

## 관상동맥 협착증 환자에서 운동 전후 Tissue Doppler Velocity와 Strain Rate의 변화

경희대학교 의과대학 순환기내과학교실

이연아 · 이병호 · 강홍선 · 박지영 · 조정휘 · 송정상 · 배종화

### The Changes of Tissue Velocity and Strain Rate after Exercise in Patients with Coronary Artery Disease

Yeon Ah Lee, MD, Byung Ho Lee, MD, Heung Sun Kang, MD, Ji Young Park, MD, Chung Whee Choue, MD, Jung Sang Song, MD and Jong Hoa Bae, MD

Department of Internal Medicine, School of Medicine, KyungHee University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

**Background and Objectives** : Tissue Doppler imaging (TDI)-derived tissue velocity (TV) and strain rate (SR) are new ultrasonic parameters for assessing the regional myocardial function by quantitatively measuring the myocardial velocity. The aim of this study was to investigate the changes of these indices after exercise, in patients with coronary artery disease (CAD), for comparison with the wall motion score index (WMSI). **Subjects and Methods** : Twenty-one patients with CAD and 21 normal subjects were studied, before and after an exercise stress test, using the Bruce protocol. TDI data were obtained, and analyzed offline, for peak systolic TV (PSTV) and peak systolic SR (PSSR), using a 16 segment-model. The segmental PSTV and PSSR were compared with the WMSI. **Results** : The number of segments with a significant increase in the PSTV or PSSR, after exercise ( $p < 0.05$ ), was less in the CAD patients than the normal subjects (9 vs. 14 segments, 7 vs. 10 segments, respectively). The PSTV, after exercise, progressively decreased from the base to the apex in both the normal and CAD groups, but the absolute values were significantly lower in the CAD group (base :  $8.44 \pm 1.28$  vs.  $6.56 \pm 1.6$ , mid :  $6.31 \pm 1.18$  vs.  $4.26 \pm 1.25$  and apex :  $3.48 \pm 0.83$  vs.  $1.25 \pm 1.27$  cm/sec,  $p < 0.05$ , respectively). In the normal subjects, the PSSRs, after exercise, were uniform in all segments, whereas this was not the cases in the CAD group ( $p < 0.05$ ). The PSSR showed a negative correlation with the WMSI ( $r = -0.45$ ,  $p < 0.05$ ). **Conclusion** : This study has shown that TV and SR can detect the ischemic myocardium with exercise stress, and objectively measure the systolic function in patients with CAD. The quantification of stress echocardiography may overcome the training requirement, and subjective nature, of conventional wall motion scoring. (Korean Circulation J 2003;33(7):590-598)

**KEY WORDS** : Echocardiography, Doppler ; Strain ; Coronary artery disease.

#### 서론

국소적 심근기능의 정확한 평가는 관상동맥질환의 진

단과 치료에 매우 중요한 역할을 한다. 그러나, 심실벽 운동지수(wall motion score index, WMSI)는 심내막 편위(excursion)나 심근의 두께변화에 대한 시각적 평

논문접수일 : 2003년 2월 12일

심사완료일 : 2003년 6월 3일

교신저자 : 강홍선, 130-702 서울 동대문구 회기동 1번지 경희대학교 의과대학 순환기내과학교실

전화 : (02) 958-8169 · 전송 : (02) 968-1848 · E-mail : aprildaum@hanmail.net

가에 의존하여 왔기 때문에 매우 주관적이고 반정량적이라는 문제점이 있었다.<sup>1)2)</sup> 또한, 지금까지 시행되어오던 스트레스 심초음파는 상당한 훈련을 필요로 하고<sup>1)</sup> 균일한 진단 기준의 부재로 인하여 전문가들 사이에서도 좋지 않은 영상이나 미미한 운동변화에서는 일치율이 제한적이었다.<sup>3)</sup> 최근 이러한 제한점을 극복하기 위해 tissue Doppler image(TDI)가 도입되었고 이에 의한 tissue velocity(TV)의 측정은 심근기능의 객관적이고 정량적인 평가를 가능하게 하였다.<sup>4)5)</sup> 그러나, TV는 심실의 한 지점에서 측정된 속력이므로 시각적 평가와 마찬가지로 전체 심장의 회전과 이동에 의해 영향을 받으며 심근 분절의 능동적 수축과 수동적 이끌림(tethering)을 정확히 구분할 수 없다는 근본적인 문제점이 있다.<sup>6)</sup> 더욱 특이적으로 심근 기능을 반영하는 지표로서 심근 변형을 정량화하는 strain과 strain rate(SR)가 제시되었다. Strain은 가해진 힘에 의한 상대적인 변형(relative deformation)으로 정의되며 음의 strain은 radial thinning 또는 longitudinal shortening을 의미하고 양의 strain은 radial thickening 또는 longitudinal lengthening을 의미한다.<sup>7)</sup> Strain rate는 심근변형의 속도를 측정하는 것이며 얼마나 빨리 심근조직이 수축 또는 신장하는지를 나타낸다. 이전의 연구들은 TDI에 의해 측정된 속력차이(TV gradient)로부터 strain rate를 계산할 수 있음을 제시하였는데,<sup>8)</sup> 임의의 두 지점에서 얻어진 속력차를 두 지점 사이 거리로 나눈 것이 속력의 공간적 gradient인 strain rate이다. 새로운 심초음파 지표인 TV와 SR에 대한 평가와 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 우리나라에서는 관상동맥질환에서 운동부하를 시행한 후 TV와 SR를 측정한 연구가 아직까지 없어 저자는 관상동맥 협착이 있는 환자에서 운동부하 후 TV와 SR의 변화를 알아보고자 하였고 지금까지 국소적 심근기능의 평가에 이용되어오던 심실벽 운동지수와 상관관계를 분석하여 이들 지표의 유용성을 연구하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 대 상

