

## 게이트 심근 SPECT를 이용한 좌심실의 국소탄성률 평가방법 개발 및 재현성 평가

인제대학교 정보컴퓨터공학부<sup>1</sup>, 서울대학교의과대학 핵의학고실<sup>2</sup>  
이병일<sup>1,2</sup>, 이동수<sup>2</sup>, 이재성<sup>2</sup>, 강원준<sup>2</sup>, 정준기<sup>2</sup>, 이명철<sup>2</sup>, 최흥국<sup>1</sup>

### Development of Evaluation Method of Regional Contractility of Left Ventricle Using Gated Myocardial SPECT and Assessment of Reproducibility

Byeong Il Lee<sup>1,2</sup>, Dong Soo Lee<sup>2</sup>, Jae Sung Lee<sup>2</sup>, Won Jun Knag<sup>2</sup>, June-Key Chung<sup>2</sup>, Myung Chul Lee<sup>2</sup>, Heung Kook Choi<sup>1</sup>

*Department of Information & Computer Engineering, Inje University, Kimhae, Korea<sup>1</sup>*

*Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea<sup>2</sup>*

#### Abstract

**Purpose:** Regional contractility can be calculated using the regional volume change of left ventricle measured by gated myocardial SPECT image and curve of central artery pressure obtained from radial artery pressure data. In this study, a program to obtain the regional contractility was developed, and reproducibility of regional contractility measurement was assessed. **Materials and Methods:** Seven patients (male:female=5:2, 58±11.9 years) with coronary artery diseases underwent gated Tc-99m MIBI myocardial SPECT twice without delay between two scans. Regional volume change of left ventricle was estimated using CSA (Cardiac SPECT Analyzer) software developed in this study. Regional contractility was iteratively estimated from the time-elastance curve obtained using the time-pressure curve and regional time-volume curve. Reproducibility of regional contractility measurement assessed by comparing the contractility values measured twice from the same SPECT data and by comparing those measured from the pair of SPECT data obtained from a same patient. **Results:** Measured regional contractility was  $3.36 \pm 3.38$  mmHg/mL using 15-segment model,  $3.16 \pm 2.25$  mmHg/mL using 7-segment model, and  $3.11 \pm 2.57$  mmHg/mL using 5-segment model. The harmonic average of regional contractility value was almost identical to the global contractility. Correlation coefficient of regional contractility values measured twice from the same data was greater than 0.97 for all models, and two standard deviations of contractility difference on Bland Altman plot were 1.5%, 1.0%, and 0.9% for 15-, 7-, and 5-segment models, respectively. Correlation coefficient of regional contractility values measured from the pair of SPECT data obtained from a same patient was greater than 0.95 for all models, and two standard deviations on Bland Altman plot were 2.2%, 1.0%, and 1.2%. **Conclusion:** Regional contractility of left ventricle measured using developed software in this study was reproducible. Regional contractility of left ventricle will be a new useful index for myocardial function after analysis of the clinical data.

**Key words:** gated myocardial SPECT, contractility, regional Emax

Received October. 27, 2003; accepted December. 4, 2003

Corresponding author: Dong Soo Lee, M.D.

28 Yungun-dong Chongno-gu Seoul 110-744 Korea

Tel: 82-2-760-2501 Fax: 82-2-766-9083 E-mail: dsl@plaza.snu.ac.kr

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine

이 논문은 과학기술부 원자력기초연구 지원으로 이루어진 연구 결과임

## 서 론

좌심실의 기능을 평가하기 위한 게이트 심근 관류 SPECT는 심근 관류와 함께 좌심실의 부피변화와 움직임변화에 대한 정보를 제공하고, 이를 이용하여 심장 기능 평가를 위한 지표를 계산할 수 있다. 확장기말 부피와 수축기말 부피의 차이를 이용한 구혈률이 대표적으로 사용되고 있으며,<sup>1-3)</sup> 수축기 기능 평가를 위해 탄성률을 이용하는 방법에 대한 평가가 Lee 등에 의해 수행되었다.<sup>4)</sup> Senzaki 등은 시간-탄성률 곡선을 정규화 하여 침습적으로 심근의 압력-부피 변화를 이용한 최대탄성률을 추정하는 방법을 제안하였다.<sup>5)</sup> Lee 등은 SPECT를 이용하여 비침습적으로 얻어지는 좌심실의 부피변화와 요골동맥 긴장도를 측정하여 얻은 중심동맥의 압력 곡선으로부터 최대탄성률을 얻을 수 있음을 보였다.<sup>6)</sup> Kim 등은 심실 수축력 측정방법의 재현성을 평가하였는데,<sup>7)</sup> Senzaki 등이 제안한 심근의 압력-부피 고리(pressure-volume loop: PVL)을 이용하여 최대탄성률( $E_{max}$ : maximum elastance) 추정 방법이 Yoshizawa 등<sup>10)</sup>이 제안한 매개변수최적화 방법(parameter optimization method)보다 재현성이 우수하다고 보고하였으며, 비침습적으로 최대탄성률을 측정할 때 더 안정적인 결과를 산출함을 보였다.

