

좌심실 기능평가에 있어 이면성 심초음파 검사를 이용한 Global Circumferential Strain의 유용성

가천의과대학교 길병원 심장내과학교실,¹ 신장내과학교실²

이석인¹ · 신미승¹ · 이준승² · 정욱진¹ · 심은옥¹

강웅철¹ · 문찬일¹ · 안태훈¹ · 최인석¹ · 신익균¹

Global Circumferential Strain by 2-Dimensional Speckle Tracking Method for the Evaluation of the Left Ventricular Function

Seok In Lee, BS¹, Mi-Seung Shin, MD¹, Jun-Seung Lee, MD², Wook-Jin Chung, MD¹, Eun-Ok Shim, RN¹,
Woong Chol Kang, MD¹, Chan Il Moon, MD¹, Tae Hoon Ahn, MD¹, In Suck Choi, MD¹ and Eak Kyun Shin, MD¹

¹Division of Cardiology and ²Division of Nephrology, Department of Internal Medicine, Gachon University of Medicine and Science, Gil Medical Center, Incheon, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives: The speckle tracking method using 2-dimensional (2D) echocardiography is not affected by the tethering of neighboring segments and angulation. Global circumferential strain (GCS) of the left ventricle (LV) has been suggested as a systolic index and correlated with LV contractility. The purpose of this study was to investigate whether acute changes in preload affect global circumferential strain and to evaluate the usefulness of GCS by the speckle tracking method. **Subjects and Methods:** 2D echocardiography was performed in 69 patients with end-stage renal disease before and after hemodialysis to measure the LV end-diastolic volume and LV ejection fraction. 2D images were acquired from the short-axis view of the mid-LV for the evaluation of GCS. **Results:** Mean LV end-diastolic volume significantly decreased from 91.2 ± 33.3 mL to 72.3 ± 32.0 mL ($p < 0.05$), and LV ejection fraction decreased from $63.6 \pm 13.1\%$ to $60.0 \pm 11.2\%$ ($p = 0.006$) after hemodialysis. However, mean GCS showed no significant change after hemodialysis ($17.2 \pm 5.3\%$ vs. $16.6 \pm 4.7\%$, $p = 0.13$). GCS was found to be well correlated with LV ejection fraction ($r = 0.54$, $p < 0.05$) and peak systolic mitral annular velocity ($r = 0.46$, $p = 0.000$), but not with LV preload ($r = 0.06$, $p = 0.622$). **Conclusion:** GCS using the speckle tracking method is a useful index for the evaluation of LV systolic function because it is not affected by acute preload change and is correlated with LV ejection fraction and peak systolic mitral annular velocity. (**Korean Circ J 2008;38:379-386**)

KEY WORDS: Echocardiography; Strains; Ventricular end diastolic volume.

서 론

심초음파 기술의 발달과 함께 심장 수축 기능 평가에 있어

Received: November 21, 2007

Revision Received: March 6, 2008

Accepted: April 3, 2008

Correspondence: Mi-Seung Shin, MD, Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Gachon University of Medicine and Science, Gil Medical Center, 1198 Guwol-dong, Namdong-gu, Incheon 405-760, Korea
Tel: 82-32-460-3054, Fax: 82-32-469-1906
E-mail: msshin@gilhospital.com

기존의 좌심실 구혈률 (ejection fraction), 좌심실 내경과 용적 측정 및 일회 박출량 (stroke volume) 측정 이외에 조직 도플러 영상 (tissue Doppler imaging)을 이용한 심근 조직 (myocardial tissue) 또는 승모판륜 (mitral annulus)의 수축 속도 (systolic velocity), 변형 (strain) 및 변형률 (strain rate)을 측정함으로써 심근의 기능을 직접 평가하는 방법이 도입되었다.¹⁻³⁾ 이외에도 도플러 (Doppler) 심초음파검사를 이용하여 좌심실 구출기와 승모판 유입혈류의 시간 간격을 측정함으로써, 수축기능과 이완기능을 종합적

