

# 심장풀스캔에서 방사능 계측법에 의한 좌심실 용적의 측정

—조직 감쇄의 보정에 의한 연구—

서울대학교 의과대학 내과학교실

범희승 · 정준기 · 이명철 · 조보연 · 고창순

전남대학교 의과대학 핵의학실

김 지 열

= Abstract =

## Left Ventricular Volume Measurement by Count Method with Attenuation Correction in Gated Blood Pool scan

Hee-Seung Bom, M.D., June-Key Chung, M.D., Myung Chul Lee, M.D.

Bo Youn Cho, M.D. and Chang-Soon Koh, M.D.

Department of Internal Medicine, College of Medicine, Seoul National University

Ji Yeul Kim, Ph.D.

Department of Nuclear Medicine, Chonnam University Medical School

Attenuated end-diastolic and end-systolic left ventricular counts which obtained from cardiac gated blood pool scan were corrected using experimentally calculated attenuation coefficient ( $\mu=0.13/\text{cm}$ ) and depth of center of left ventricle. This method was confirmed to be correct experimentally using phantom balloon.

To compare the accuracy of attenuated and attenuation-corrected left ventricular volume measurement, authors studied 10 patients with ischemic heart disease who underwent both gated blood pool scan and X-ray contrast ventriculography within a week. The attenuated and attenuation-corrected left ventricular volume measured by count method correlated with contrast ventriculographic volumes; however, attenuation corrected measurement was correlated more closely.

### 서 론

심장풀스캔은 생리적인 상태에서 좌심실의 기능을 살펴볼 수 있기 때문에 비관혈적인 진단방법으로 그 가치가 인정되고 있으나<sup>1)</sup> 좌심실용적을 정확하게 측정할 수 있다면 심박출량, 압력—용적곡선 등 기능적인 진단의 범위가 더욱 넓어질 수 있을 것이다.

좌심실용적의 측정에 있어 기하학적 방법보다 계수법이 선호되고 있으며<sup>2)</sup> 최근 조직감쇄를 보정함으로써 더욱 정확한 측정이 가능하다고 보고되고 있으나<sup>3)</sup> 저자마다 조직감쇄계수 및 좌심실 중심에서 체표면까지의 거리를 계산하는 방법에 이견이 많은 실정이다<sup>4)</sup>. 저자들은 체외실험을 통하여 조직감쇄계수를 결정하고 환자 각각에서 삼각함수법을 이용하여 좌심실중심으로 깊이를 구함으로써 좌심실용적을 계산하였으며, 이를 감쇄보정을 하지 않고 계산한 좌심실용적 및 심조영술로 얻은 좌심실용적과 비교하여 보았다.

이 논문은 1987년도 서울대학교병원 임상연구비의 보조로 이루어진 것임.

## 대상 및 방법

### 1. 체외실험

#### 1) 조직감쇄계수( $\mu$ )의 결정

다목적 평행 collimator를 부착한 Ohio Nuclear Sigma 420카메라를 수직으로 세우고  $20 \times 30 \times 15$  cm크기의 합성수지 용기를 collimator에 밀착시킨 후 물을 채웠다(Fig. 1). 심장풀스캔을 시행한 20명의 환자에서 5 ml의 혈액을 채취하여 ACD용액을 함유한 시험관에 담고 밀봉한 후 이를 카메라로부터 4 cm에서 20 cm까지 4 cm간격으로 각각 30초씩 촬영하고 이를 카메라에 연결된 DEC사의 PDP 11/34컴퓨터에 수록하였다. 촬영이 끝난 후 각각의 화면에서 automatic edge detection program에 의해 시험관의 관심구역을 설정하고 background를 보정한 계수치를 얻었다. 각각의 계수치를  $\ln \frac{C_d}{C_0} = -\mu d$ 식에 의해 회귀분석하여 감쇄계수( $\mu$ )를 구하였다(Cd: 거리 d에서의 계수치, Co: 거리 0에서의 계수치).