좌심실의 수축력을 보기 위한 최대탄성률은 좌심실 심근 전체의 탄성률을 보여주고 있으므로 관상동맥질환 같은 국소적으로 수축기능이 다른 경우에는 국소적인 부피변화를 측정하여 국소 최대탄성률을 조사할 필요가 있다. 게이트 심근 SPECT를 통하여 얻어지는 부피는 좌심실 전체의 부피이므로 국소적인 부피의 변화를 알아내기 위해서는 국소적 분할 영역에 대한 부피를 같은 게이트 심근 SPECT 데이터로부터 알아 내어야 한다.

본 연구에서는 좌심실의 부피변화를 게이트 심근 SPECT 데이터를 이용하여 비침습적으로 심장 분석 소프트웨어(Cardiac SPECT Analyzer - CSA)를 이용하여 얻었다. 원파일로부터 확장기말에서 수축기 말에 이르는 좌심실 전체의 부피 변화와 국소적 부피변화를 측정하고, 중심동맥의 압력 곡선을 얻은

후 단일 압력-부피 고리방법을 이용하여 좌심실 전체의 탄성률과 국소적 탄성률을 구하였다. 관상동맥 질환이 의심되어 게이트 심근 SPECT를 두 번 시행한 환자에 대해 국소적 탄성률을 구하여 재현성을 평가하였으며, 같은 데이터를 두 번 처리하였을 때의 소프트웨어적 재현성도 같이 평가하였다.

## 대상 및 방법

### 대 상

허혈성 심질환이 의심되는 환자 중 게이트 Tc-99m MIBI 심근 관류 SPECT(EPIC Vertex, ADAC Lab., USA)를 두 번 연속으로 시행한 환자 7명(남:여=5:2, 58±11.9세)을 대상으로 하였다.

ADAC사에서 지원하는 SPECT 영상 분석 소프트웨어인 QGS(Quantitative Gated SPECT)에서 측정된 대상 환자의 구혈률은 값이 29%에서 68%까지였고, 확장기말부피는 62 mL에서 250 mL까지, 수축기말 부피는 20 mL에서 176 mL로 분포하였다. 좌심실의 부피변화는 QGS에서 산출된 결과를 참조하였으며 국소적 부피변화를 측정하기 위해 개발한 CSA(Cardiac SPECT Analyzer)의 결과를 이용하여 좌심실의 부피변화를 측정 및 적용하였다.

### 영상획득과 재구성

저에너지 고해상도 조준기를 장착한 이중헤드 SPECT 카메라(Vertex EPIC, ADAC Labs., Milpitas, USA)를 사용하여 한 주기당 16단위영상으로 게이트 영상을 얻었다. 3도 간격의 멈춰 획득하는 방식으로 좌후사위에서 우전사위까지 64x64 매트릭스로 180도의 영상을 얻었다. 램프 여과기와 Butterworth 여과기를 사용하여 차수 5에 차단 주파수 0.33으로 여과 후 역투사 재구성하였다.