심장질환이나 당뇨병, 고혈압, 고지혈증 및 기타 다른 전신 질환이 없는 정상인 21명을 정상 대조군으로 하였다. 관상동맥 질환군은 협심증 증상이 있는 환자로서 관

**Table 1.** Baseline clinical characteristics of the normal subjects (Normal) and patients with coronary artery disease (CAD)

	Normal (n=21)	CAD (n=21)
Mean age (yrs)	52±9	56±10
Sex (M : F)	8 : 13	14 : 7
Smokers, n (%)	3 (14)	9 (39)
Hypertension, n (%) (>140/90 mmHg)	None	15 (71)
Hypercholesterolemia, n (%) (>200 mg/dL or on Tx.)	None	8 (38)
DM, n (%)	None	6 (29)
EF (%)	67±7	64±8

DM : diabetes mellitus, EF : ejection fraction

상동맥 조영술에서 동맥 내경에 50%이상의 협착이 확인되고 심전도 검사에서는 Q-파 심근경색의 증거가 없으면서 운동부하 전 시행한 기저 심초음파 검사에서 심실벽 운동장애가 없었던 21명의 환자를 대상으로 하였다. 양군의 임상적 특징들은 Table 1과 같다.

### 운동부하 검사

정상 대조군과 관상동맥 질환군 모두에게 Bruce방법으로 답차운동 부하(treadmill exercise test)를 시행하였으며 혈압과 12-lead 심전도를 운동 전, 후와 운동부하동안 기록하였다. 견딜 수 없는 흉통이나 호흡곤란이 유발되는 경우, 실신 또는 극심한 피로감을 호소하는 경우, ST분절이 2 mm이상 저하되는 경우, 혈압이 220/120 mmHg이상으로 증가되거나 수축기 혈압이 기저치보다 15 mmHg이상 감소하는 경우, 또는 유의한 부정맥(심실빈맥 등)이 발생하는 경우에는 운동부하를 중지하였다. J-point로부터 0.06초 후에 수평 또는 하강성 ST분절 저하가 0.1 mV이상 나타날 때를 심전도상 심근허혈이라 정의하였다.

### 심장 초음파 측정

2.5-MHz pulse-array transducer와 Vivid Five System(GE Vingmed US, Horten, Norway) scanner를 사용하여 운동 전, 후에 심초음파를 시행하였다. Gray-scale의 영상은 각각 16 cm이상의 depth로 화면 크기를 조절하였으며 frame rate는 70~115 fps였다. Tissue Doppler image(TDI) mode에서 흉골연 장축 단면도(parasternal long-axis view), 심첨 4방 단면도(apical 4-chamber view), 심첨 2방 단면도(api-

cal 2-chamber view)를 촬영한 후 off-line분석을 위해 표준 이면성 심초음파 영상과 단일 심주기 동안의 color Doppler data(single cine-loop)를 digital format으로 magneto-optical disk에 저장하였다.

#### 국소 벽운동 이상의 해석

미국 심장초음파 학회에서 제시한 좌심실의 16-분절 모델에 따라 심실을 6개벽(lateral, posterior, inferior, septal, anterosseptal, and anterior wall)으로 나누었고 각 벽을 3-분절(apical, mid, and basal)로 나누었다. 국소적 심근 기능은 visual wall motion scale<sup>2)</sup>을 적용하여 1=정상, 2=저운동성, 3=무운동성, 4=운동실조로 분류하였고 2~4를 심근운동 이상으로 판정하였다. 벽운동지수(WMSI)는 각 분절의 벽운동 점수의 합을 심실 분절의 수로 나눈 것이라 정의하였다.

#### TDI의 분석

운동 전과 후 각 plane에서 얻어진 모든 digital cine-loop을 Macintosh(Apple Computer Inc, Cupertino, Calif) computer로 옮겼으며 commercial software인 EchoPAC version 6.1(GE Vingmed, US)을 사용하여 저장된 영상의 off-line분석을 시행하였다. Offset distance는 1 cm, pixel은 5×5로 하였으며 각각의 심근 분절에서 같은 심주기동안 QRS-complex시작 350 msec이내에 peak systolic tissue velocity(PSTV)와 peak systolic strain rate(PSSR)를 같은 지점에서 측정하였다. Sample volume은 각 분절의 중앙에서 심근의

가운데 층(midmyocardial layer)에 위치시켰다. 특정 심근분절이나 대상 환자를 영상이 좋지 않거나(poor image quality), noise를 이유로 분석에서 제외하지 않았으며 PSTV와 PSSR의 측정은 apex를 포함한 모든 심근 분절에서 이루어졌다.