#### 2) 풍선 phantom을 이용한 실험 계측치와 실측치의 비교

전술한 방법대로 카메라 앞에 물을 채운 용기를 위치시키고 카메라로부터 7 cm 거리에 풍선을 위치시킨 후  $3.0 \mu\text{Ci/ml}$ ,  $3.5 \mu\text{Ci/ml}$ ,  $4.0 \mu\text{Ci/ml}$ ,  $4.5 \mu\text{Ci/ml}$ ,  $5.0 \mu\text{Ci/ml}$ 의  $^{99m}\text{TcO}_4$ 를 주입하면서 촬영하였다. 25 ml 간격으로 400 ml까지 주입하면서 각각 60초씩 촬영한 후 풍선에서 5 ml의  $^{99m}\text{TcO}_4$  용액을 빼내어 역시 60초간

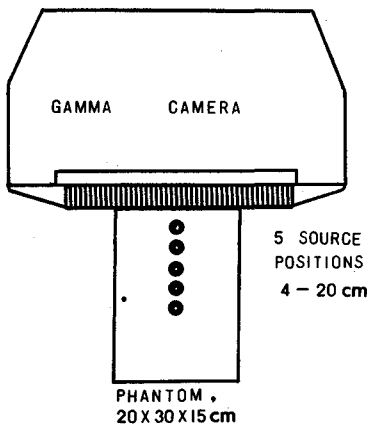


Fig. 1. Phantom configuration used for measurement of attenuation coefficient.

촬영하였고 이 데이터를 카메라에 연결된 PDP 11/34 컴퓨터에 수록하였다. 각각의 화면에서 풍선 및 시험관의 관심구역은 automatic edge detection program에 의해 설정하였으며 background를 교정한 계수치를 얻어 다음 식에 의해 용적을 계산하였다.

$$\text{Volume} = \frac{\text{Balloon count rate}}{\text{Sample count rate} \times e^{-\mu d}}$$

이렇게 얻은 용적을 실제용적과 비교하였으며 5가지 농도의  $^{99m}\text{TcO}_4$  용액으로 실험한 값들이 서로 일치하는지는 계산된 용적의 증가분을 F-test에 의해 검정하였다.

### 2. 체내실험

#### 1) 대 상

심장풀스캔 및 좌심실조영술을 1주일 이내에 시행한 허혈성 심질환자 10예를 대상으로 하였다. 10예 중 single vessel disease가 7예, two vessel disease가 2예, 그리고 three vessel disease가 1예였다.

#### 2) 좌심실조영술에서 용적의 측정

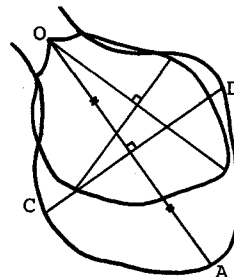
RAO  $30^\circ$ 로 얻은 좌심실조영상에서 확장기말 및 수축기말의 좌심실용적을 Fig. 2에서와 같이 구하였다.

#### 3) 심장풀스캔에서 좌심실용적의 측정

ON 420 카메라를 LAO  $45^\circ$ 로 위치시키고 심박동 400 cycle동안 영상을 얻었다. 촬영이 끝난 후 환자로부터 5 ml의 혈액을 채취하여 ACD용액으로 처리한 시험관에 담아 60초동안 촬영하였다. 이 데이터는 카메라에 연결된 PDP 11/34컴퓨터에 수록한 후 분석하였는데 체외실험에서와 동일한 방법으로 좌심실 및 시험관의 계수치를 얻었으며 이들은 시간에 따라 보정하였다.

체표면에서 좌심실 중심까지의 거리는 Fig. 3에 도시한 방법대로 구하였다.

좌심실용적의 측정은 이상의 데이터를 가지고 다음 공



$$K = 0.848$$

$$L = OA$$

$$D = CD$$

f = magnification coefficient

$$V = \frac{\pi}{6} \times D^2 \times L \times \frac{1}{f^3} \times K$$

Fig. 2. Measurement of left ventricular volume in a RAO  $30^\circ$  image of X-ray contrast ventriculography.