### 분할 모델

좌심실의 국소적 탄성률의 변화를 살펴보기 위한 분할모델은 15분할 모델, 7분할 모델, 5분할 모델로

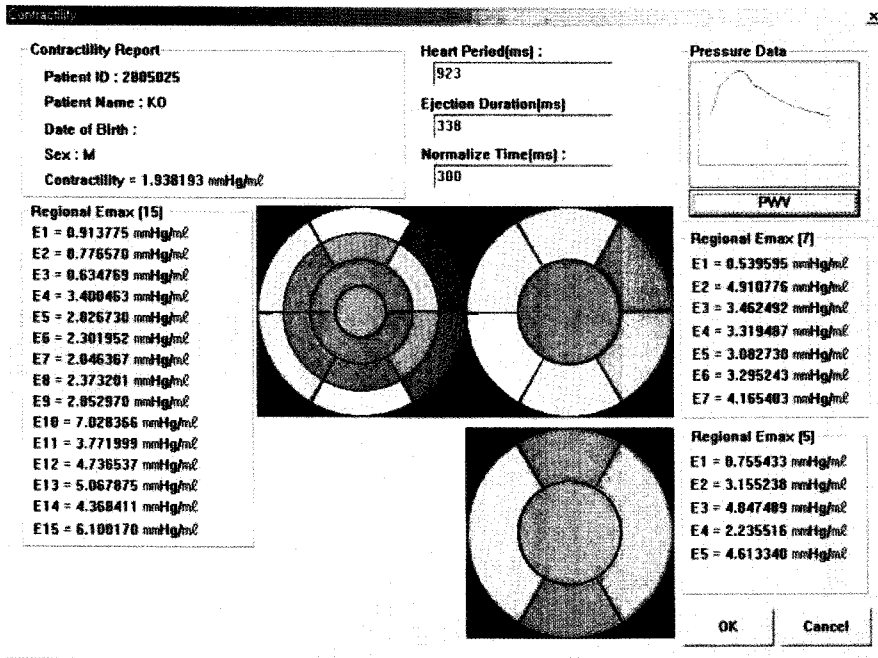


Fig 1. The 3 types of polar maps show the contractility of each region. The maximal elastance (Emax) value of each region was represented using 15-segment model, 7-segment model and 5-segment model.

만들었다. 15분할 모델은 좌심실 전체에 대한 극성 지도 형태의 모델로서, 현재 임상에서 많이 사용되고 있는 QGS의 20분할 모델의 단순화한 형태이다. 20분할 모델 중심의 첫 번째 원에서 두 부분을 하나로 합하고 중심으로부터 두 번째 위치한 원의 6등분을 위 아래의 두 부분으로 나누어서 더 단순한 형태의 15분할 모델을 만들었다. 7분할 모델은 상반부를 6등분하고 하반부를 하나로 묶어 만든 모델로, 이를 다시 줄인 5분할 모델과 같이 부분별 국소탄성률의 변화가 부피변화를 달리 했을 때 변화가 있는지를 좌심실의 국소부위별로 알아보기 위해 만든 모델이다(Fig 1).

### 중심동맥의 시간-압력 데이터 측정

게이트 심근 SPECT를 두 번 시행한 환자들에 대해 중심 동맥압 측정기(SphygmoCor, PWV Medical, Australia)를 이용하여 요골동맥에서 시간-압력 곡선을 얻은 후 중심동맥의 압력을 추정하였다. 중심동

맥의 압력과 좌심실의 압력 사이에는 차이가 없다고 가정 하였다(Fig 2).

### 좌심실의 시간-부피 데이터 측정

QGS 소프트웨어에서는 확장기말 부피와 수축기말 부피를 얻을 수 있으나, 국소 부피변화는 얻을 수 없으므로 CSA 소프트웨어를 통하여 15 분할 모델, 7 분할 모델, 5분할 모델에서 국소별 부피변화를 추적해 시간-부피곡선을 얻었다. QGS에서 측정된 구혈률은  $51.4 \pm 15.2$  %이고 확장기말 부피는  $140.9 \pm 58.3$  mL이며, 수축기말 부피는  $76.0 \pm 52.6$  mL였다. CSA를 통하여 측정된 구혈률은  $47.2 \pm 15.0$  %이고 확장기말 부피는  $136.4 \pm 54.5$  mL이며, 수축기말 부피는  $79.3 \pm 51.5$  mL였다. 두 소프트웨어간의 부피변화에 대한 상관성은 이전 연구에서 0.9이상으로 나왔으며, 구혈률에 대해 Bland Altman 도표 분석한 결과, 차이의 2 표준편차가 10.6%였다.<sup>11)</sup>

**최대탄성률 계산**

좌심실의 부피곡선이 감소하기 시작하는 점과 압력곡선에서 압력이 증가하기 시작하는 점을 일치시키고 부피곡선의 수축기말까지의 시간을 일치시켰다. 비침습적으로 얻은 시간-압력곡선과 시간-부피곡선을 이용하여 초기 영점부피를 0으로 한 다음 식(1)을 이용하여 시간-탄성률곡선을 얻었다.

$$E(t) = \frac{p(t)}{V(t) - V_0} \quad (1)$$

단, E: 탄성률, P: 압력, V: 부피

시간-탄성률 곡선  $E(t)$ 는 시간-압력 곡선인  $P(t)$ 와 시간-부피 곡선인  $V(t)$ 을 이용하여 최대탄성률에서의 시간( $t_{max}$ )으로 정규화 한 후 최대탄성률( $E_{max}$ )로 탄성률을 정규화 하여 얻는 정규화 탄성률 곡선이다. 영점부피를 얻기 위해 식(2)에서 시간( $t_{max}$ )을 변화시켜가며 반복연산을 부피변화의 차이가 0.1 mL 보다 작아질 때까지 수행하였다.