#### 관상동맥 분포구역에 따른 분석

관상동맥 질환군에서 병변의 위치는 다양한 양상이었으나 공통적으로 좌전하행지(left anterior descending, LAD)의 병변을 갖고 있었으므로 이의 관류구역에 해당하는 분절에서 정상인군과 관상동맥 질환군의 운동 후 PSTV와 PSSR을 비교하였다. 좌전하행지의 혈관분포구역은 basal and mid-anterosseptum, basal and mid-anterior wall, mid septum, 그리고 apex라 정의하였다.

#### 통계학적 분석

모든 통계학적 분석은 통계 soft ware(SPSS version 10.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois)를 이용하여 이루어졌다. 연속형 변수는 평균과 표준편차(mean±SD)로 나타내었으며 범주형 변수는 빈도로 나타내었다. 각 군의 운동 전후 비교는 paired-samples t test를 사용하였으며, 양 군의 비교에는 independent-samples t test를 사용하였다. 또한 벽운동지수와 PSTV, PSSR간의 상관관계를 알아보기 위해 Pearson계수를 산출하였다. p<0.05를 통계학적으로 유의하다고 판정하였다.

**Table 2.** Hemodynamic data and response of the normal subjects (Normal) and patients with coronary artery disease (CAD) during exercise stress test

	Normal (n=21)	CAD (n=21)	p
Resting HR (Beats/min)	66 ± 9	70 ± 2	0.152
Maximal HR (Beats/min)	137 ± 21	136 ± 4	0.812
Maximal HR 85%	142 ± 8	139 ± 2	0.172
Resting SBP (mmHg)	122 ± 14	135 ± 4	0.018
Maximal SBP (mmHg)	152 ± 21	168 ± 6	0.047
Resting DBP (mmHg)	77 ± 13	82 ± 13	0.193
Maximal DBP (mmHg)	85 ± 15	96 ± 15	0.016
Work load	3.1 ± 0.7	2.4 ± 0.9	0.011
Chest pain	None	10 (48%)	
ST-depression	None	12 (57%)	
Ischemia by Echo	None	19 (90%)	

HR : heart rate

## 결 과

### 운동부하 검사

운동부하 검사에 대한 혈액학적인 반응은 Table 2에 요약하였다. 양 군 모두 운동부하 전에는 심초음파에서 국소적 벽운동 이상이 관찰되지 않았다. 관상동맥 질환군에서 운동 부하 중 심근허혈을 시사하는 증상은 10명(48%)에서 발생하였고 운동부하 후 19명(90%)에서 심초음파로 국소적 벽운동 이상을 확인할 수 있었다. 양 군사이에 유의한 차이를 나타내는 것은 안정시와 운동부하후 수축기 혈압, 운동 부하 후 이완기 혈압, 운동 부하량이었다.

### 심혈관조영술

관상동맥 질환군에서 단일혈관질환(one vessel disease)은 10명(47.6%), 다혈관질환(multivessel disease)은 11명(52.4%)였으며 이 중 3혈관질환(3-vessel disease)은 9명(42.8%)이었다.

### 운동부하 전과 후 PSTV와 PSSR의 비교

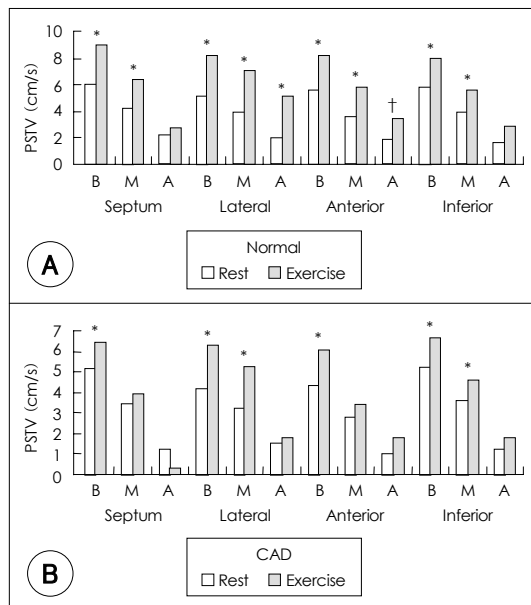
운동부하 후 TV, SR의 유의한 증가( $p < 0.05$ )는 정상

대조군에 비해 관상동맥 질환군에서 적게 관찰되었다. 16개 분절 중 운동 부하 후 PSTV 또는 PSSR이 증가된 것은 정상 대조군에서는 각각 14개 분절(87.5%), 10개 분절(62.5%)이었으며 관상동맥 질환군에서는 각각 9개 분절(56.2%), 7개 분절(43.8%)이었다(Fig. 1, 2).

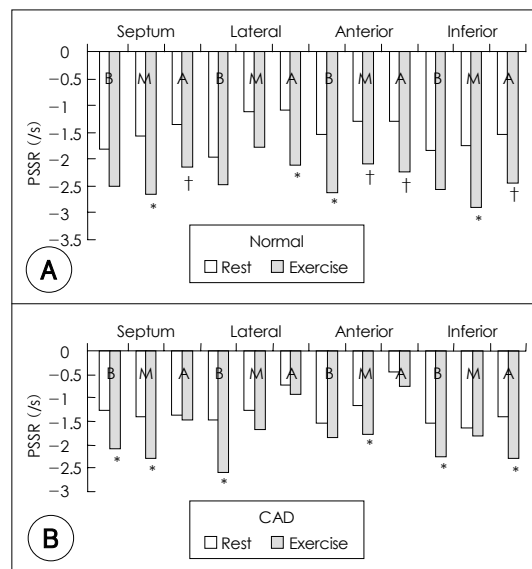
### 운동부하 후 base, mid, apical 분절의 평균 PSTV와 PSSR 비교

정상적으로 tissue velocity는 base에서 apex로 갈수록 감소하기 때문에 좌심실의 base(B), mid(M), apical(A) 분절의 평균 PSTV와 PSSR을 양군에서 비교하였다.

