

관상동맥 우회로 수술 환자에서 심근의 탄성도 변화

서울대학교의과대학 핵의학교실¹, 서울대학교 의학연구원 방사선의학연구소²,
울지대학교 울지병원 영상의학과³, 인제대학교 정보컴퓨터공학부⁴
이병일^{1,2} · 팽진철^{1,3} · 이동수¹ · 이재성¹ · 정준기¹ · 이명철¹ · 최홍국⁴

Improvement in Regional Contractility of Myocardium after CABG

Byeong Il Lee, Ph.D.^{1,2}, Jin Chul Paeng, M.D.^{1,3}, Dong Soo Lee, M.D., Ph.D.¹, Jae Sung Lee, Ph.D.¹,
June-Key Chung, M.D., Ph.D.¹, Myung Chul Lee, M.D., Ph.D.¹, Heung Kook Choi, Ph.D.⁴

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea¹

Institute of Radiation Medicine of Medical Research Center, Seoul National University, Seoul, Korea²

Department of Radiology, Eulji Medical Center, Eulji University School of Medicine, Seoul, Korea³

Department of Information & Computer Engineering, Inje University, Kimhae, Korea⁴

Purpose: The maximal elastance (E_{max}) of myocardium has been established as a reliable load-independent contractility index. Recently, we developed a noninvasive method to measure the regional contractility using gated myocardial SPECT and arterial tonometry data. In this study, we measured regional E_{max} (rE_{max}) in the patients who underwent coronary artery bypass graft surgery (CABG), and assessed its relationship with other variables. **Materials and Methods:** 21 patients (M:F=17:4, 58±12 y) who underwent CABG were enrolled. ²⁰¹Tl rest/ dipyridamole stress ^{99m}Tc-sestamibi gated SPECT were performed before and 3 months after CABG. For 15 myocardial regions, regional time-elastance curve was obtained using the pressure data of tonometry and the volume data of gated SPECT. To investigate the coupling with myocardial function, preoperative regional E_{max} was compared with regional perfusion and systolic thickening. In addition, the correlation between E_{max} and viability was assessed in dysfunctional segments (thickening <20% before CABG). The viability was defined as improvement of postoperative systolic thickening more than 10%. **Results:** Regional E_{max} was slightly increased after CABG from 2.41±1.64 (pre) to 2.78±1.83 (post) mmHg/mL. E_{max} had weak correlation with perfusion and thickening ($r=0.35$, $p<0.001$). In the regions of preserved perfusion ($\geq 60\%$), E_{max} was 2.65±1.67, while it was 1.30±1.24 in the segments of decreased perfusion. With regard to thickening, E_{max} was 3.01±1.92 mmHg/mL for normal regions (thickening $\geq 40\%$), 2.40±1.19 mmHg/mL for mildly dysfunctional regions (<40% and $\geq 20\%$), and 1.13±0.89 mmHg/mL for severely dysfunctional regions (<20%). E_{max} was improved after CABG in both the viable (from 1.27±1.07 to 1.79±1.48 mmHg/mL) and non-viable segments (from 0.97±0.59 to 1.22±0.71 mmHg/mL), but there was no correlation between E_{max} and thickening improvements ($r=0.007$). **Conclusions:** Preoperative regional E_{max} was relatively concordant with regional perfusion and systolic thickening on gated myocardial SPECT. In dysfunctional but viable segments, E_{max} was improved after CABG, but showed no correlation with thickening improvement. As a load-independent contractility index of dysfunctional myocardial segments, we suggest that the regional E_{max} could be an independent parameter in the assessment of myocardial function. (Korean J Nucl Med 39(4):224-230, 2005)

Key Words : gated myocardial SPECT, contractility, regional E_{max}

서 론

심근의 수축능이라는 것은 심근세포의 근섬유가 단축운

동을 일으키는 강도를 의미한다. 심장의 기능은 곧 심근의 수축을 통한 펌프 기능이므로, 심근 수축능은 곧 심장의 기능 자체를 의미한다.¹⁾ 심장이 수축되면서 좌심실에서 대동맥으로 혈액을 높은 압력으로 내보내게 되는데, 혈액량의 변화와 압력의 변화는 좌심실의 수축능을 이해하고 평가할 수 있는 중요한 요소이다. 좌심실의 수축능을 보기 위해 압력의 변화와 부피의 변화와 함께 심근의 생리적인 역학도 중요하다. 수축기말의 좌심실 탄성도가 수축능을 반영하는 지표로 사용되어오고 있지만 부하조건의 변화와 부피변화의 측정에 어려움이 있어서 임상적인 활용이 어려운 상태이다. 이러한