식에 의해 계산하였다.

$$LV \text{ volume} = \frac{LV \text{ count rate}}{\text{Sample count rate} \times e^{-\mu d}} \dots\dots (1)$$

$$LV \text{ volume} = \frac{LV \text{ count rate}}{\text{Sample count rate}} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 (1)식은 조직감쇄를 보정한 계산식이고 (2)식은 조직감쇄를 무시한 계산식이다.

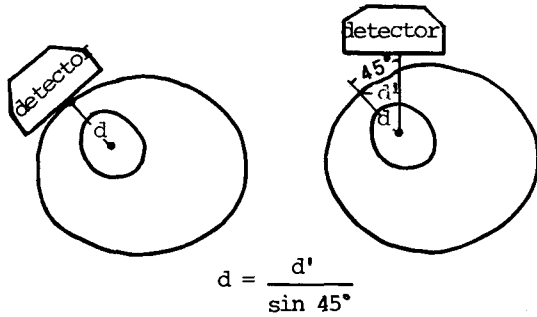


Fig. 3. Schematic demonstration of used method of measurement of depth of left ventricular center.

결 과

1. 체외실험

20회의 실험에서 계산된 감쇄계수( $\mu$ )는  $0.13 \pm 0.01 \text{ cm}^{-1}$ 이었고,  $d=7 \text{ cm}$ 으로 정하고 계수법으로 측정된 용적 및 실제용적사이에는  $r=0.99$ 의 상관관계가 있었으며 ( $p<0.01$ ),  $^{99m}\text{TcO}_4$  용액의 방사능을 바꾸어 측정한 5회의 측정치간에 유의한 차이는 없었다( $p>0.1$ ) (Table 1).

2. 체내실험

10명의 환자에서 좌심실중심의 깊이는  $6.3 \pm 0.6 \text{ cm}$ 이었으며  $5.1 \text{ cm}$ 부터  $7.2 \text{ cm}$ 사이의 분포를 보이고 있었다.

조직감쇄를 보정하여 구한 좌심실용적과 좌심실조영술에서 얻은 좌심실용적과는  $r=0.86$ ,  $\text{SEE}=39 \text{ ml}$ 의 상관관계를 보였으며, 조직감쇄를 무시하고 구한 좌심실용적과 좌심실조영술에서 얻은 좌심실용적과는  $r=0.89$ ,

Table 1. Correlation between the True Volume and the Calculated Volume by Count Method Experimentally using Balloon-phantom

| True volume (ml) | Calculated volume (ml) |            |            |            |             |
|------------------|------------------------|------------|------------|------------|-------------|
|                  | 3.0 uCi/ml             | 3.5 uCi/ml | 4.0 uCi/ml | 4.5 uCi/ml | 5.0 uCi/ml* |
| 25               | 24                     | 25.5       | 24.7       | 23.8       | 25.8        |
| 50               | 45.5                   | 50         | 50.5       | 49.2       | 51.2        |
| 75               | 73                     | 75.5       | 74.5       | 73.7       | 76.8        |
| 100              | 99                     | 99         | 99.2       | 97.2       | 101.2       |
| 125              | 124.5                  | 126        | 125.5      | 122        | 125.8       |
| 150              | 150.8                  | 150        | 149.7      | 147.5      | 150.2       |
| 175              | 173.2                  | 174        | 175        | 171.3      | 174.8       |
| 200              | 198.8                  | 199        | 198.2      | 196        | 199.5       |
| 225              | 219.2                  | 223        | 224        | 221.3      | 224         |
| 250              | 245.5                  | 247        | 246.7      | 241.8      | 244         |
| 275              | 271.2                  | 273        | 274        | 270.5      | 273.2       |
| 300              | 295.8                  | 295        | 296.2      | 295.2      | 297         |
| 325              | 321                    | 320        | 322        | 320.8      | 321.2       |
| 350              | 341.2                  | 345        | 344.5      | 341        | 346.8       |
| 375              | 370                    | 369        | 371.2      | 368.8      | 369.8       |
| 400              | 390                    | 392        | 391.7      | 391.8      | 394         |
| R **             | 0.99                   | 0.99       | 0.99       | 0.99       | 0.99        |