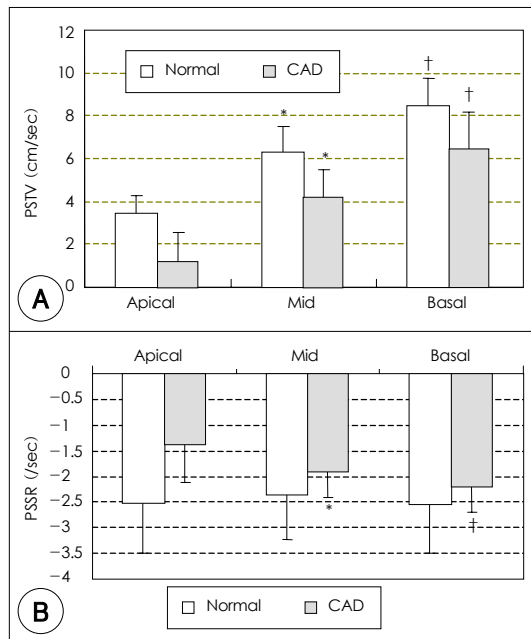
평균 PSTV는 대조군에서  $B=8.44 \pm 1.28$ ,  $M=6.31 \pm 1.18$ ,  $A=3.48 \pm 0.83$  cm/sec였으며, 관상동맥 질환군에서  $B=6.56 \pm 1.6$ ,  $M=4.26 \pm 1.25$ ,  $A=1.25 \pm 1.27$  cm/sec였다. 즉, 평균 PSTV는 양군 모두에서 base, mid, apical순으로 감소되는 불균일함을 보였으나 그 절대치는 관상동맥 질환군에서 대조군에 비해 유의하게 감소되어 있었다( $p < 0.05$ ) (Fig. 3A). 평균 PSSR은 대조군에서  $B=-2.53 \pm 0.97/\text{sec}$ ,  $M=-2.36 \pm 0.86/\text{sec}$ ,  $A=-2.52 \pm 0.97/\text{sec}$ , 관상동맥 질환군에서  $B=-2.19 \pm 0.51/\text{sec}$ ,  $M=-1.91 \pm 0.5/\text{sec}$ ,  $A=-1.39 \pm 0.73/\text{sec}$



**Fig. 1.** Segmental comparison of the peak systolic tissue velocity (PSTV) at rest and after exercise. A : normal Subjects, B : patients with CAD. \* :  $p < 0.01$  vs. rest, + :  $p < 0.05$  vs. rest. B : base, M : mid, A : apical. Septum, lateral, anterior and inferior represent the each wall, respectively.



**Fig. 2.** Segmental comparison of the peak systolic strain rate (PSSR) at rest and after exercise. A : Normal Subjects, B : patients with CAD. \* :  $p < 0.01$  vs. rest, + :  $p < 0.05$  vs. rest). B : base, M : mid, A : apical. Septum, lateral, anterior and inferior represent the each wall, respectively.

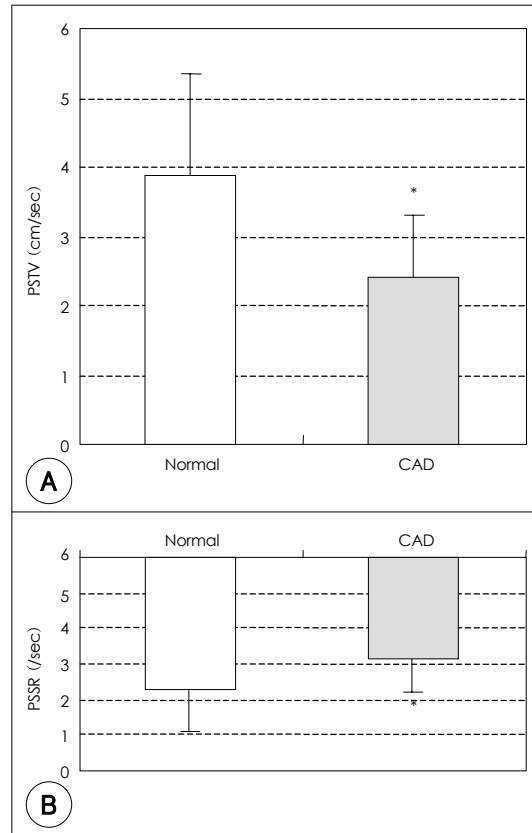


**Fig. 3.** Comparison of the average of PSTV (A) and PSSR (B) after exercise between the normal subjects and patients with CAD. \* :  $p < 0.05$  vs. apical segment, † :  $p < 0.05$  vs. mid segment.

였다. PSSR은 심실내 측정 부위에 상관없이 동일한 값을 갖는다고 알려진 바와 같이 대조군에서는 각 평균이 통계학적으로 유의한 차이가 없는 비슷한 측정치를 나타내었다( $p > 0.05$ ). 반면, 관상동맥 질환군에서는 정상 대조군과 같은 균일함을 관찰할 수 없었고 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ) (Fig. 3B).