• Received: 2005. 6. 16. • Accepted: 2005. 7. 22.
• Address for reprints: Dong Soo Lee, M.D., Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine, #28 Yeongeon-dong Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea
Tel: 82-2-760-2501, Fax: 82-2-766-9083
E-mail: dsl@plaza.snu.ac.kr

※ 본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술기획평가원의 지원을 받아 2004년도 원자력연구개발사업을 통해 수행되었음

심근 수축능은 심근의 내재적인 수축능력과 허혈, 저산소증, 산혈증, 그리고 약제 등 다양한 외부조건에 의해서 영향을 받게 된다.¹⁻³⁾ 그런데 이러한 심근 수축능의 실제 측정은 쉬운 일이 아니다. 현재 대개의 심근 수축능은 수축기 지표, 즉, 심박출량(cardiac output), 구혈률(ejection fraction), 일회박출량(stroke volume) 등의 지표로서 표현하고 있으나 이들은 모두 심장의 전부하 및 후부하 상태, 심박수 등에 의해서 영향을 받는 지표이다. 임상적 제한 때문에 실용적으로는 이들이 모두 '안정 시'의 조건으로 표준화되어 널리 이용되지만, 상황과 조건에 따라서는 큰 제한을 가지는 지표라는 한계가 분명하다.

Suga 등에 의하여 제안된 탄성도(elastance)는 압력-부피 관계 도표 상에서 다음과 같이 구해진다.³⁾

$$E(t) = \frac{P(t)}{V(t) - V_0}$$

(단, E=탄성도, P=압력, V=부피, V₀=압력이 0인 가상 점의 부피)

이렇게 구해지는 탄성도는 수축기말에 최대 값을 갖게 되는데, 이를 수축기말탄성도(E_{es}) 또는 최대탄성도(E_{max})라고 하며 이 최대탄성도는 앞서의 지표들과는 달리 심장의 전부하, 후부하 상태나 심박수 등에 영향 받지 않는 수축능 지표임이 보고된 바 있다. 그러나 이 최대탄성도 지표를 임상에서 실제 이용하기는 어려웠는데, 이는 심장의 부피-압력곡선을 얻기 위해서는 침습적 과정을 필요로 하기 때문이었다. 그러나 수 년 전, 게이트 심근SPECT를 시행하면서 동시에 중심동맥의 동맥압파형을 경피적으로 구하는 간단한 방법으로 E_{max} 를 구할 수 있음이 보고되어 실용적인 E_{max} 측정법의 가능성을 열었고,^{5,6)} 최근에는 이를 더욱 발전시켜 심근의 국소 부위 E_{max} (rE_{max})를 구하는 법도 보고되었다.⁷⁻⁹⁾

이 연구에서는 이러한 방법들을 적용하여, 관상동맥우회로이식술(CABG)을 시행 받는 허혈성 심질환 환자를 대상으로 수술 전후 관류 지표 및 기존의 기능 지표와 함께 rE_{max} 를 평가하고, 수축능이 허혈 및 재관류 조건에서 어떤 변화를 보이는지 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상 환자

관상동맥질환으로 진단 받고 CABG를 시행 받은 환자 21명(남:여=17:4, 58±12세, LVEF=50±14%)을 대상으로 하였다. 모든 환자에 대하여 수술 전에 ²⁰¹Tl 휴식기/디피리

다몰 부하 ^{99m}Tc-sestamibi 게이트 SPECT를 시행하였다. 안정 상태의 환자에게 ²⁰¹Tl 111 MBq을 주사하여 15분 뒤 휴식기 영상을 얻고, 이어 4분에 걸쳐 0.56 mg/kg의 디피리다몰을 주사하여 부하를 유도한 뒤 ^{99m}Tc-sestamibi 925 MBq을 주사하였다. 90분 뒤 지방식으로 달걀과 우유를 먹게 하고 그 30분 뒤에 ^{99m}Tc-sestamibi 게이트 심근 SPECT 부하기 영상을 얻었다. 수술 후 3개월에 같은 방식으로 추적 검사를 시행하였다. SPECT 시행 시, 게이트 영상을 얻을 때 동시에 중심동맥압측정기(SphygmoCor, PWV Medical, Australia)를 이용해 요골동맥에서 동맥압을 측정하여, 동맥압의 시간-압력 곡선을 얻었다.