으로 평가할 수 있는 Tei index가 연구되었다.⁴⁾ 그러나 이러한 방법들은 여러 가지 제한점을 가지고 있는데, 만성적인 승모판막 역류증 (mitral regurgitation), 대동맥판막 역류증 (aortic regurgitation)에 적용된 일부 환자에서는 저하된 심장의 수축 기능에도 불구하고 정상 좌심실 구혈률을 나타낼 수 있으며, 급격한 용적 변화에 의해 영향을 받을 수 있다. 또한 조직 도플러 영상을 이용한 방법의 경우, 주위 조직에 의한 끌림 (tethering) 현상과 복잡한 심장의 움직임 (translation)에 영향을 받고 초음파 방향과 조직의 움직임이 평행하지 않을 때에는 정확한 정보를 얻지 못하는 (angle dependency) 제한점 등이 보고되었다.⁵⁻⁸⁾

이에 비해 이면성 (2-dimensional, 2D) 심초음파 검사의 speckle tracking 방법을 이용한 변형 및 변형률 측정 방법은 조직 도플러 영상을 이용한 방법에 비하여 위의 단점을 보완하면서 다양한 방향의 변형 (longitudinal, circumferential, radial strain)을 측정할 수 있는 장점이 있고, 구혈률 및 심실 수축력과 연관성이 높음이 보고되었다.^{9,10)} 그리하여 2D 심초음파 영상에 적용한 speckle tracking 방법을 이용하여 변형 및 변형률을 측정함으로써 좌심실 기능을 평가하고자 하는 연구들이 진행되고 있으며 global longitudinal, circumferential strain은 심장 수축력의 좋은 지표로 발표되었다.¹¹⁻¹⁵⁾ 그러나 2D 심초음파 검사를 이용한 변형 및 변형률 측정 방법은 좌심실 기능을 평가하는 다른 방법들에 비해 측정에 영향을 미치는 요소에 대한 연구가 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 2D 심초음파 검사를 이용하여 혈액투석 환자의 투석 전후 global circumferential strain (GCS)을 측정하고, 급격한 전부하 (preload)의 변화가 GCS 값에 영향을 미치는지를 평가함으로써 2D 심초음파 검사를 이용한 GCS 측정이 좌심실 기능 평가에 유용할 수 있는지를 연구하고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

혈액투석을 받은 환자는 단시간에 급격한 전부하의 변화를 일으키므로 본 연구의 대상으로 하였다.¹⁶⁻¹⁸⁾ 2004년 10월부터 2006년 9월까지 말기 신부전으로 가천의대 길병원에서 혈액투석을 받은 환자 중 적절한 심장초음파 검사가 이루어졌던 환자 90명을 대상으로 하였다. 이 중 영상의 질이 좋지 못하여 심장내막을 구분하기 어렵고 변형을 정확하게 측정할 수 없거나 연구에 필요한 완전한 자료를 갖추지 못한 21명을 제외한 나머지 69명의 결과를 분석하였다.

심장초음파 검사

M3S 탐촉자를 탑재한 심초음파 장비 (VIVID 7, GE medical System, USA)를 이용하여 투석 전후 각각 한 시간 이내에 기본적인 2D 심초음파 검사를 시행하였다. GCS를 측정

하기 위해 좌심실의 중간부위 (mid-left ventricle, mid-LV)의 단축면 (short-axis view) 영상을 저장하였다. 심첨 4방 및 2방상에서 좌심실의 수축기와 이완기 영상을 얻어 biplane Simpson disk 방법으로 좌심실 이완기말과 수축기말 용적 및 좌심실 구혈률을 함께 측정하였다. 좌심실의 단축상은 tissue speckle tracking 방법을 적용하기 위해 초당 70 frames 이상의 빠르기로 harmonic 영상 (transmit/receive: 1.7/3.4 MHz)을 얻어 저장하였다. 좌심실 이완기 변수로서 조기 이완기 좌심실 유입혈류의 최고 속도 (peak E velocity) 및 감속 시간 (deceleration time)과 후기 이완기 좌심실 유입혈류의 최고 속도 (peak A velocity)를 측정하였으며 조직 도플러 영상 (tissue Doppler imaging)을 이용하여 승모판막의 조직 속도 (mitral annular tissue velocity)를 측정하였다. 또한 다음의 공식 1~4를 이용하여 좌심실 질량지수 (LV mass index)¹⁹⁾와 중벽 분획 수축률 (midwall fractional shortening)^{20,21)}을 구하였다.

