitral regurgitation.

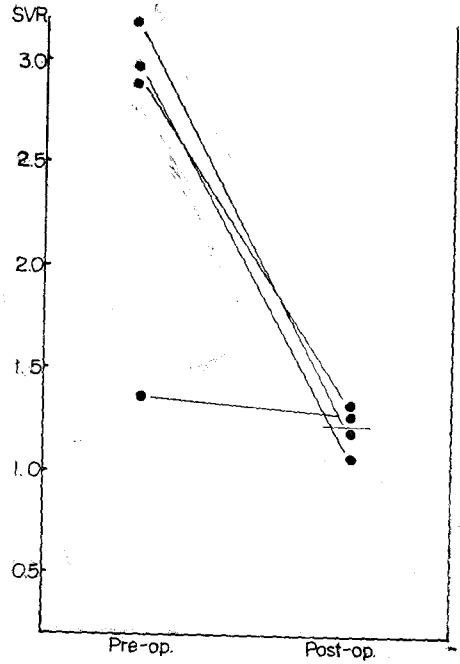


Fig. 6. Values of SVR before and after operation in patients with aortic regurgitation.

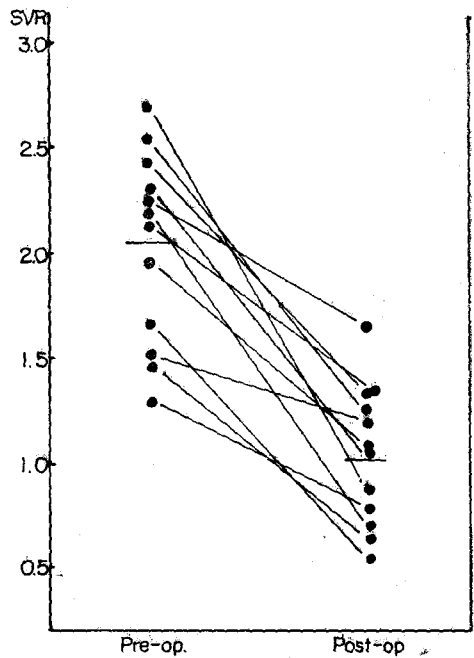


Fig. 7. Values of SVR before and after operation in patients with combined mitral & aortic valve disease.

0.01) (표 2) (그림 3).

수술로 판막폐쇄부전증이 교정된 상태의 좌/우심실 박출방사능비는 1.06 ± 0.26 로 감소하였으며 각 질환 별로 보면 승모판막폐쇄부전증에서는 1.03 ± 0.25 , 대동맥판막폐쇄부전증에서는 1.19 ± 0.10 , 승모판과 대동맥에 판막폐쇄부전증이 동반된 경우는 1.04 ± 0.33 으로 역시 정상으로 감소함을 관찰하였다(표 3).

각 환자군에서의 수술전 후의 좌/우심실 박출방사능비는 그림 4, 5, 6, 7에 도시하였다.

수술후 청진상 심잡음(murmur)이 있으면서 초음파음향도에서 aortic root dilatation이 있는 1예에서는 수술후의 좌/우심실 박출방사능비가 1.64로 증가되어 있었다.