\* Activities of  $^{99m}\text{TcO}_4$  in the solution used in the experiment

\*\* R = Correlation coefficient

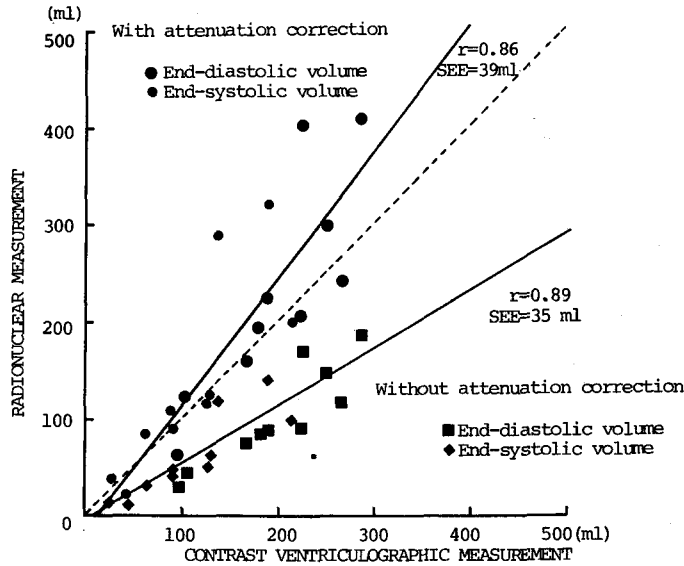


Fig. 4. Correlation between left ventricular volumes measured by contrast ventriculography and radionuclear gated blood pool scan with or without attenuation correction.

SEE=36 ml의 상관관계를 보였는데 좌심실조영술에 비해 조직감쇄 보정을 한 경우는 좀더 높게 그리고 조직감쇄보정을 하지 않은 경우는 더 낮게 계산되는 양상을 보였지만 조직감쇄를 한 경우가 좌심실조영술로 구한 용적과 더 일치하고 있었다(Fig. 4).

## 고 안

최근 심장플스캐너를 이용하여 비관혈적으로 좌심실용적을 구하고자 하는 노력이 계속되어 그 방법의 개선이 이루어지고 있다<sup>2-6)</sup>. 좌심실용적을 계산하는데 면적을 이용한 방법은 핵영상에 가지는 저해상력이라는 기본적인 단점이 있어 계수법보다 못함은 Massie 등<sup>2)</sup>에 의해 보고되었고, 계수법에 있어서도 조직감쇄를 보정하였을 때 더욱 정확한 용적을 구할 수 있음이 Starling 등<sup>3)</sup>에 의해 보고되었는 바 본 연구에서도 이 점을 확인되었다 할 수 있다.

조직감쇄계수는 Links 등<sup>7)</sup>이 이론적인 감쇄계수  $0.15 \text{ cm}^{-1}$ , Keller 등은  $0.12 \text{ cm}^{-1}$ 를 제시하고 있어 차이는 보인다. 그렇지만 실험적으로 감쇄계수를 결정하는데는 실험실마다 조건이 다를 것이므로 각 실험실마다의 값을 정해야 할 것이다. 본 연구에서는 환자의 혈액을 채취하

여 ACD용액으로 처리한 전혈로 감쇄계수를 결정하였는 바  $0.13 \text{ cm}^{-1}$ 이었다.

한편 조직감쇄는 조직감쇄계수 뿐 아니라 좌심실의 깊이도 큰 영향을 미치므로 그 거리를 측정하는 방법도 문제가 되나 이는 Fig. 2에 표시한 대로 쉽게 측정이 가능하다. 본 연구의 대상환자 10명에서 2명의 관측자가 각각 거리는 측정하였으나 그 차이는  $0.4 \text{ cm}$ 이하였으므로 비록 독립적으로 그 정확성을 검증한 것은 아니지만 거리의 측정은 재현성이 있다고 판단된다.

좌심실조영술에서 용적을 측정할 때는 biplane으로 촬영을 해야 정확한 값을 얻을 수 있으나 Sandler 등<sup>8)</sup>은 single plane에서도 비교적 정확한 값을 얻을 수 있다고 하였다. 본 연구의 대상환자는 모두 RAO 30°상만을 얻었으므로 single plane의 화상만으로 용적을 구하였다.