2. 영상획득 및 재구성

저에너지 고해상도 조준기를 장착한 이중헤드 카메라(Vertex EPIC, ADAC Labs., USA)를 사용하여 180도 회전하며 step and shoot방식으로 영상을 얻었다. ²⁰¹Tl은 72 keV, ^{99m}Tc-sestamibi는 140 keV에 중심을 두고 각각 20% 창을 열었으며, 게이트는 한 심박주기 당 16 단위 영상을 얻었다. 얻어진 방출 투사영상으로부터 Butterworth 저역통과여과기를 이용하여 ²⁰¹Tl에 대해서는 차단주파수 0.35와 차수 10으로, ^{99m}Tc-sestamibi에 대해서는 차단주파수 0.45와 차수 10으로 각각 영상을 재구성하였다. 이어 20분절 모델을 적용하여, 분절 별 관류와 수축기두꺼워짐을 자동정량소프트웨어(AutoQUANT, ADAC Labs., USA)로 정량하였다. 관류는 최대 섭취를 보이는 화소에 대한 백분율로, 수축기두꺼워짐은 확장기말두께에 대한 백분율로 각각 표현하였다.

3. rE_{max} 의 계산

심근SPECT에서 부피변화를 측정하기 위해 개발한 CSA(Cardiac SPECT Analyzer)를 이용하여 분절 별 국소부피변화를 측정하였다.⁹⁻¹¹⁾ CSA에서 좌심실의 중심으로부터 원추형의 부피를 할당하여 분절 별 국소부피를 나누었으며, 이로부터 각 분절의 시간-부피 곡선을 얻었다. 한편, 대동맥관에 이상이 없는 한 수축기 중심동맥압과 좌심실 내 압력 사이에는 차이가 없다고 가정하고 좌심실 전체의 압력은 각 분절에 대해서도 같을 것이므로, 요골동맥에서 측정한 중심동맥압을 이용해 각 분절의 시간-압력 곡선을 구하였다.

이렇게 구해진 시간-부피 곡선과 시간-압력 곡선으로부터 rE_{max} 를 구할 수 있다. 부피가 감소하기 시작하는 점과 압력이 증가하기 시작하는 점을 일치시키고, 부피곡선의 수축기말까지의 시간을 일치시킨 후 초기 영점부피를 0으로 한 다음 식 (1)을 이용하여 시간-탄성도 곡선을 얻었으며, 탄성도를 최대탄성도에 도달하는 시간으로 정규화하였다. 식 (2)

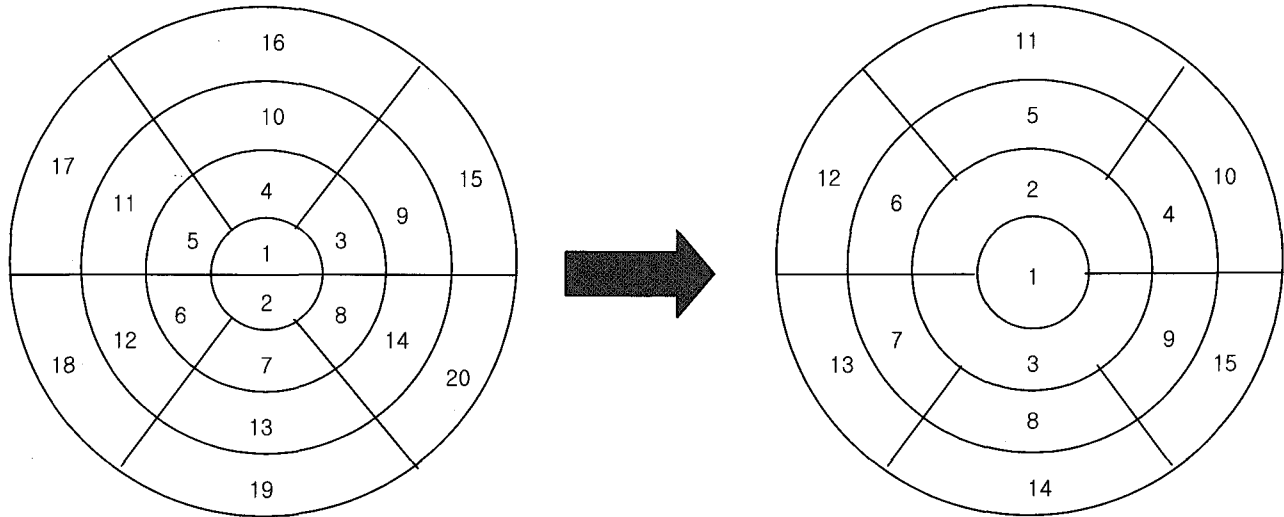


Fig. 1. Changes of twenty segment model and 15 segment model. Averaged values were calculated into same segments.