IV. 고 안

판막폐쇄부전증에서 혈역류량의 측정은 심도자법에 서도 용이하지가 않다. 정확한 혈역류량 측정을 위해서는 biplane으로 방사선좌심실조영술에 의해 얻어진 좌심실 확장기말과 수축기말 용적에서 좌심실 박출용적을 구하고, 심박동수와 indicator dilution method로 얻은 심박출량의 측정에서 전방 박출용적을 구하여 야 한다²⁾. 그러나 이러한 방사선과적 측정은 시행에 많은 주의를 요하며 부정맥이 있거나 심박출량이 적은 경우에는 그 정확도가 떨어져 대부분의 심장검사실에서도 혈역류량의 정도를 가시적인 측정에 의해 1~4로 등급을 나누고 있다. 따라서 이 방법은 주관적이 되어 관측자가 다를 경우 관측자간에 오차가 생길 수 있다. 또 초음파음향도를 이용한 심박출량 측정이 보고되었고^{1,6,7)}, 좌심실에 ¹³³Xe를 연속적으로 주입하면서 대동맥과 좌심방, 말초동맥에서 채혈하여 승모판막 역류혈액량을 측정하는 방법⁸⁾이 보고되었으나 전자는 정량적 측정을 위해서 심실 모양에 대한 가정을 전제로 하고 있는 반면 후자는 너무 관혈적이어서 반복 검사하기는 어렵다는 단점이 있다. 또 Kirsh⁹⁾등은 폐동맥에 ^{99m}Tc-pertechnetate를 주사하여 전방 박출분을 구함으로써 혈역류량을 계산하였고, Wastson¹⁰⁾등은 oxygen-15로 표시한 이산화탄소를 사용하여 총 박출제수 및 전방박출제수를 구함으로써 역류량을 계산하였으나 이들 역시 정확도는 높으나 방법이 어렵고, medical cyclotron을 사용해야 하는 문제점이 있다.

이 후에 개발된 것이 gated cardiac blood pool scan을 이용하여 좌/우심실 박출방사능비를 구하는 방법이었던^{11,12)}. 이 방법에서 혈역류량은 좌·우심실

에서의 확장기말과 수축기말의 방사능치를 구하여 그 비율을 좌/우심실 박출방사능비(Stroke Volume Ratio; SVR)로 표시하였다. 또한 방사성동위원소 심혈관촬영술에 의한 좌/우심실 박출방사능비와 방사선 심혈관조영술을 이용하여 측정된 판막폐쇄부전증에서의 혈역류 정도는 유의한 상관관계가 있음이 보고 되었고^{13,14)}, Lam¹⁵⁾등은 방사성동위원소 심혈관촬영술을 이용한 좌/우심실 박출방사능비로 수술전 후의 혈역류량을 측정하여, 수술후 혈역류량의 감소가 있을 때 좌/우심실 박출방사능비도 감소한다고 보고하였다.

혈중 방사능치와 혈액 부피는 비례하므로 좌·우심실의 수축기말과 확장기말의 방사능치의 변화는 각 심실의 총박출량의 변화를 나타낸다¹¹⁾. 판막폐쇄부전이 없는 정상인에서는 좌심실과 우심실의 박출량이 같으므로 좌/우심실 박출방사능비는 1이 되나 좌심실 판막폐쇄부전증이 있어 혈역류가 있는 경우 우심실 박출량은 변화가 없으나 좌심실 박출량은 증가하여 그 비가 1보다 크게 증가하게 된다. 따라서 혈역류량이 많으면 그 비도 혈역류량에 비례하여 증가하게 되고 수술로써 판막폐쇄부전증이 교정되면 좌/우심실 박출방사능비는 정상수준으로 돌아오게 된다¹⁵⁾.

그러나 수술후 여러 원인에 의해 혈역류량의 증가가 있을 경우 좌/우심실 박출방사능비는 다시 증가하게 된다. 저자들의 성적에서도 수술전 좌/우심실 박출방사능비는 2.11 ± 0.58 이었으나 수술후에는 1.06 ± 0.26 으로 정상으로 될을 알 수 있었고 판막별 질환에 따른 차는 없었다. 수술후 심전도상 심근허혈증(myocardial ischemia)이 있고, 심벽 운동의 이상을 보이면서 최저상 심잡음이 들린 1예에서는 좌/우심실 박출방사능비가 2.72이었고, 청진상 심잡음이 들리고 초음파음향도에서 대동맥 기시부에 확장이 있는 1예에서는 수술후 좌/우심실 박출방사능비가 1.64로 증가되어 있어 수술후의 교정여부를 쉽게 알 수 있었다.