$$V_0 = \frac{\frac{P(t/t_{max})}{P(t_{max})} \times V(t_{max}) \times \frac{V(t/t_{max})}{E_{max}} \times \frac{E(t/t_{max})}{E_{max}}}{\frac{P(t/t_{max})}{P(t_{max})} - \frac{E(t/t_{max})}{E_{max}}} \quad (2)$$

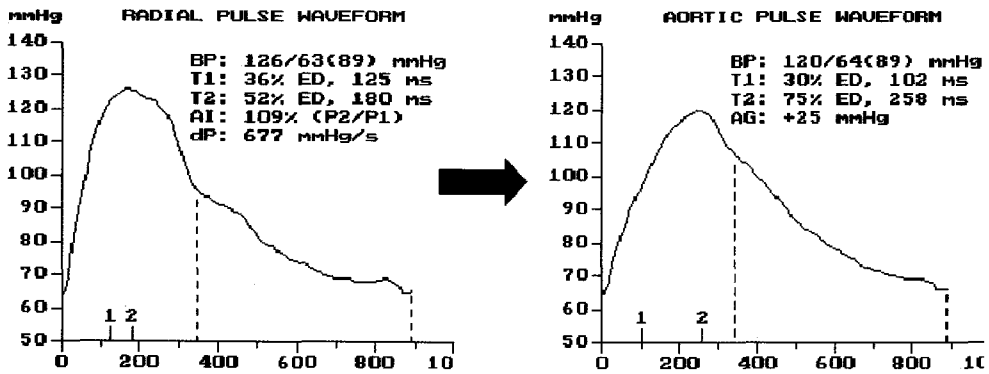


Fig 2. Systolic pressure waveform measured from radial artery was transformed to aortic pulse waveform.

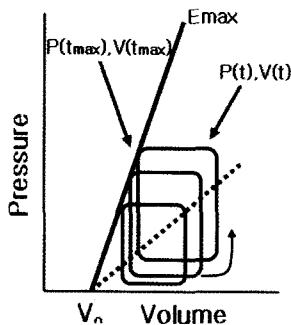


Fig 3. Volume-pressure loops as preload.  $E_{max}$  was determined iteratively.

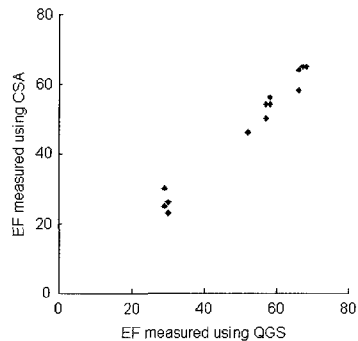


Fig 4. Scatter plot of ejection fraction values measured using QGS and CSA programs. Correlation coefficient was 0.99 ( $P < 0.0001$ ).

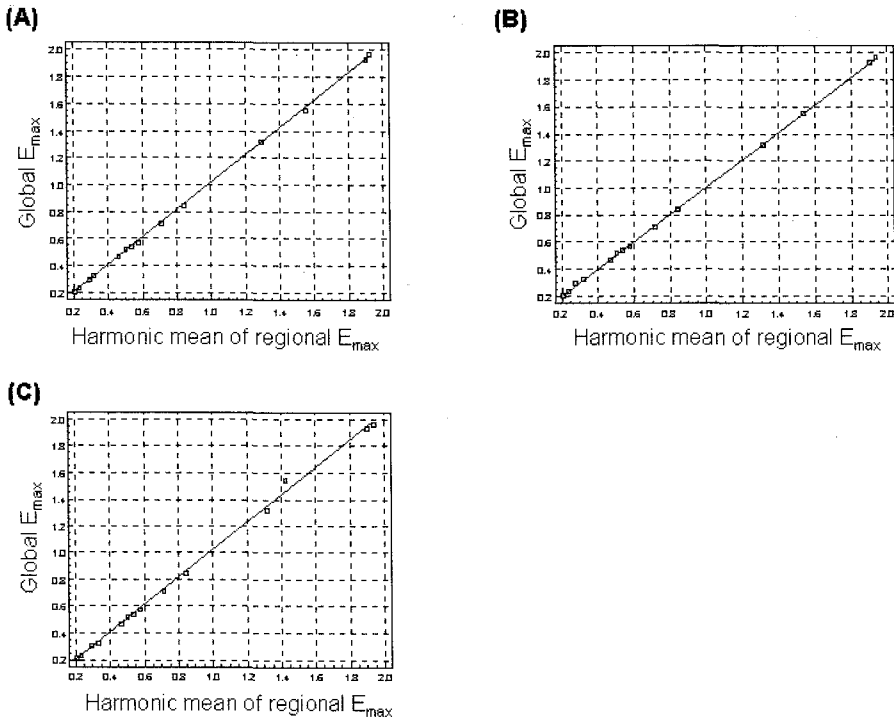


Fig 5. Correlation between the global E<sub>max</sub> value and harmonic mean of regional E<sub>max</sub> values determined using 15-segment model (A), 7-segment model (B), and 5-segment model (C).