를 이용하여 압력-부피 곡선에서 최대탄성도에 도달하는 시간을 조절해가며 반복연산을 통하여 최대탄성도를 얻었다.

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

단, E : 탄성률, P : 압력, V : 부피

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

전체 과정은 CSA를 이용하여 SPECT에서의 시간-부피 데이터와 tonometry의 시간-압력 곡선을 읽어들이어 자동으로 진행하였고, QGS에서의 20 분절 모델과 비교하기 위해 CSA의 15 분절 모델을 이용하여 각 분절 별 rE_{max} 를 구하였다. 20분절 모델의 해당부위를 15 분절 모델로 평균하여 적용하였다.

4. 통계 분석

기존 다른 심근 평가지표와 rE_{max} 와의 관련성을 보기 위하여 수술 전 휴식기 및부하기 관류, 그리고 수축기두꺼워짐과 rE_{max} 간의 상관관계를 분석하였다. 이어 수술 전후 rE_{max} 의 변화를 대상분절 전체 및 관류와 수축기두꺼워짐, 생존능에 따라 분류된 세부 군 각각에서 비교하였다. 휴식기 및 부하기 관류는 60%를 기준으로 정상과 저관류군으로 나누었고, 휴식기에서 부하기 관류값을 뺀 값이 7 이상인 경우는 가역성 관류결손, 7 미만인 경우는 비가역성 관류결손으로 나누었다. 수축기두꺼워짐은 40% 미만을 경도의 수축이상, 20% 미만을 심한 수축이상으로 나누었다. 생존능은 수술 전

수축기두꺼워짐 20% 미만의 심한 수축이상을 보이는 분절을 대상으로, 수술 후 10% 포인트 이상의 호전을 보일 때 생존심근으로, 그렇지 않을 때 비생존심근으로 분류하였다.

CSA를 이용한 rE_{max} 계산 소프트웨어와 관류 및 수축기두꺼워짐의 자동정량 소프트웨어 간 분절 표현 방식의 차이로 인하여, 20 분절 모델에서의 분절별 값을 같은 영역에 해당하는 15분절 모델의 해당영역으로 평균을 구하여 조정하였다(Fig. 1). 또, 게이트 심근SPECT에서 기저부의 방사성의약품 저섭취 및 기저부 영역 경계 설정의 차이로 인해 발생할 수 있는 기저부 분절의 기능 저평가 현상에 따른 신뢰도 저하를 극복하기 위하여 기저부 분절은 분석에서 제외하였다. 따라서 15분절 모델 변환 후 기저부를 제외한 9분절에 대해 평가를 하였다.

상관관계는 상관계수 분석을 통해 기술적으로 표현하였고, 군 간 비교에는 짝을 짓지 않은 Student t -test, 같은 분절의 수술 전후 비교에는 짝을 지은 Student t -test를 이용하였다.

결 과

1. CABG의 시행

수술 전 환자의 구혈률은 $50 \pm 14\%$, 확장기말부피는 123 ± 42 mL로 측정되었다. 모든 질환혈관에 대하여 우회로 이식이 시행되었으며, 수술 전후 별다른 합병증은 없었다. 수술 3개월 후의 평가에서 구혈률은 $55 \pm 15\%$ 로 호전되었고, 확장기말부피는 94 ± 33 mL로 감소하여 전체적인 심장 기능에 호전을 보였다. 환자의 심근 분절 중 수술 전 수축기두꺼워짐 40% 미만인 정도 이상의 기능이상 분절은 110개로, 이

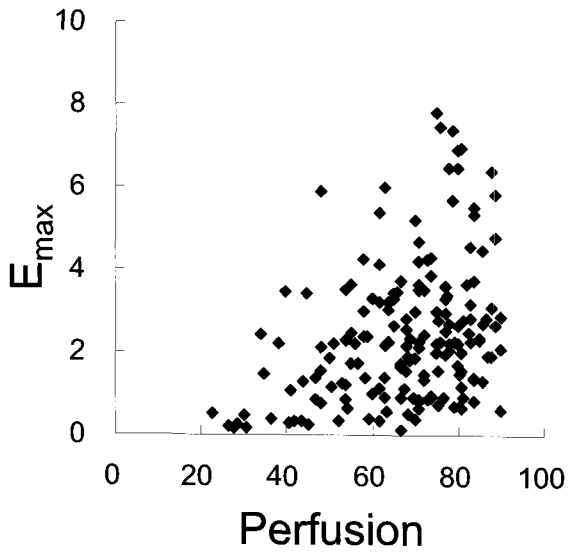


Fig. 2. The correlation between rE_{max} and stress perfusion. rE_{max} is low in the group of low stress perfusion, but is dispersed in high perfusion group.