Ronald¹⁶⁾등은 gated cardiac blood pool scan을 이용하여 대동맥판막폐쇄부전이 있는 개에게 시행한 동물실험에서 방사성동위원소 심혈관촬영술로 측정된 좌/우심실 박출방사능비와 aortic flow probe로 측정된 혈역류물은 서로 유의한 상관관계가 있다고 보고하였고, Taylor¹⁴⁾등은 cineventriculography로 측정된 혈역류량 정도와 gated cardiac blood pool scan을 이용하여 측정된 좌/우심실 박출방사능비가 mitral prolapse나 심실기의 수축이 없고 좌심실 박출제수(Left ventricular ejection fraction)가 30%이상일 경우¹⁸⁾ 유의한 상관관계가 있다고 보고하였고 저자의 결

과도 이에 일치하였다^{17,18)}.

또 NYHA 분류에 따른 심장기능 정도와 좌/우심실 박출방사능비도 그 등급에 따라 유의한 차가 있음도 알 수 있었다.

좌/우심실 박출방사능비는 판막폐쇄부전증에 의한 혈액류량 측정뿐 아니라 좌·우심실 사이에서의 과부하용적(volume overload)이 있을 때는 모두 사용할 수 있어 심장의 단락(shunt), anomalous pulmonary venous return 등에서도 이용될 수 있다.

그러나 gated cardiac blood pool scan을 이용한 좌/우심실 박출방사능비에는 몇가지 제약이 있다. 그 중에서 가장 큰 제약점은 수축기말과 확장기말 화면에서 좌·우심실의 정확한 분별이 힘들다는 점이다. 좌전사위 30~45°에서는 다른 위치보다는 좌·우심실의 분리가 비교적 잘 되나¹⁹⁾, 심방과 심실의 분리가 용이하지 않으며 특히 우심방의 일부는 수축기말 화면에서 우심실에 겹치게 된다. 대동맥과 폐동맥 일부도 우심실에 겹치게 되므로 우심실의 박출방사능은 증가하게 되고 따라서 좌/우심실 박출방사능비는 감소하게 된다²⁰⁾.

이러한 오차를 줄이기 위해 subtraction method나 slant hole collimator를 사용하면서 caudal angulation을 시키는 방법^{20~22)} 등이 보고되었으나 완벽하게 이 요인을 제거할 수는 없다. 이에 따라 정상대조군에서도 좌/우심실 박출방사능비가 1.0이상으로 나타나는 경우도 있어 이럴때 경한 정도의 판막폐쇄부전과는 구분이 어렵게 된다. 특히 좌심실 박출계수가 30%이하일 때와 심벽운동결손이 심할 때는 좌/우심실 박출방사능비의 정확도가 떨어지게 되며 방사선심혈관조영술에 의한 등급과의 상관관계도 잃게 된다. 이는 좌심실 박출계수가 30%이하로 감소할 경우 대부분의 경우에 폐동맥압의 증가와 함께 우심실로의 혈액류가 같이 있게 되어 좌/우심실 박출방사능비는 실제보다 낮게 나타나게 되는 반면 방사선심혈관조영술에서는 조영제의 역류가 쉽게 일어나 그 정도가 더욱 심하게 보이기 때문이다.

또 좌·우심실의 분리가 측정자에 따라 달라질 수 있어 측정자간의 결과가 다르게 나타날 수 있으나 Taylor 등은 측정자간의 오차는 무시할 수 있다고 보고하였다¹⁴⁾.