식(2)를 통해 얻어진  $V_0$ 를 다시 식(1)에 넣으면 최대탄성률이 구해진다.

같은 방법으로 7명의 환자에 대해 전체탄성률을 구했으며, 압력을 같이 놓고 국소부피변화에 대한 값을 식(1)과 식(2)에 적용하며, 국소적 탄성률을 계산하였다(Fig 3). 재현성의 평가는 게이트 심근 SPECT를 연속하여 두 번 수행한 환자에 대해 두 번의 국소별 탄성률값이 관계가 있는지를 Bland Altman 도표를 이용하여 살펴보고, 같은 데이터에 대해 CSA 소프트웨어를 이용하여 두 번 처리한 결과의 상관성을 역시 Bland Altman 도표를 이용하여 분석하였다.

### 결 과

#### 두 소프트웨어간 구혈률의 상관성

두 번 연속 촬영한 7명의 14개 데이터에 대한

QGS와 CSA간의 구혈률에 대한 상관계수는 0.99 ( $P < 0.0001$ )였다(Fig 4). 같은 환자에 대한 CSA의 측정결과는 구혈률이 22%에서 65%였고, 확장기말 부피가 57 mL에서 236 mL, 수축기말 부피가 20 mL에서 176 mL이었다.

#### 국소 탄성률과 전체 탄성률의 관계

국소탄성률의 조화평균이 전체 탄성률과 일치하는 값을 가지는데 조화평균에 대한 전체 탄성률의 회귀분석 결과, 기울기는 15분할모델에서는 1.012 ( $Y = 1.01 X - 0.002$ ), 7분할모델에서는 1.008 ( $Y = 1.008 X - 0.0008$ ), 5분할모델에서는 1.027 ( $Y = 1.027 X - 0.009$ )였다(Fig 5).

### 소프트웨어에 대한 재현성 평가

개발한 소프트웨어인 CSA를 이용하여 국소탄성률을 두 번 처리하여 나온 결과에 대한 상관계수는 각 모델에서 0.97이상이었으며, Bland Altman 도표에서 차이의 2 표준편차는 15분할 모델에서 1.5%였다. 7분할 모델과 5분할 모델에서는 각각 1.0%, 0.9%가 나왔다(Fig 6).

### 분할 모델에 따른 국소 탄성률 재현성 측정 결과

7명에 대한 좌심실의 전체 탄성률은  $2.0 \pm 1.4$  mmHg/mL이었으며, 최소값과 최대값이 각각 0.5 mmHg/mL, 4.8 mmHg/mL이었다. 측정된 국소탄성률은 15분할모델에서  $3.36 \pm 3.38$  mmHg/mL이었으며, 7

분할모델과 5분할모델에서도 각각  $3.16 \pm 2.25$  mmHg/mL과  $3.11 \pm 2.57$  mmHg/mL의 결과를 얻었다. 게이트 심근 SPECT를 첫 번째 시행 하였을 때와 두 번째 시행하였을 때 측정된 국소탄성률의 결과에 대한 상관성은 15분할, 7분할, 5분할 모델에서 각각 0.95, 0.98, 0.98의 높은 값이 나왔다. Bland Altman 도표에서 두 번 측정된 결과의 차이의 2 표준편차는 각각 2.2%, 1.0%, 1.2%였다(Fig 7).

### 고 찰

게이트 심근 SPECT로부터 얻은 부피변화 데이터와 심장의 수축에 따라 변화하는 압력 데이터를 이용하여 좌심실의 국소탄성률을 구하였다. 심장의 수축능을 평가하기 위한 지표로 구혈률을 많이 사용하는데 구혈률은 확장기말에서부터 수축기말까지의