#### 좌전하행지의 관류구역에 따른 비교

좌전하행지의 관류구역에 해당하는 분절들의 평균을 운동 전과 후로 나누어 비교하였을 때 정상인군과 관상동맥 질환군에서 운동전 평균 PSTV는 각각  $2.17 \pm 0.32$  cm/sec,  $1.78 \pm 0.46$  cm/sec이었고 평균 PSSR은 각각  $-1.12 \pm 0.3$ /sec,  $-0.99 \pm 0.32$ /sec이었으나 양군 사이에 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 반면, 운동 부하 후 평균 PSTV는 정상인군과 관상동맥 질환군에서 각각  $3.89 \pm 1.45$  cm/sec,  $2.42 \pm 0.87$  cm/sec, 평균 PSSR은 각각  $-1.86 \pm 0.6$ /sec,  $-1.43 \pm 0.46$ /sec 이었고 관상동맥 질환군에서 유의하게 감소되는 것을 알 수 있었다( $p = 0.001$ , respectively) (Fig. 4).



**Fig. 4.** Average of the PSTV (A) and PSSR (B) of the LAD territory segments after exercise in the normal subjects and patients with CAD. \* :  $p < 0.01$  vs. the Normal.

#### 벽운동지수와 PSTV, PSSR의 상관 관계

PSTV는  $r = -0.18$ ,  $p = 0.41$ 로 유의한 상관관계가 없었고 PSSR은  $r = -0.45$ ,  $p = 0.03$ 으로 통계학적으로 유의한 음의 상관관계가 있었다.

#### 재현성(reproducibility)

TDI의 평가는 한 관측자에 의해 동일 심에코도의 반복 평가로 이루어졌으며 interobserver variability는 평가되지 못했다. PSTV와 PSSR의 intraobserver variability는 각각  $0.50 \pm 0.63$  cm/sec,  $-0.21 \pm 0.32$ /sec 였으며 이들 측정간에 유의한 차이는 없었다.

## 고 찰

본 연구에서 tissue velocity와 strain rate는 정상 대조군에 비해 관상동맥 질환군에서 운동 부하 후 유의한

감소를 보였고 이는 협착이 있는 관상동맥의 관류부위에 해당하는 심근분절을 따로 정상인과 비교하였을 때 마찬가지로 관찰되었다. 따라서, 정상인에서 두 지표의 참고치가 결정된다면 이를 실제 임상에 적용하여 국소 심근기능 이상을 발견하고 협착이 있는 관상동맥 위치를 예측하는데 이용할 수 있을 것이다. 이 연구에서 심실 벽운동 지수와 상관 관계는 strain rate의 경우에만 발견할 수 있었는데, 그 이유는 tissue velocity는 장축 방향의 심근 운동(displacement, descent)을 평가하나 strain rate는 이로부터 파생되었지만 심근 변형을 측정하는 것이기 때문이라 생각된다.

심장 근육의 구성을 보면 세로 방향의 심근섬유가 70%를 차지하며 이들이 좌심실 구혈에 50%까지 기여한다.<sup>9)</sup> 또한, 이 심근 섬유는 대개 심내막하부(subendocardium)에 위치하고 있어 허혈에 매우 취약하므로,<sup>10)</sup> 장축 방향의 심근운동을 측정한 지표들이 스트레스 동안에 일어나는 경미한 허혈 또는 초기 허혈을 발견하는데 민감하다고 할 수 있다.<sup>11)12)</sup> 심장의 기저부는 수축기 동안에 심첨부를 향해 하강하며 이완기엔 반대로 움직인다는 것이 이미 증명되어 있다.<sup>13)</sup> 기저부의 하강 정도는 심구혈률과도 연관되고,<sup>14)15)</sup> 심지어 심근 경색 이후 예후와도 관련된다고 알려져 있다.<sup>16)</sup> 기저부의 심근 이동은 해당 벽의 심첨부에서 기저부까지 움직임을 총괄한 것을 나타내는<sup>17)</sup> 반면, 심첨부는 심주기동안 거의 고정되어 있고 움직이는 거리도 미미하기 때문에 tissue velocity는 기저부에서 심첨부로 갈수록 감소한다.<sup>4)18)</sup>

국소적 심근기능의 정량을 위한 초기시도는 center-line method, color kinesis 등과 같이 방사방향(short-axis)의 심근 기능을 평가하는 것이었으나, 심내막이 명확히 보여야 하고 분석시간이 오래 걸리는 등의 단점이 있었다. TDI의 발달로 장축 방향의 국소 심근기능을 정량화하여 측정하는 것이 가능하게 되었는데, TDI에서는 높은 진동수(frequency)와 낮은 진폭(amplitude)을 갖는 혈액의 반향(echo)이 걸러지기 때문에 심근속도의 선택적 측정이 가능하게 된다.<sup>19)</sup>