LV mass=1.04{(LVIDd+PWTd+IVSTd)³-LVIDd³}×0.8+0.6 (공식 1)

LV mass index (g/m²)=LV mass/body surface area (공식 2)

Midwall FS= $\frac{(LVIDd+PWTd/2+IVSTd/2)-(LVIDs+Hs/2)}{(LVIDd+PWTd/2+IVSTd/2)} \times 100$

(공식 3)

(LVIDd+Hd/2)³-LVIDd³=(LVIDs+Hs/2)³-LVIDs³ (공식 4)

LVID: LV internal dimension, PWT: posterior wall thickness, IVST: interventricular septal thickness, Midwall FS: midwall fractional shortening, H: PWT+SWT, SWT: septal wall thickness, d: diastolic, s: systolic

변 형 (Strain)

혈액투석 전후의 변형은 speckle tracking 방법을 2D 심초음파 영상에 적용하여 전용 프로그램인 EchoPAC platform (2D strain-software package, version 3.3)으로 측정하였다. Mid-LV의 단축상에서 frame을 조절하여 이완기말 영상의 심장내막을 따라 측정부위 (region of Interest, ROI)를 지정하고 ROI의 폭을 조절하면 연속적인 화면에서 심근의 움직임과 두께를 추적할 수 있으며, 목표로 하는 두 지점 사이의 상대적 거리변화는 조직의 수축과 이완을 반영하게 된다.

Mid-LV의 단축면을 6 분절 (anteroseptum, anterior, lateral, posterior, inferior, septal wall)로 나누어 regional circumferential strain을 측정하고, 프로그램에 의해 완전한 환 (ring) 모양의 mid-LV 심근에서 GCS가 자동으로 계산된다 (Fig. 1). 본 연구에서는 자동으로 계산된 peak strain 값을 이용하였다. 양의 변형값은 심근의 이완을 의미하고 음의 변형값은 심근의 수축을 의미하는데 본 연구에서는 좌심실의 수축기능을 평가하기 위한 것으로 일률적으로 절대값을 사용하였다. 또한 심첨 4방도와 2방도에서 좌심실

의 global longitudinal strain (GLS)도 측정하였다.

통 계

자료의 통계 분석은 Statistical Package for Social Science (SPSS) (Version 12.0, SPSS Inc., Illinois, USA)를 이용하였고 통계 수치는 평균 \pm 표준편차로 표시하였다. 혈액투석 전후의 전부하, 구혈률 및 GCS 측정값은 대응표본 t-test로 비교하였다. 전부하 변화와 GCS 변화의 상관관계는 Pearson 상관계수를 이용하여 분석하였고 환자들의 구혈률과 GCS 간의 Pearson 상관계수를 구하였다.

혈액투석을 받지 않으면서 심장기능이 정상인 25명의 대상자로부터 측정된 GCS 평균값과 구혈률 55%를 기준으로 GCS 측정방법의 민감도와 특이도를 측정하였다. 관찰자 내, 그리고 관찰자 간의 신뢰도를 측정하기 위해 재시험법 (test-retest method)으로 GCS를 재측정한 후, intra-class correlation 방법으로 신뢰도를 확인하였다. 관찰자 내의 경우 69명에 대해 GCS를 재측정하였고 관찰자 간의 경우는 다른 시험자가 임의로 10명에 대하여 GCS를 재측정하여 신뢰도를 확인하였다. P값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

대상 환자 69명의 평균 연령은 50 ± 11 세 (23~77세)였으며 40대가 24명으로 가장 많았고 남성은 33명이었다. 평균

키와 체표면적은 각각 160 ± 8.5 cm (143~184 cm)와 1.59 ± 0.18 m² (1.2~2.1 m²)이었다. 69명의 환자 중 29명이 좌심실 기능저하를 가지고 있었으며, 승모판막 역류증 (mitral regurgitation)이 20명, 대동맥판막 역류증 (aortic regurgitation)이 5명, 좌심실 비대가 12명에서 관찰되었다. 또한 36명에서 당뇨병이 있었고 38명은 고혈압이 있었다 (Table 1). 투석 전후 체중, 혈압, 맥박수는 Table 2와 같은데, 체중과 수축기, 이완기 혈압은 투석 후 유의하게 감소한 반면 맥박수는 투석 전후의 유의한 차이가 없었다.