또 승모판과 대동맥에 판막폐쇄부전증이 같이 있을 경우 각각의 판막에 대한 혈액류량의 측정은 불가능하고, 우심실 판막폐쇄부전증이 같이 있을 경우 혈액류량의 차이만 알 수 있게 된다. 그러나 실제로 우심실 판막폐쇄부전증이 많지않고, 있더라도 임상적으로 쉽게 진단할 수 있어 이런 경우 큰 문제가 되지 않는다.

gated cardiac blood pool scan을 이용한 좌/우심

실박출방사능비는 좌심실 판막폐쇄부전증 환자에서 수술전 혈액류량의 측정뿐 아니라 수술후 그 경과를 추적 검사할 수 있는 비관혈적이며 정확한 방법으로 생각되며 soft ware system의 개발로 수축기말과 확장기말 화면에서 좌·우심실의 관심영역을 자동으로 구할 수 있게 되면 측정자간의 오차를 줄이고 그 정확도를 더욱 높일 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

좌심실 판막폐쇄부전증 환자에서 gated cardiac blood pool scan을 이용하여 좌심실 혈액류량 측정 및 수술경과를 추적 검사하고 그 진단적 가치 및 임상적 의의를 관찰하기 위하여 수술전·후의 좌/우심실 박출방사능비를 측정하여 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. 28예의 판막폐쇄부전증 환자에서의 좌/우심실 박출방사능비는 2.11 ± 0.58 로, 25예의 정상대조군에서의 1.15 ± 0.31 보다 유의하게 증가되어 있었다.

2. New York Heart Association 분류에 따른 심장기능의 저하가 심할수록 좌/우심실 박출방사능비도 증가하여 class I, II군(2.08 ± 0.26)과 class III, IV군(2.55 ± 0.38)사이에는 유의한 차이가 있었고, 방사선심혈관조영술에 의한 혈액류량의 정도가 심할수록 좌/우심실 박출방사능비도 증가하여 Grade I, II군(2.02 ± 0.29)과 Grade III, IV군(2.55 ± 0.34)사이에는 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$).

3. 수술로 판막폐쇄부전이 교정된 상태에서는 좌/우심실 박출방사능비가 1.06 ± 0.26 으로 정상대조군과 유의한 차이가 없었다($p < 0.01$).

이상의 결과에서 gated cardiac blood pool scan을 이용한 좌/우심실 박출방사능비는 좌심실 판막폐쇄부전증 환자에서 수술전 혈액류량의 측정, 수술후 경과 및 추적검사에 임상적으로 유용하고, 간단하며 비관혈적인 방법임을 알 수 있었다.

REFERENCES

- 1) Johnson, S.L., Barker, D.W., Lute, R.A. and Murray, J.A.: *Detection of mitral regurgitation by Doppler echocardiography. Am. J. Cardiol., 33:146, 1974.*
- 2) Sandler, H., Dodge, H.T., Hay, R.E. and Rackley, C.E.: *Quantitation of valvular insufficiency in man by angiocardiology. Am. Heart. J.,*