심첨부 단면도에서 얻은 심근의 장축방향 속력은 관상동맥질환을 진단하는데 있어 80%이상의 정확도와 뛰어난 관측자간 일치도를 보인다.<sup>11)</sup> 그러나, tissue velocity는 해당 분절에서 심첨부쪽에 위치한 모든 분절의 누적속도를 나타내므로,<sup>18)</sup> 정상 심실에서도 불균일성을 보이고 한 지점에서의 tissue velocity는 baso-

apical tethering을 극복하지 못한다. 다시 말하면, 분석하고자 하는 분절의 수축력을 정확히 반영하지 못하며,<sup>20)</sup> 전부하(preload)와 심장의 이동(translation), 회전(rotation)에 영향을 받고 벽 운동지수와 마찬가지로 수동적으로 끌려오는 조직을 감별하기 어려운 약점이 있다.<sup>6)21)</sup> 이러한 제한점을 극복하고 국소 심근운동을 더 특이적으로 평가할 수 있는 방법으로서 strain과 strain rate이 도입되었다. Myocardial strain의 개념은 Mirsky와 Parmley에 의해 제시되었으며 가해진 힘(stress)에 대한 반응으로 일어나는 심근 조직의 상대적인 변형(relative deformation)이라고 정의된다.<sup>7)</sup> 이의 물리학적 정의는 한 물질의 원래의 길이(L0)에 대한 변화된 길이( $\Delta L$ )의 비이고, 직선변형( $\epsilon$ )은  $\epsilon = \Delta L / L0 = (L - L0) / L0$ 과 같이 표현되며 단위는 %이다. Strain rate(SR)는 strain에 시간적 개념이 더해진 것으로, 국소 심근이 얼마나 빨리 shortenig & lengthening 혹은 thickening & thinning되는냐를 표현한다.<sup>12)</sup> 이는 공식에 의해 두 지점 사이의 속도차이( $\Delta v$ )와 동일한 의미가 된다.

$$SR = \epsilon / \Delta t = \Delta L / L0 / \Delta t = \Delta L / \Delta t / L0 = \Delta v / L0 = v_{p1} - v_{p2} / d_{p1, p2}$$

심초음파에서는 TDI로 국소 심근의 순간적인 조직속도를 측정함으로써 SR을 계산할 수 있다. 위 공식에서  $v_{p1}$ ,  $v_{p2}$ 는 같은 scanline상에 있는 두 지점( $p1$ ,  $p2$ )에서의 속도를 의미하며  $d_{p1, p2}$ 는 주어진 두 지점 사이의 거리를 나타낸다.

심근의 국소적 변형은 심주기 동안 장축, 원주, 그리고 방사의 3개 방향으로 각각 발생하게 된다. 그러나, 심장근육은 찌부러지지 않는(incompressible)조직이기 때문에 한 방향으로의 변형이 일어나면 반드시 다른 방향으로의 변형도 동시에 일어나 근육의 부피는 항상 일정하게 되므로, 3개중 한 방향으로의 변형만을 측정하면 된다. 그러므로, 심내막 경계를 명확히 확인하지 않아도 심근이 두꺼워지는 속도를 심근이 얇아지는 속도로 대신 평가할 수 있다.<sup>22)</sup>

TV와 달리 SR은 이론상 심장의 전체적 움직임에 거의 영향을 받지 않는다. 그 이유는 전체 심장의 이동(translation)이나 인접조직에 의한 수동적 이끌림(tethering effect)에 의한 속도 요소는 심근의 모든 부위에서 일정하기 때문에 SR의 계산식에서 추가적 속도

요소는 서로 상쇄되므로 SR에 영향을 미치지 못한다. 이러한 이유로 SR은 국소심근 기능을 좀 더 객관화 할 수 있는 지표라 할 수 있으며, tissue velocity처럼 심근의 이동(displacement)을 측정하는 것이 아니라 심근의 변형을 측정하는 것이므로 국소 심근기능을 정확히 반영한다고 할 수 있다.<sup>18)</sup> Evardsen 등<sup>20)</sup>은 관상동맥 폐쇄를 유발하였을 때, Gotte 등<sup>23)</sup>은 심근 경색후 수축기 국소심근기능 이상을 발견하는데 있어서 strain이 tissue velocity보다 더 정확한 지표라고 하였다. SR은 정상 좌심실의 어디에서나 비교적 균일한 측정치를 나타내지만, TV는 두드러진 불균일성을 보이므로 자료의 해석을 복잡하게 한다. 따라서, SR이나 strain의 측정이 좀 더 객관적이고 균일한 심근기능의 지표를 제공하여 국소적 수축력 분석을 단순화 할 수 있게 한다.

TV 또는 SR을 벽운동지수와 비교하였을 때 갖는 장점은 다음과 같다. 1) 배우는데 걸리는 시간이 짧고 관찰자 사이에 판독오류가 적어 심초음파 해석을 위해 반드시 전문가를 필요로 하지 않아도 된다. 2) 심내막의 경계를 파악해야 하는 필요가 없기 때문에 심내막이나 외막의 경계가 불분명한 부위도 분석이 가능하다.

이미 시행되어 온 여러 연구에서 TV와 SR이 관상동맥질환을 정확히 진단할 수 있음이 증명되었으나 영상자료의 추가적 분석이 필요하고 이에 따른 시간소모가 많다는 단점이 있다. 따라서 최근에는 tissue velocity curve를 시간으로 적분하여 얻어진 심근의 이동(displacement)이나 strain 또는 SR을 color map으로 나타낸 image가 개발되었다. 이를 이용하면 offline 분석에 소요되는 시간을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 한 눈에 심근운동을 파악할 수 있어 이러한 새로운 기술의 임상적 유용성에 관한 연구도 활발히 진행중이다.