전부하는 투석 전 91.2 ± 33.3 mL에서 투석 후 72.3 ± 32.0 mL로 유의하게 ($p=0.000$) 감소하였고 구혈률은 투

Table 1. Baseline characteristics of the study subjects (n=69)

Age (years)	50.0 ± 11.5 (23-77)		
Gender (M/F)	33/36		
Height (cm)	160.0 ± 8.50 (143-184)		
Body weight (kg)	57.0 ± 9.5		
BSA (m ²)	1.59 ± 0.18 (1.2-2.1)		
MR (n=20)	G I/IV (n=12)	G II (n=6)	G III (n=2)
AR (n=5)	G I/IV (n=2)	G II (n=3)	
LV hypertrophy	n=12		
DM	n=36		
HTN	n=38		
BUN (mg/mL)	67.7 ± 23.3 (12.0-113.0)		
Cr (mg/mL)	9.33 ± 2.97 (2.40-15.80)		

BSA: body surface area, MR: mitral regurgitation, AR: aortic regurgitation, LV hypertrophy: diastolic thickness of left ventricular posterior wall ≥ 12 mm, DM: diabetes mellitus, HTN: hypertension

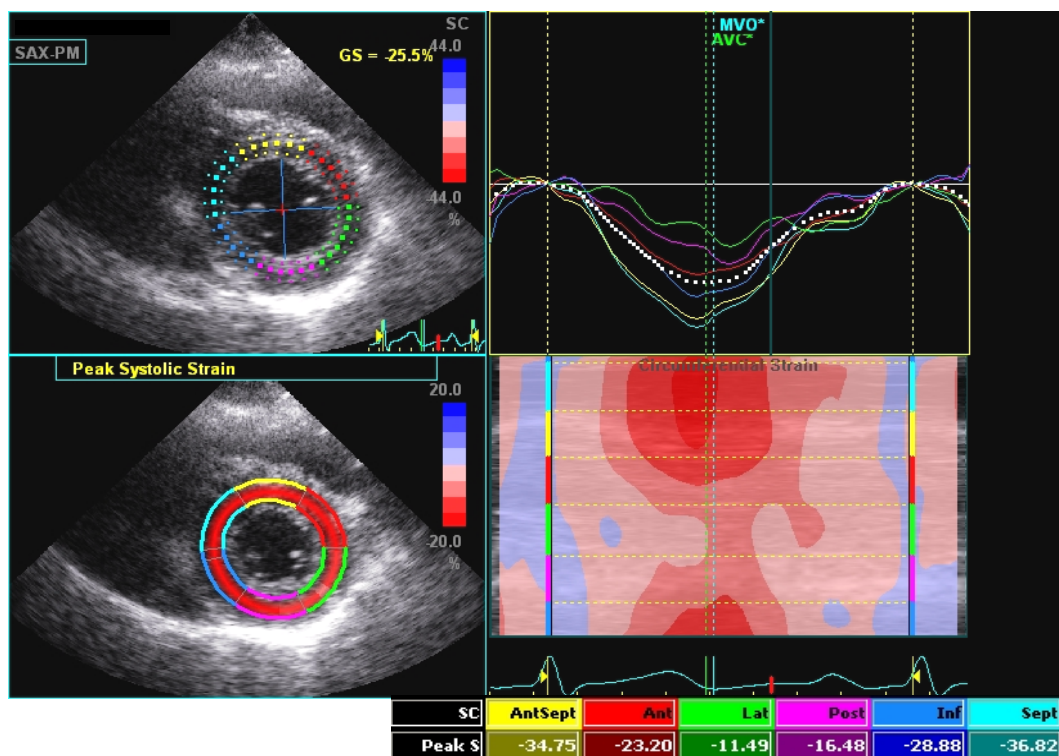


Fig. 1. Speckle tracking method using a 2D echocardiographic image. Automatic frame-by-frame tracking of natural acoustic markers around the traced line was used to measure the global circumferential strain along the selected region of interest at the level of the mid-LV.