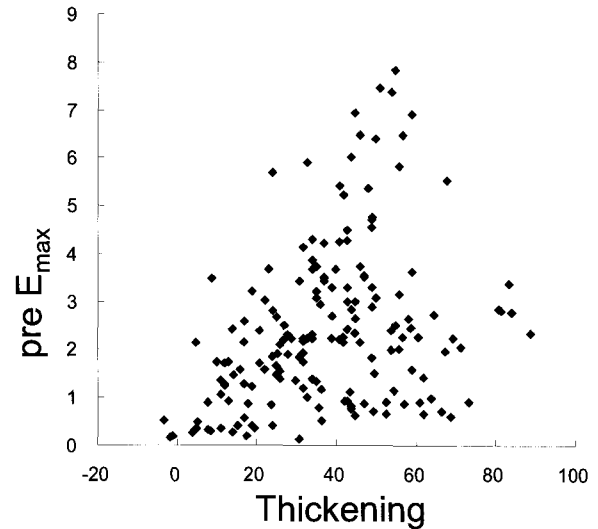


Fig. 3. The correlation between rE_{max} and systolic thickening. rE_{max} is low in the group of low systolic thickening, but is dispersed in high perfusion group.

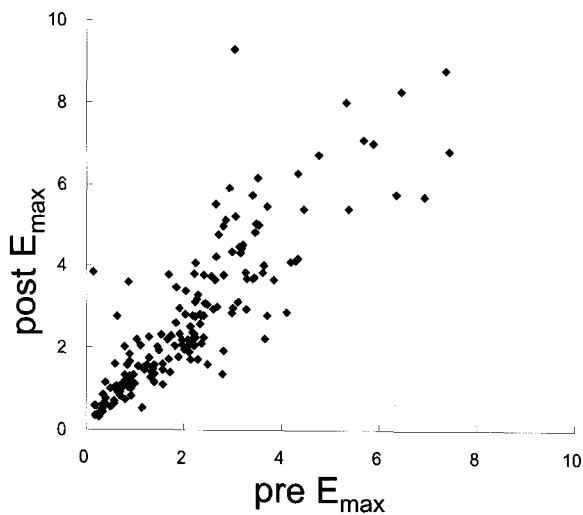


Fig. 4. rE_{max} before and after CABG. rE_{max} was grossly preserved after CABG, but slightly improved.

들은 수술 전 수축기두꺼워짐 $23 \pm 11\%$ 에서 수술 후 $32 \pm 17\%$ 로 상승하여 전반적인 기능의 호전이 관찰되었다 ($p < 0.009$).

2. 다른 심근 평가지표와 rE_{max} 의 상관관계

수술 전 지표들 간의 비교에서, rE_{max} 는 수축기두꺼워짐 및 혈류예비능을 반영하는 부하기 관류와 약한 상관관계가 있었다($r = 0.35$, $p < 0.001$). 부하기 관류와 rE_{max} 를 비교해 보았을 때, 부하기 관류에 따라 rE_{max} 의 최대값이 제한되는 양

상을 보여, 관류가 낮은 분절에서는 탄성도가 낮게 나왔으나 관류가 높은 분절에서는 탄성도가 높은 값에서부터 낮은 값까지 넓게 분포하였다(Fig. 2). 이러한 양상은 수축기두꺼워짐에서도 마찬가지로서 수축기두꺼워짐이 낮은 영역에서는 rE_{max} 가 낮게, 높은 영역에서는 rE_{max} 가 낮은 값부터 높은 값까지 넓게 분포하였다(Fig. 3).