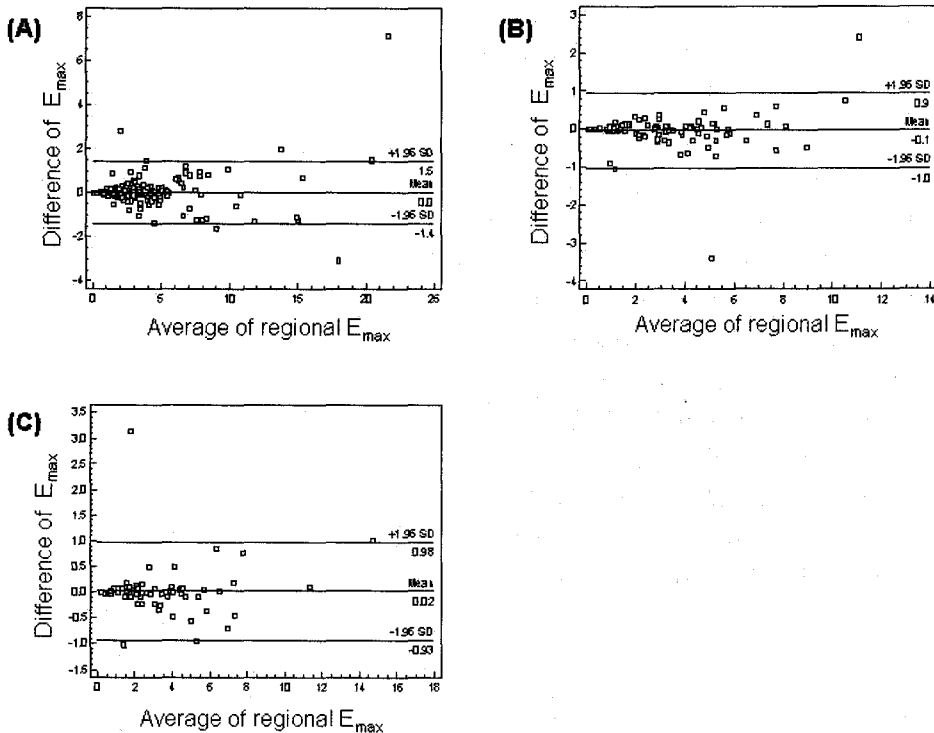


Fig 6. Bland Altman plots to show the reproducibility of E<sub>max</sub> measurement by CSA. E<sub>max</sub> values were measured twice from the same gated myocardial SPECT images. (A) 15-segment model, (B) 7-segment model, (C) 5-segment model.

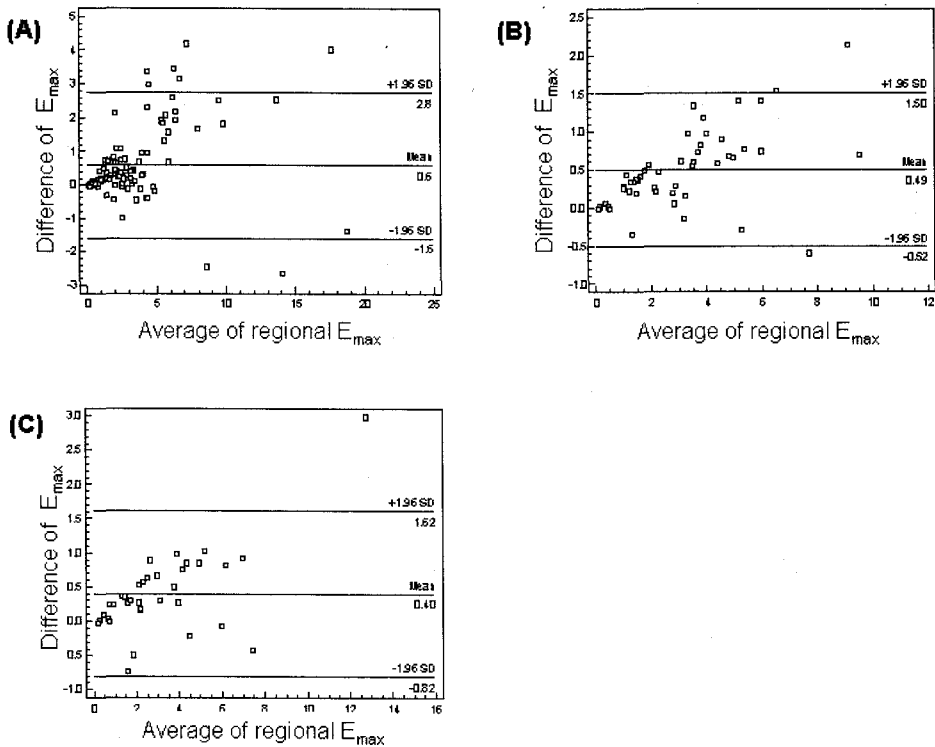


Fig 7. Bland Altman plots to show the reproducibility of Emax measurement by CSA. Emax values were measured from myocardial SPECT images obtained twice from the same patients. (A) 15-segment model, (B) 7-segment model, (C) 5-segment model.