Table 2. Comparison of body weight, blood pressure, and heart rate between pre- and post-hemodialysis

	Pre-hemodialysis	Post-hemodialysis	p
BW (kg)	57.0 ± 9.5	54.9 ± 9.4	0.000
SBP (mmHg)	145.5 ± 26.4	133.5 ± 22.2	0.008
DBP (mmHg)	79.0 ± 15.8	73.1 ± 13.9	0.023
HR	75.6 ± 13.1	77.1 ± 15.5	0.329

BW: body weight, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, HR: heart rate per minute

Table 3. Comparison of echocardiographic parameters between pre- and post-hemodialysis

	Pre-hemodialysis	Post-hemodialysis	p
EDV (mL)	91.2 ± 33.3	72.3 ± 32.0	0.000
ESV (mL)	35.4 ± 27.0	30.3 ± 23.4	0.001
EF (%)	63.6 ± 13.1	60.0 ± 11.2	0.006
E (m/sec)	0.83 ± 0.25	0.66 ± 0.22	0.000
A (m/sec)	0.84 ± 0.23	0.78 ± 0.22	0.029
E/A ratio	1.05 ± 0.44	0.90 ± 0.44	0.004
DT (msec)	177.3 ± 56.6	194.4 ± 57.7	0.048
E' (cm/sec)	5.6 ± 1.5	4.9 ± 1.6	0.001
A' (cm/sec)	8.1 ± 2.2	8.2 ± 2.3	0.725
S' (cm/sec)	4.7 ± 1.0	4.6 ± 1.0	0.250
LVMI (g/m ²)	176.8 ± 58.5	173.3 ± 71.9	0.420
MFS (%)	22.3 ± 7.2	20.6 ± 6.0	0.011

EDV: end diastolic volume (preload), ESV: end systolic volume, EF: ejection fraction, E: peak E wave velocity, A: peak A wave velocity, DT: deceleration time, E': mitral annular peak early diastolic velocity, A': mitral annular peak late diastolic velocity, S': mitral annular peak systolic velocity, LVMI: left ventricular mass index, MFS: midwall fractional shortening

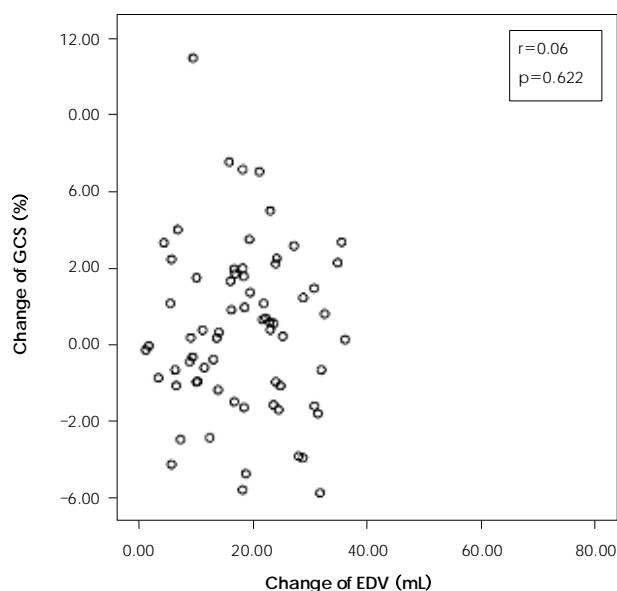
석 전 63.6 ± 13.1%에서 투석 후 60.0 ± 11.2%로 유의하게 ($p=0.006$) 감소하였다 (Table 3). 이완기 변수와 승모판륜 조직 도플러 결과는 Table 3과 같이 승모판륜 후기 이완기 최고속도 (A')와 최고 수축기 속도 (S')를 제외한 변수들에서 투석 후 유의하게 변화되었다.

GCS의 평균값은 투석 전 17.2 ± 5.3%에서 16.6 ± 4.7%로 감소하였으나 통계적 유의성은 없었다 ($p=0.127$) (Table 4). 좌심실의 6 분절에 대한 각각의 변형값은 Table 4와 같은데, 이 중 anteroseptal region과 septal region만이 유의하게 (각각 $p=0.002$, 0.005) 감소되었고 나머지는 유의한 변화가 없었다. 이에 비해 GLS의 경우에는 17.0 ± 4.9%에서 15.1 ± 4.4%로 유의하게 감소하였다 ($p=0.000$) (Table 4). 투석 전후 전부하 변화와 GCS 변화의 상관계수는 0.06이나 통계적으로 유의하지는 않았다 ($p=0.622$) (Fig. 2). 이에 반해, 구혈률과 GCS의 상관계수는 투석 전 0.60 ($p=0.000$), 투석 후 0.45 ($p=0.000$)였으며, 전후 구혈률을 모두 고려하여 상관계수를 측정하였을 때는 0.54 ($p=0.000$)로 상당한 상관관계가 있음을 확인하였다 (Fig. 3). 이는 GCS가 전부하 변화보다 구혈률과 상관관계가 더 크다는 것을 의미한다. 또한 수축기 지표로 사용되는 승모판륜의 최고 수축기 속도 (S')와 중벽 분획 수축률을 대상으로 좌심실 구혈률,