- 65:501, 1963.
- 7) Alan, S.P., Stevenson, J.G. and Baker, D.W.: *Doppler echocardiography-application, limitations and future directions. Am. J. Cardiol., 46:1256, 18, 1980.*
 - 8) Morch, J.E., Klein, S.W. and Richardson, P.: *Mitral regurgitation measured by continuous infusion of ²³³Xenon. Am. J. Cardiol., 29: 812, 1972.*
 - 3) 정준기, 박선양, 유박영, 조보연, 김병국, 고창순 : 각종 심질환에서 방사성동위원소심혈관촬영술에 관한 연구. 대한핵의학회잡지 13:7, 1979.
 - 4) 정준기, 이정균, 김광원, 이명철, 조보연, 이영우, 고창순 : ECG gated cardiac blood pool scan에서 좌심실기능분석에 관한 연구. 대한핵의학회잡지, 14:28, 1980.
 - 5) Rigo, P., Alderson, P.O., Robertson, R.M., Becker, L.C. and Wagner, H.N.: *Measurement of aortic and mitral regurgitation by gated cardiac blood pool scan. Circulation, 60:306, 1979.*
 - 6) John, R.D., Ronald, J.M., Paul, F.W. and Robert, C.S.: *Transcutaneous method of measuring Doppler cardiac output. Am. J. Cardiol., 46:607, Oct., 1980.*
 - 7) Alan, S.P., Stevenson, J.G. and Baker, D.W.: *Doppler echocardiography-application, limitations and future directions. Am. J. Cardiol., 46:1256, 18, 1980.*
 - 8) Morch, J.E., Klein, S.W. and Richardson, P.: *Mitral regurgitation measured by continuous infusion of ¹³³Xenon. Am. J. Cardiol., 29:812, 1972.*
 - 9) Kirch D.L., Metz, C.E. and Steele, P.P.: *Quantitation of valvular insufficiency by computerized radionuclide angiography. Am. J. Cardiol., 34:711, 1974.*
 - 10) Watson, D.D., Kenny, P.J. and Gelband, H.: *A noninvasive technique for the study of cardiac hemodynamics utilizing C¹⁸O₂ inhalation. Radiology, 119:615, 1976.*
 - 11) Gandsman, E.J., North, D.L., Schulman, R.S. and Bough, E.W.: *Measurement of ventricular stroke volume by gated radionuclide angiography. Radiology, 138:161, 1981.*
 - 12) Burow, R.D., Strauss, H.W., Singleton, T., Pond, M., Rehn, T., Bailey, L.K., Griffith, L.C., Nickoloff, E. and Pitt, B.: *Analysis of left ventricular function from multiple gated acquisition cardiac blood pool imaging. Circulation, 56:1024, 1977.*
 - 13) Lam, W., Best, D., Pavel, D., Byron, E. and Rosen, K.: *Radionuclide regurgitant index-value and limitation. Am. J. Cardiol., 47:292, 1981.*
 - 14) Taylor, D.N., Harris, D.N., Candon, B., Ogilvie, B., Ackery, D.M., Fleming, J. and Goddard, B.A.: *Radionuclide evaluation of urgitation. British J. Radiology, 55:204, 1982.*
 - 15) Urquhart, J., Patterson, R., Packer, M., Goldsmith, S., Horowitz, S., Litroak, R. and Gorlin, R.: *Quantification of valve regurgitation by radionuclide angiography before and after valve replacement surgery. Am. J. Cardiol., 47:287, 1981.*
 - 16) Ronald, H., Boxter, R.H., Becker, L.C., Alderson, P.O., Rigo, P., Wagner, H.N. and Weisfeldt, M.C.: *Quantification of aortic valvular regurgitation in dogs by nuclear imaging. Circulation, 61:404, 1980.*
 - 17) Bough, E.W., Gandsman, E.J., North, D.L. and Shulman, R.S.: *Gated radionuclide angiographic evaluation of valve regurgitation. Am. J. Cardiol., 46:423, 1980.*
 - 18) Sorensen, S. and O'Rourke, R.: *Quantitation of valvular regurgitation by gated equilibrium radionuclide angiography. Circulation, 60(Suppl. II): II-242, Oct., 1979.*
 - 19) Secker-Walker, R.H., Resnick, L., Kunz, H., Parker, J.A., Hill, R.L. and Potchen. E.J.: *Measurement of left ventricular ejection fraction. J. Nucl. Med., 14:798, 1973.*
 - 20) Gandsman, E., Bough, E., North, D. and Shulman, R.: *The ventricular stroke volume ratio; requirements for accurate quantitation(abstr.). Circulation, 60(Suppl. II): II-62, 1979.*
 - 21) Parker, J.A., Urne, K.F., Jones, A.G., Maddoy, D.E., Zimmerman, R.E., Neill, J.M. and Holman, B.L.: *Radionuclide ventriculography with the slant-hole collimator. J. Nucl. Med., 18:848, 1977.*
 - 22) Bough, E., Gandsman, E. and North, D.: *Quantitation of valvular regurgitation by gated radionuclide angiography(abstr.). Clin. Res., 27:560A, 1979.*