부피의 변화를 반영한다. Senzaki 등이 제안한 정규화된 단일 압력-부피 고리 방법을 이용하여 Lee 등은 최대탄성률을 비침습적으로 얻을 수 있음을 보였다.<sup>5-9)</sup> 관상동맥질환은 심근의 수축기능이 허혈성 심근 경색으로 인해 국소적으로 달라질 수 있으므로 심근의 탄성률을 국소적으로 관찰할 필요가 있다. 이 연구에서 측정된 국소탄성률은 국소적 부피 변화를 반영한다. QGS에서는 구혈률의 계산에 필요한 확장기말의 부피와 수축기말의 부피는 알 수 있으나 시간변화에 따른 16단계의 부피변화 데이터를 수치화 하기 힘들었다. 따라서 심근의 국소적 부피변화를 측정하기도 힘들었으므로 국소적탄성률을 계산하기가 쉽지 않았다. 게이트 심근 SPECT 데이터로부터 심장의 수축능을 보기 위해 개발한 CSA는 좌심실의 부피변화를 측정하고 또한 국소적인 부피변화를 15개의 분할된 부분에서 계산하게 함으

로써 압력데이터에 대한 부피변화를 반영하는 국소탄성률을 구할 수 있었다. 국소탄성률을 구하기 위해서는 정확한 부피변화와 압력변화를 반영하여야 하는데, CSA는 QGS에서의 결과 만큼 재현성이 높지는 않다는 것을 고려하여야 한다.<sup>11,12)</sup>

심장의 수축능을 평가하기 위한 구혈률은 좌심실의 부피변화에 대한 지표이므로 확장기말의 부피에 대해 수축기말의 부피의 변화가 클수록 높게 나타나며, 확장기말에 비해 수축기말에서의 부피변화가 없으면 낮게 나타난다. 이렇게 구혈률은 좌심실의 용적에 관계없이 변화에 대한 지표이다. 하지만 탄성률은 부피변화에 대한 압력변화를 반영하는 지표이므로 부피변화를 잘 반영하고 있는 지표와 상관성이 있을 것으로 기대한다. 하지만 심장의 수축기말에서의 압력변화나 동맥압의 변화가 영향을 주고 받는 요인이 다양하므로 하나의 지표를 가지고 많

은 것을 평가하기는 어렵다.

최대탄성률은 좌심실이 하는 일을 반영하는 지표이다. 압력과 부피변화를 통해 생성되는 에너지가 심장이 일을 하게 한다. 따라서 심장의 수축성능을 보기 위해서는 심장이 얼마나 일을 하는지를 살펴 보아야 한다. 압력과 부피를 곱하여 얻어지는 일을 측정하거나 압력과 부피의 비를 시간에 따른 탄성률 곡선에서 최대탄성률을 찾아내는 방법은 모두 시간에 따라 변하는 압력과 부피를 반영하는 심장의 수축능 평가 지표이다. 심장의 하는 일과 최대탄성률은 모두 심장의 전부하와 후부하에 독립적으로 심근의 수축능을 반영한다.

본 연구에서는 국소탄성도를 측정하는 방법을 설명하고 재현성을 평가하였으며 각 환자에 대해 재현성 높은 결과를 얻었다. 하지만 측정한 7명의 허혈성 심질환이 의심되는 환자 데이터가 정상인과 얼마나 차이를 보이는지에 대해서는 연구되지 않았다. 질환별 부위별 탄성도의 변화에 대해 그리고 정상치의 측정에 대해 향후 연구가 있어야 하겠다.

게이트 심근 SPECT를 이용한 좌심실의 국소탄성률은 비침습적인 장점을 가지고 있으므로 향후 임상적인 데이터를 바탕으로 계속 연구하면 새로운 심기능 분석 지표로 활용될 수 있을 것이다.