Table 4. Comparison of circumferential and longitudinal strains between pre- and post-hemodialysis

	Pre-hemodialysis	Post-hemodialysis	p
GCS (%)	17.2 ± 5.3	16.6 ± 4.7	0.127
Regional circumferential strain (%)			
Anteroseptal region	18.6 ± 9.3	16.1 ± 8.6	0.002
Anterior region	12.6 ± 7.7	12.7 ± 7.0	0.919
Lateral region	9.8 ± 6.5	10.6 ± 7.0	0.360
Posterior region	12.2 ± 6.7	12.8 ± 6.2	0.512
Inferior region	19.3 ± 7.4	20.0 ± 7.3	0.499
Septal region	22.5 ± 8.0	20.4 ± 7.3	0.005
GLS (%)	17.0 ± 4.9	15.1 ± 4.4	0.000
Apical 4 chamber view	16.6 ± 5.1	15.0 ± 4.6	0.01
Apical 2 chamber view	17.3 ± 5.6	15.3 ± 5.0	0.00

GCS: global circumferential strain, GLS: global longitudinal strain

**Fig. 2.** Correlation between left ventricular preload (end-diastolic volume, EDV) change and global circumferential strain (GCS) change.

GCS 및 GLS와의 상관관계를 살펴보면 Table 5와 같다. S'와 GCS의 상관계수는 0.46 ($p=0.000$), 중벽 분획 수축률과 GCS의 상관계수는 0.35 ($p=0.000$)으로 양의 상관관계를 보였다 (Fig. 4).

혈액 투석을 받지 않으며 심장질환이 없는 25명의 정상인에서 측정된 GCS 평균값 19.1%와 구혈률 55%를 기준으로 GCS 측정방법의 민감도와 특이도를 구하였을 때, 민감도는 93.9%, 특이도는 41.0%였다 (Table 6). GCS의 peak strain을 이용하여 심장기능의 이상을 감별하기 위한 절단값 (cut-off value)을 찾기 위해 ROC curve를 그려본 결과, GCS 절단값이 17.11%일 때 민감도가 72.7%, 특이도는 54.3%였다 (AUC 0.765, Fig. 5). 관찰자 내, 관찰자 간의 신뢰도는 각각 0.955, 0.970이었다.