## 제한점

1) TDI의 일반적인 제한점- TDI는 angle dependency로 인해<sup>15)18)</sup> 좌심실 축과의 각이 20° 이내에서만 정확한 분석이 가능하며 gray scale의 수준에 상당한 영향을 받는다. 또한 apex는 고정되어 있고 초음파 beam에 상대적으로 수직이므로 TV나 SR이 덜 정확하고 변화폭이 크다. 현재까지의 기법으로는 두 방법 모두 곡선형의 상당한 noise로 인한 어려움 때문에 아직까지는 재현성이 낮은 문제점이 있다. 또한, 정상인에서

의 정상치가 아직 확립되어 있지 않아 TV나 SR을 임상에 적용하는데 어려움이 되고 있다. 2) 본 연구에서의 제한점- TDI의 해석에서 noise signal을 극복하기 위해서 3개 심주기 평균을 사용하기도 하나, 본 연구에서는 단일 심주기를 사용하였다. 새로운 지표로서 strain을 같이 측정할 수 있으나 이 연구에서는 TV와 SR만을 대상으로 하였으며 interobserver concordance는 평가하지 않았다. 또한, 대상 환자군에 다혈관 질환이 많이 포함되어 있어 각기 다른 병변의 위치에 따른 심근분절의 TV와 SR의 차이점을 분석하거나 localization할 수 없었다는 문제점이 있었다. 그러므로, 향후 보다 많은 환자들을 대상으로 병변 위치에 따라 동일한 군(homogenous group)으로 분류하고 이를 분석하는 연구가 필요하다고 생각된다.

## 요 약

### 배경 및 목적 :

Tissue Doppler image(TDI)에서 파생된 tissue velocity(TV)와 strain rate(SR)는 국소적 심근 기능을 객관적이고 정량적으로 평가할 수 있는 새로운 지표이다. 여러 실험과 임상 연구에서 이들의 유용성이 증명되고 있으나 우리나라에서 관상동맥질환에서 운동부하검사를 시행한 후 얻어진 TV와 SR에 대한 연구는 아직까지 없다. 따라서, 저자는 관상동맥 협착이 있는 환자에서 운동부하 후 TV와 SR의 변화를 알아보고자 하였고 이들과 심실 벽운동지수와의 상관관계를 분석하여 이들 지표의 유용성을 연구하고자 하였다.

### 방 법 :

심장질환이나 기타 다른 전신질환이 없는 정상인 21명과 조영술에서 50%이상의 협착이 확인된 관상동맥 협착증 환자 21명을 대상으로 Bruce protocol에 따른 운동부하 전후에 심초음파를 촬영하였다. 각 영상에서 얻어진 TDI data의 offline분석을 통하여 16개 심근 분절에서 각각 peak systolic TV(PSTV)와 peak systolic strain rate(PSSR)을 측정하였다.

### 결 과 :

16개 분절 중 운동 부하 후 PSTV 또는 PSSR이 유의한 증가를 보인 분절은 정상 대조군에서는 각각 14개, 10개 분절이었으며 관상동맥 질환군에서는 각각 9개,

7개 분절이었다. 운동부하 후 base, mid, apical 분절의 PSTV평균은 정상 대조군에서  $8.44 \pm 1.28$ ,  $6.31 \pm 1.18$ ,  $3.48 \pm 0.83$  cm/sec, 관상동맥 질환군에서  $6.56 \pm 1.6$ ,  $4.26 \pm 1.25$ ,  $1.25 \pm 1.27$  cm/sec로 양군 모두에서 base, mid, apical순으로 감소되었으나 그 절대값은 관상동맥 질환군이 정상 대조군에 비해 유의하게 감소되어 있었다( $p < 0.05$ ). PSSR의 base, mid, apical 분절의 평균은 정상 대조군에서  $-2.53 \pm 0.97$ ,  $-2.36 \pm 0.86$ ,  $-2.52 \pm 0.97$  /sec, 질환군에서  $-2.19 \pm 0.51$ ,  $-1.91 \pm 0.5$ ,  $-1.39 \pm 0.73$ /sec로 정상 대조군에서는 균일하였으나( $p > 0.05$ ), 질환군에서는 균일하지 않았다. 벽운동지수와 의 상관관계에서 PSTV는  $p=0.41$ 로 유의한 상관관계가 없었지만 PSSR은  $r=-0.45$ ,  $p=0.03$ 으로 통계학적으로 유의한 음의 상관관계가 있었다.

## 결론:

본 연구는 TV나 SR을 이용하여 관상동맥 질환에서 운동부하시 허혈성 심근을 구별할 수 있고 심근기능을 객관적, 정량적으로 측정할 수 있다는 것을 보여주었으며 이러한 스트레스 심초음파의 정량화는 시각적 벽운동평가의 주관성을 극복할 수 있을 것이다. 또한 협착이 있는 관상동맥으로 인해 관류장애를 받는 국소적 허혈 심근 부위는 운동 후 정상인보다 유의한 감소를 보이므로 이러한 차이를 관상동맥 질환의 유무와 위치를 예측하는데 이용할 수 있겠다.