3. 관류에 따른 rE_{max} 의 CABG 전후 변화

수술 전 전체 대상 분절의 rE_{max} 는 2.41 ± 1.64 mmHg/mL 이었고 수술 후에는 2.78 ± 1.83 mmHg/mL로 약간 상승하는 결과를 보였으나, 비교적 수술 전의 rE_{max} 와 높은 상관관계를 보이고 있었고(Fig. 4, $r = 0.85$, $p < 0.0001$), 수술 전후에 따른 유의한 변화는 관찰되지 않았다. 수술 전 부하기관류, 휴식기관류, 관류가역성에 따라 수술 전후의 rE_{max} 를 비교해 보았을 때, 전체적으로 수술 후 rE_{max} 가 상승하였으며, 특히 부하기관류가 낮은 군, 휴식기관류가 높은 군, 관류가역성이 높은 군에서 이러한 상승이 좀더 두드러졌다(Table 1).

4. 기능 및 심근생존능에 따른 rE_{max} 의 CABG 전후 변화

수축기두꺼워짐에 따라 세 군으로 나누어 수술 전후 rE_{max} 를 비교해 보았을 때, 모든 군에서 수술 전후 rE_{max} 가 상승하는 것을 볼 수 있었다(Table 1). 그러나 이러한 상승은 경도에서 중등도 정도의 기능 이상 군인 수술 전 수축기두꺼워짐 20%에서 40% 사이의 군에서 가장 두드러졌고,

Table 1. rE_{max} before and after CABG according to preoperative perfusion, systolic thickening, and viability

Parameter	Criteria	Preop rE_{max}	Postop rE_{max}	P
Stress perfusion	$\geq 60\%$	2.71 ± 1.72	3.06 ± 1.90	0.14
	$< 60\%$	1.61 ± 1.28	2.05 ± 1.58	0.16
Rest perfusion	$\geq 60\%$	2.65 ± 1.67	3.03 ± 1.84	0.078
	$< 60\%$	1.30 ± 1.24	1.60 ± 1.54	0.425
Reversibility	≥ 7	2.06 ± 1.39	2.50 ± 1.70	0.1215
	< 7	2.62 ± 1.84	2.96 ± 1.96	0.2021
Systolic thickening	$\geq 40\%$	3.01 ± 1.92	3.18 ± 2.00	0.6193
	$\geq 20\%, < 40\%$	2.40 ± 1.19	3.01 ± 1.73	0.0092
	$< 20\%$	1.13 ± 0.89	1.51 ± 1.18	
Viability	Viable	1.27 ± 1.07	1.79 ± 1.48	0.2738
	Non-viable	0.97 ± 0.59	1.22 ± 0.71	0.2333

40% 이상 비교적 정상의 수축기두꺼워짐을 가지는 군에서는 수술 후 rE_{max} 호전이 가장 미미하였다.

또한 생존능에 따라 나누었을 때, 생존군의 rE_{max} 호전이 더욱 두드러졌으나(Table 1), 통계적으로 유의하지는 않았다.

고 찰

Suga 등에 의하여 처음 제안된 E_{max} 는 전부하, 후부하, 또는 심박수와 같은 요인들에 의하여 영향 받지 않는 심근의 수축능 지표이다.¹⁾ 따라서 보상기전이 작용하여 기능을 유지하는 상태인 비후성 또는 확장성 심부전의 초기에도 예민하게 변화를 보이는 지표로서 이용할 수 있는 것이 장점이다. 또한 일련의 연구를 통하여 이러한 장점 이외에도 E_{max} 가 심장의 에너지 역학에서 중요한 위치를 차지하는 지표라고도 보고되고 있다.^{2,3)} 심장의 에너지 소비는, 외부로 생산하는 기계적 일, E_{max} , 그리고 심근의 기초대사, 이 세 가지 변수와 1차 선형 관계를 가진다고 보고 되었는데, 여기서 E_{max} 의 계수가 각종 병적 상태에 따라 변함이 알려진 것이다. 따라서 심근의 산소 소비량으로 에너지 소비를 측정하고, 함께 E_{max} 를 측정할 수 있다면 심장의 에너지 역학을 보다 잘 이해할 수 있고 진단과 치료평가에도 응용할 수 있을 것이다. 더 나아가 최근에는 E_{max} 가 생화학적으로 칼슘의 세포 내 대사 비용을 반영하는 것임이 알려져 더욱 관심을 불러 일으키고 있다.