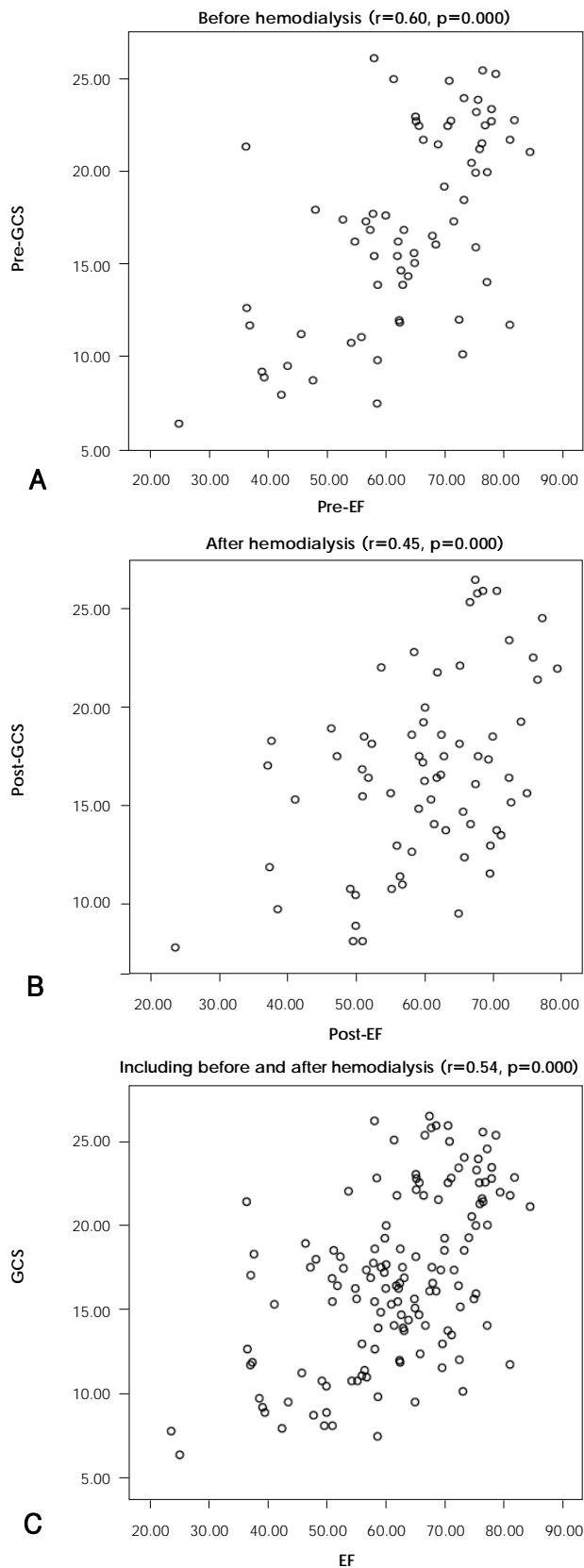


Fig. 3. Correlation between ejection fraction (EF) and global circumferential strain (GCS). A: pre-hemodialysis. B: post-hemodialysis. C: including pre- and post- hemodialysis. Pre-GCS: GCS before hemodialysis, pre-EF: EF before hemodialysis, post-GCS: GCS after hemodialysis, post-EF: EF after hemodialysis.

Table 5. Correlation among mitral annular peak systolic velocity (S'), midwall fractional shortening (MFS), ejection fraction (EF), global circumferential strain (GCS), and global longitudinal strain (GLS)

		EF	GCS	GLS
		r-value (p)	r-value (p)	r-value (p)
S'	A)	0.46 (0.000)	0.42 (0.000)	0.37 (0.022)
	B)	0.25 (0.043)	0.46 (0.006)	0.44 (0.000)
	C)	0.38 (0.000)	0.46 (0.000)	0.40 (0.000)
MFS	A)	0.48 (0.000)	0.35 (0.003)	0.38 (0.008)
	B)	0.05 (0.709)	0.33 (0.006)	0.33 (0.008)
	C)	0.31 (0.000)	0.35 (0.000)	0.37 (0.000)

A) Pre-hemodialysis, B) Post-hemodialysis, C) Including pre- and post- hemodialysis