## 요 약

**목적:** 게이트 심근 SPECT 영상에서 국소부피변화를 얻으면, 요골동맥 긴장도를 측정하여 얻은 중심동맥의 압력 곡선으로부터 최대탄성률을 얻을 수 있다. 이 연구에서는 좌심실의 국소탄성률을 평가하기 위한 방법을 개발하고 국소탄성률 측정의 재현성을 평가하였다. **대상 및 방법:** 게이트 Tc-99m MIBI 심근 관류 SPECT를 두 번 연속으로 시행한 환자 7명(남:여=5:2, 58±11.9세)을 대상으로 하였다. 국소적 부피변화를 측정하기 위하여 개발한 CSA(Cardiac SPECT Analyzer) 소프트웨어를 이용하여 좌심실의 부피변화를 측정하였으며, 시간-압력 곡선과 국소 시간-부피 곡선을 이용하여 반복연산을 통하여 구한 국소 시간-탄성률 곡선에서 국소탄성률을 얻었다. 같은 SPECT 영상에 대해서 두 번

측정한 국소탄성률의 재현성과, 같은 환자에서 연속하여 두 번 얻은 SPECT 영상에 대해서 측정된 국소탄성률의 재현성을 평가하였다. **결과:** 평균 국소탄성률은 15분할모델에서  $3.36 \pm 3.38$  mmHg/mL이었으며, 7분할모델과 5분할모델에서 각각  $3.16 \pm 2.25$  mmHg/mL,  $3.11 \pm 2.57$  mmHg/mL이었다. 국소탄성률의 조화평균은 전체탄성률과 일치하였다. 동일한 데이터에서 두 번 측정된 국소탄성률 값의 상관계수는 모든 모델에서 0.97이상이었으며, Bland Altman 도표에서 차이의 2-표준편차는 각각 1.5%, 1.0%, 0.9%였다. 동일 환자에서 두 번 연속 촬영한 SPECT 데이터로부터 측정된 국소탄성률의 상관계수는 모든 모델에서 0.95이상이었으며, Bland Altman 도표에서 차이의 2-표준편차는 각각 2.2%, 1.0%, 1.2%였다. **결론:** 게이트 심근 SPECT를 이용한 좌심실의 국소탄성률을 측정하였으며 재현성 있는 결과를 얻었다. 심근 SPECT를 이용하여 얻은 국소탄성률의 평가방법은 향후 임상적인 데이터를 바탕으로 새로운 심기능 분석지표로 활용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 1) Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, Moriel M, Mazzanti M, Su H-T, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995;36:2138-47.
- 2) Germano G, Kavanagh PB, Waechter P, Areeda J, Kriekinge SV, Sharir T, et al. A new algorithm for the quantitation of myocardial perfusion SPECT.I: Technical principles and reproducibility. *J Nucl Med* 2000;41:712-19.
- 3) Faber TL, Cooke CD, Folks RR, Vansant JP, Nichols KJ, DePuey EG, et al. Left ventricular function and perfusion from gated SPECT perfusion images: An integrated method. *J Nucl Med* 1999;40:650-59.
- 4) Lee BI, Lee JS, Lee DS. Regional contractility measurement of the left ventricle using gated myocardial SPECT. *Proceedings of IEEE MIC* 2002; M10-229.



- 5) Senzaki H, Chen C-H, Kass DA. Single-beat estimation of end-systolic pressure-volume relation in humans: a new method with the potential for noninvasive application. *Circulation* 1996;94: 2497-2506.
  - 6) Lee DS, Kim KM, Kim SK, Cheon GJ, Kim YK, Chung J-K, et al. Development of a method for measuring myocardial contractility with gated myocardial SPECT and arterial tonometry. *J Nucl Cardiol.* 1999;6:657-63.
  - 7) Kim KM, Lee DS, Kim YK, Cheon GJ, Kim SK, Chung JK, et al. Reproducibility of non-invasive measurement for left ventricular contractility using gated myocardial SPECT. *Korean J Nucl Med,* 2001;35:152-60.
  - 8) Suga H. Paul Dudley. White International Lecture: Cardiac performance as viewed through the pressure-volume window. *Jpn Heart J,* 1994;35: 263-80.
  - 9) Sharir T, Marmor A, Ting CT, Chen JW, Liu CP, Chang MS, et al. Validation of a method for noninvasive measurement of central arterial pressure. *Hypertension* 1993;21:74-82.
  - 10) yoshizawa M, Abe KI, Tokeda H, Tambe T, Nitta SI. Classical but effective techniques for estimating cardiovascular dynamics: achieving accurate results using linear models. *IEEE Eng in Med Biol Mag,*1997; 16:106-12.
  - 11) Lee BI, Lee DS, Lee JS, Choi HK. Development of gated myocardial SPECT analysis software and evaluation of left ventricular contraction function. *Korean J Nucl Med,* 2003;(2)37:1-10.
  - 12) Paeng JC, Lee DS, Cheon GJ, Kim YK, Chung J-K, Lee MC. Reproducibility of an automatic quantitation of regional myocardial wall motion and systolic thickening on gated Tc-99m MIBI myocardial SPECT. *J Nucl Med,* 2001;42:779-84.
-