그러나 E_{max} 는 원래 동물의 적출 심장을 대상으로 한 실험으로부터 얻어진 지표로서, 여러 장점에도 불구하고 임상에서 실용적으로 이용하기는 쉽지 않다. 이는 E_{max} 가 기본적으로 심장의 압력-부피 곡선에서부터 구해지는데, 압력과 부피를 동시에 측정하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 그러나 게이트 심근SPECT에서 심장의 부피를 신뢰성 있게 측정하게 되면서 게이트 심근SPECT 시행 시에 동맥 파형과 혈압을 측정하는 간단한 방식으로 E_{max} 를 구하는 방식이 보고되었

고,^{3,4,7,10,11)} 여기서 더 나아가 게이트 심근SPECT에서 국소 심근 운동을 계산하는 방식을 응용해 rE_{max} 를 구하는 방법도 개발되었다.^{8,9)} 이 연구는 이러한 rE_{max} 평가 방법을 실제 임상환자에게 적용한 첫 번째 임상 연구이다.

이 연구에서 관류 및 기능의 다른 지표들과 rE_{max} 는 흥미로운 상관관계를 보였다. 부하기 또는 휴식기 관류가 높을수록, 관류가역성이 낮을수록 rE_{max} 가 높은 값을 나타내었는데(Table 1), 이는 기존의 기능지표와도 일치하는 결과이다. 기존에 널리 쓰이는 기능지표인 수축기두꺼워짐과의 비교에서는 비교적 일치하는 경향성을 볼 수 있었으나(Table 1)(Fig. 3)에서 볼 수 있듯이 낮은 수축기두꺼워짐에서는 낮은 rE_{max} 값을 보였지만 높은 수축기두꺼워짐에서는 다양한 rE_{max} 값을 보였다. 이러한 차이는 심근이 수축기두꺼워짐을 보인다 하더라도 이것이 실제 부피의 수축 및 압력의 증가와 연관되지 않을 수 있기 때문에 나타나는 현상으로 판단되며, rE_{max} 가 단순히 동어반복적 기능지표가 아닌 독립적 지표임을 보여주는 것이다.

CABG 전후 환자의 rE_{max} 변화는 기존의 국소 심근수축능 평가 방법인 국소 심근운동이나 국소 수축기두꺼워짐과 비교하여서도 일관된 결과를 보였다. 통계적으로 유의한 차이까지는 아니었지만 휴식기관류가 높은 군과 부하기관류가 낮은 군, 또 관류가역성이 높은 군에서 수술 전후 rE_{max} 의 증가가 더욱 두드러지는 경향을 보였는데, 이는 기존에 혈류예비능이 떨어져 있으나 생존능이 있는 심근의 기준과 일치하는 것이다. 수축기두꺼워짐과의 비교에서도 수축능이 어느 정도 유지되어 있으면서 기능저하를 보이는 군에서 가장 호전 정도가 두드러졌다(Table 1). 생존능에 따른 회복 속도의 차이도 보고되고 있는데,^{12,13)} 생존능에 따라 차이를 보이는 것도 같은 방식으로 이해할 수 있으나, 수축기두꺼워짐보다는 rE_{max} 가 실제 수축능을 더 잘 반영할 것이라는 점을 고려하면, 생존능의 기준 자체를 rE_{max} 로 바꾸는 것을 추가 연구를 통해 고려해 보아야 할 것이다.

이 연구에서는 환자의 숫자가 많지 않고, 또한 비교적 심장 기능이 정상적인 환자가 많이 포함되었다. 그러나 rE_{max} 의 장점이 전부하나 후부하, 심박수 등의 영향을 받지 않는 수축능 지표라는 점을 고려할 때, 구혈률이 떨어져 있고 심확장을 보이는 등, 심근 기능 이상이 심한 환자에게서 더욱 도움이 될 것으로 판단된다. 이러한 환자들에서 기존의 국소 심근 운동이나 수축기두꺼워짐 같은 기능 지표들과의 비교 연구가 추후 진행될 수 있을 것으로 판단된다.

게이트 심근SPECT는 관류와 기능을 동시에 평가할 수 있는 검사법으로서, 최근 소프트웨어의 발전을 통해 관류, 기능, 부피 등에 대한 정량적 분석도 쉽고 객관적으로 시행할 수 있도록 발전하고 있다. 여기에 더해 혈압과 중심동맥 파형을 측정하는 간단한 방법으로 측정할 수 있는 rE_{max} 의 임상적용은 게이트 심근SPECT의 효용성을 더욱 확대하고, 동시에 환자의 심장상태 평가를 더욱 정밀하게 하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