본 연구에서 심장플스캐너와 좌심실조영술로 얻은 좌심실용적은 대체로 잘 일치하고 있으나 2명의 환자에서 훨씬 큰 값을 보이고 있었다. 이 환자들은 심장플스캐너 당시 울혈성심부전증 상태에 있었으며 이로부터 5일, 7일 간의 약물요법 후 좌심실조영술 및 관상동맥조영술은 시행하였고 Ejection Fraction이 심장플스캐너 당시는 21.5%, 29.5%였으나 좌심실조영술 당시는 34.2%, 38.4%로 호전된 점으로 보아 그동안의 약물요법으로 심부전이

호전되어 좌심실용적이 감소되었던 것으로 사료된다.

이상의 결과로 보아 심장풀스캔을 하면서 조직감쇄를 보정한 계수법에 의해 좌심실용적을 정확히 구할 수 있으므로 이를 이용한 좌심실 기능의 평가에 도움이 될 수 있으리라 기대된다.

### 결 론

심장풀스캔을 이용하여 좌심실용적을 구함에 있어 조직감쇄를 보정하기 위하여 실험적으로 감쇄계수를 구하고 삼각함수법에 의하여 체표면에서 좌심실중심까지의 거리를 구하여 체외계측법으로 좌심실용적을 계산하였다.

실험적으로 구한 감쇄계수는  $0.13 \pm 0.01 \text{ cm}^{-1}$  이었고 이를 이용해서 풍선 phantom의 용적을 계측법으로 산출한 결과 실제용적과  $r=0.99$ 의 좋은 상관관계를 보였다.

조직감쇄보정의 의의를 알아보기 위해 10명의 허혈성 심질환자에서 심장풀스캔을 이용하여 좌심실용적을 구하였다. 이들의 좌심실중심의 깊이는  $6.3 \pm 0.6 \text{ cm}$  이었으며 좌심실조영술에서 얻은 좌심실용적과는 감쇄보정을 한 경우  $r=0.86$ ,  $\text{SEE}=39 \text{ ml}$ , 감쇄보정을 하지 않은 경우  $r=0.89$ ,  $\text{SEE}=36 \text{ ml}$ 의 상관관계를 보였으나 감쇄보정을 한 경우 좌심실 조영술에 더욱 근사한 값을 얻을 수 있었다.

### REFERENCES

1) Schad N: *Nontraumatic assessment of left ventri-*

*cular wall motion and regional stroke volume after myocardial infarction. J Nucl Med 18:33, 1979*

2) Massie BM, Kramer BL, Gertz EW, et al: *Radionuclide measurement of left ventricular volume: Comparison of geometric and count-based methods. Circulation 65:725, 1982*

3) Starling MR, Dell' Italia LF, Nusynowitz ML, et al: *Estimates of left-ventricular volumes by equilibrium radionuclide angiography: Importance of attenuation correction. J Nucl Med 25:14, 1984*

4) Fearnow III EC, Stanfield JA, Jaszczak RJ, et al: *Factors affecting ventricular volumes determined by a count-based equilibrium method. J Nucl Med 26: 1,042, 1985*

5) Nickel O, Schad N, Andrews Jr EJ, et al: *Scintigraphic measurement of left ventricular volumes from the count-density distribution. J Nucl Med 23:404, 1982*

6) Keller AM, Simon TR, Smitherman TC, et al: *Direct determination of the attenuation coefficient for radionuclide volume measurements. J Nucl Med 28:102, 1987*

7) Links JM, Becker LC, Shindledecker JG, et al: *Measurement of absolute ventricular volume from gated blood pool studies. Circulation 65:82, 1982*

8) Schneider RM, Jaszczak RJ, Coleman RE, et al: *Disproportionate effects of regional hypokinesis on radionuclide ejection fraction: Compensation using attenuation-corrected ventricular volumes. J Nucl Med 25:747, 1984*

9) Sandler H, Dodge H: *The use of single plane angiocardiograms for the calculation of left ventricular volume in man. Am Heart J 75:325, 1968*