**중심 단어 :** 도플러 심초음파 ; Strain ; 관상동맥질환.

## REFERENCES

- Picano E, Lattanzi F, Orlandini A, Marini C, L'Abbate A. Stress echocardiography and the human factor: the importance of being expert. *J Am Coll Cardiol* 1991;17:666-9.
- Schiller NB, Shah PM, Crawford M, de Maria A, Devereux R, Feigenbaum H, Gutgesell H, Reichek N, Sahn D, Schnittger I. Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1989;2:358-67.
- Hoffmann R, Lethen H, Marwick T, Arnesen M, Fioretti P, Pingitore A, Picano E, Buck T, Erbel R, Flachskampf FA, Hanrath P. Analysis of inter-institutional observer agreement in interpretation of dobutamine stress echocardiograms. *J Am Coll Cardiol* 1996;27:330-6.
- Wilkenshoff UM, Sovany A, Wigstrom L, Olstad B, Lindstrom L, Engvall J, Janerot-Sjoberg B, Wranne B, Hatle L, Sutherland GR. Regional mean systolic myocardial velocity estimation by real-time color Doppler myocardial imaging: a new technique for quantifying regional systolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 1998;11:683-92.
- Katz WE, Gulati VK, Mahler CM, Gorcsan J 3rd. Quantitative evaluation of the segmental left ventricular response to dobutamine stress by tissue Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 1997;79:1036-42.
- Yamada E, Garcia M, Thomas JD, Marwick TH. Myocardial Doppler velocity imaging: a quantitative technique for interpretation of dobutamine echocardiography. *Am J Cardiol* 1998;82:806-9.
- Mirsky I, Parmley WW. Assessment of passive elastic stiffness for isolated heart muscle and the intact heart. *Circ Res* 1973;33:233-43.
- Uematsu M, Miyatake K, Tanaka N, Matsuda H, Sano A, Yamazaki N, Hirama M, Yamagishi M. Myocardial velocity gradient as a new indicator of regional left ventricular contraction: detection by two-dimensional tissue Doppler imaging technique. *J Am Coll Cardiol* 1995;26:217-23.
- Dumesnil JG, Shoucri RM, Laurenceau JL, Turcot J. A mathematical model of the dynamic geometry of the intact left ventricle and its application to clinical data. *Circulation* 1979;59:1024-34.
- Greenbaum RA, Ho SY, Gibson DG, Becker AE, Anderson RH. Left ventricular fiber architecture in man. *Br Heart J* 1981;45:248-63.
- Cain P, Baglin T, Case C, Spicer D, Short L, Marwick TH. Application of tissue Doppler to interpretation of dobutamine echocardiography and comparison with quantitative coronary angiography. *Am J Cardiol* 2001;87:525-31.
- Voigt JU, Arnold MF, Karlsson M, Hubbert L, Kukulski T, Hatle L, Sutherland GR. Assessment of regional longitudinal myocardial strain rate derived from Doppler myocardial imaging indexes in normal and infarcted myocardium. *J Am Soc Echocardiogr* 2000;13:588-98.
- Jones CJ, Raposo L, Gibson DG. Functional importance of the long axis dynamics of the human left ventricle. *Br Heart J* 1990;63:215-20.
- Alam M, Hoglund C, Thorstrand C. Longitudinal systolic shortening of the left ventricle: an echocardiographic study in subjects with and without preserved global function. *Clin Physiol* 1992;12:443-52.
- Simonson JS, Schiller NB. Descent of the base of the left ventricle: an echocardiographic index of the left ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr* 1989;2:25-35.
- Willenheimer R, Cline C, Erhardt L, Israelsson B. Left ventricular atrioventricular plane displacement: an echocardiographic technique for rapid assessment of prognosis in heart failure. *Heart* 1997;78:230-6.
- Cain P, Baglin T, Khoury V, Case C, Spicer D, Marwick TH. Automated regional myocardial displacement for facilitating the interpretation of dobutamine echocardiography. *Am J Cardiol* 2002;89:1347-53.
- Heimdal A, Stoylen A, Torp H, Skjaerpe T. Real-time strain rate imaging of the left ventricle by ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr* 1998;11:1013-9.
- Sutherland GR, Stewart MJ, Groundstroem KW, Moran CM, Fleming A, Guell-Peris FJ, Riemersma RA, Fenn LN, Fox KA, McDicken WN. Color Doppler-myocardial imaging: a new technique for the assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 1994;7:441-58.
- Evardsen T, Skulstad H, Aakhus S, Urheim S, Ihlen H. Regional myocardial systolic function during acute myocardial



- ischemia assessed by strain Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:726-30.
- 21) Abraham TP, Nishimura RA, Holmes DR Jr, Belohlavk M, Seward JB. *Strain rate imaging for assessment of regional myocardial function: results from a clinical model of septal ablation. Circulation* 2002;105:1403-6.
  - 22) Stoylen A, Heimdal A, Bjørnstad K, Weiseth R, Vik-Mo H, Torp H, Angelsen B, Skjærpe T. *Strain rate imaging by ultra-sonography in the diagnosis of coronary artery disease. J Am Soc Echocardiogr* 2000;13:1053-64.
  - 23) Gotte MJ, van Rossum AC, Twisk JW, Kuijjer JP, Marcus JT, Visser CA. *Quantification of regional contractile function after infarction: strain analysis superior to wall thickening analysis in discriminating infarct from remote myocardium. J Am Coll Cardiol* 2001;37:808-17.