요 약

목적: 심근의 최대탄성도는 전부하 후부하에 독립적인 지표로서 SPECT를 이용하여 좌심실의 국소탄성도(rE_{max})를 비침습적으로 측정하였다. 게이트 심근 SPECT 영상에서 국소부피변화를 얻고, 요골동맥 긴장도를 측정하여 중심동맥의 압력 곡선을 얻어 측정된 최대탄성도를 관상동맥우회로 수술 전후 환자를 대상으로 수술전후 관류 및 기능지표와 비교하여보았다. **대상 및 방법:** 관상동맥우회로 수술이 결정되어 시행한 환자 21명(남:여=17:4, 58±12세)을 대상으로 ^{201}Tl 휴식기 영상과 디피리다몰 부하 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi 게이트 SPECT를 수술전과 수술 후 3개월째 시행하였다. 동시에 요골동맥으로부터 압력곡선을 얻었다. 기능과의 관계를 보기 위해서 관류와 심벽두꺼워짐을 탄성도와 비교하였으며, 심벽두꺼워짐이 20%미만일 때 수술 후 10%이상 호전되지 않는 기능이상 분절에 대해 수술 전후의 탄성도를 비교하였다. **결과:** 수술 전 탄성도가 2.41 ± 1.64 mmHg/mL에서 2.78 ± 1.83 mmHg/mL 으로 수술 후에 증가하였으나, 관류와 심벽두꺼워짐과는 낮은 상관성을 보였다 ($r=0.35$, $p<0.001$). 관류 60% 이상의 분절에서는 2.65 ± 1.67 mmHg/mL 이었으나, 관류나 낮은 분절의 탄성도는 1.30 ± 1.24 mmHg/mL 였다. 심벽두꺼워짐이 40% 이상 되는 분절의 수술 전 탄성도는 3.01 ± 1.92 mmHg/mL 였고, 기능이 조금 약한 부분인 40%에서 20% 사이의 심벽두꺼워짐 값을 가진 분절에서는 2.40 ± 1.19 mmHg/mL로 심각한 기능이상을 반영하는 20%미만 분절의 탄성도는 1.13 ± 0.89 mmHg/mL의

분포를 보였다. 수술 전 심벽두꺼워짐이 20% 미만일 때 수술 후 10%이상 회복을 보인 생존심근과 그렇지 않은 비생존 심근사이의 수술 전후 탄성도는 1.27 ± 1.07 mmHg/mL에서 1.79 ± 1.48 mmHg/mL, 0.97 ± 0.59 mmHg/mL에서 1.22 ± 0.71 mmHg/mL로 생존심근의 수술 후 값의 향상이 조금 더 높았다. 그러나, 심벽두꺼워짐의 정도가 탄성도 높아짐의 정도 사이에는 상관성이 없었다($r=0.007$). **결론:** 수술 전 rE_{max} 는 관류와 심벽두꺼워짐과 상관성이 약하게 있었다. 기능이상이면서 생존능이 있는 심근의 탄성도는 수술 후 증가하였지만 심벽두꺼워짐의 향상과는 상관성이 없었다. 심근 기능의 전부하 후부하에 독립적인 지표인 탄성도는 실제 부피의 증가와 연관되지 않으면서도 생존능이 있는 심근의 기준과 일치하는 양상을 보였으므로 독립적인 매개변수로 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

1. Suga H. Global cardiac function: mechano-energetico-informatics. *Journal of Biomechanics* 2003;36:713-20.
2. Suga H. Paul Dudley. White International Lecture: Cardiac performance as viewed through the pressure-volume window. *Jpn Heart J* 1994;35:263-80.
3. Suga H. Cardiac energetics: From E_{max} to pressure-volume area. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 2003;30:580-5.
4. 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;94:2497-506.
5. 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.
6. 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.
7. 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;37:1-10.
8. Lee BI, Lee JS, Lee DS. Regional contractility measurement of the left ventricle using gated myocardial SPECT. *Proceedings of IEEE MIC* 2002;M10-229.
9. Lee BI, Lee DS, Lee JS, et al. Development of evaluation method of regional contractility of left ventricle using gated myocardial SPECT and assessment of reproducibility. *Korean J Nucl Med* 2003;37:355-63.
10. 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.
11. 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;40:650-9.

12. Bax JJ, Visser FC, Poldermans D, et al. Time course of functional recovery of stunned and hibernating segments after revascularization. *Circulation*. 2001;104(suppl I):I-314-I-318.
13. Paeng JC, Lee DS, Kin KB, et al. Difference of time course of functional recovery after revascularization according to preoperative reversibility of Perf. *Korean J Nucl Med* 2001;35:364-70.