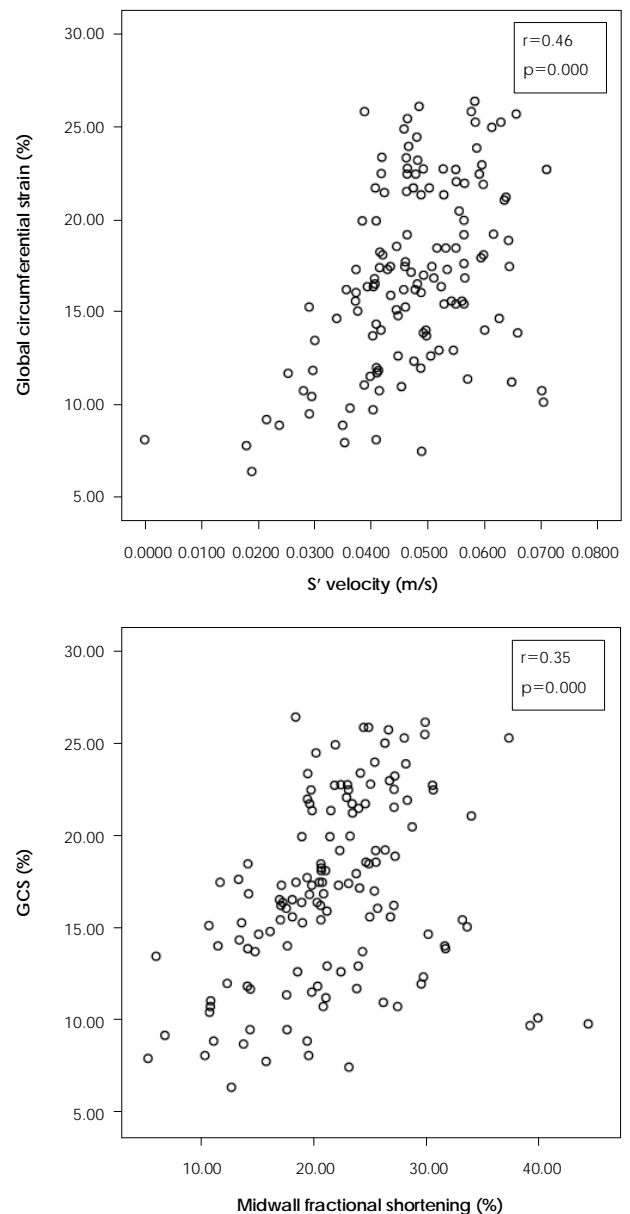


Fig. 4. Correlation between global circumferential strain (GCS) and mitral annular peak systolic velocity (S') (upper graph) and midwall fractional shortening (lower graph).

Table 6. Sensitivity and specificity of global circumferential strain (GCS) obtained by the speckle tracking method to detect normal left ventricular ejection fraction (EF, 55%) in 69 patients with end-stage renal disease (total 138 measurements including pre- and post-hemodialysis). Patients are divided according to the mean GCS (19.1%) of normal persons (n=25)

	EF<55%	EF≥55%
GCS<19.1%	31	62
GCS≥19.1%	2	43
Total	33	105

Sensitivity: 93.9%, specificity: 41.0%

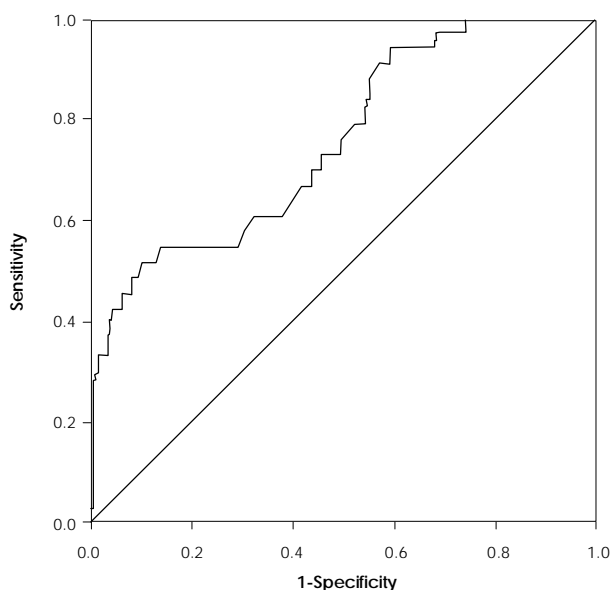


Fig. 5. Receiver operating characteristic (ROC) curve of global circumferential strain (GCS) (area under the curve, AUC 0.765). Sensitivity was 72.7% and specificity was 54.3% when a cut-off GCS value of 17.11% was used to detect normal left ventricular ejection fraction.

고 찰

변형 (strain)이란 가해진 힘에 비례한 조직의 상대적인 변화 (relative deformation)를 뜻하며, 심근에서의 변형 (strain)은 가해진 힘에 대한 심근 조직의 상대적 변형으로 이완기말 상태 (L_0)에 대한 수축기말 길이의 변화량 (ΔL)의 비로 표현되고 단위는 없거나 %로 표시된다.²²⁾ 이러한 변형은 공간적으로 세 가지 축을 기준으로 radial strain, longitudinal strain, circumferential strain으로 구분되며 음의 값을 갖는 것은 심근이 짧아지거나, 얇아지거나, 눌리는 것 (shortening, thinning, compression)을 의미한다.²³⁾ 1980년대 초음파를 이용하여 심장의 변형을 측정하기 시작한 이래로 현재에는 조직 도플러 영상을 이용하거나 2D 심초음파 영상에 speckle tracking 방법을 적용하여 변형의 정도를 측정하고 있다. 조직 도플러 영상은 심근 조직의 속도를 측정하여 국소 심근 기능을 정상화할 수 있고 비교적 전부하에 독립적이면서 초기의 경미한 좌심실 기능 저하에도 민감하다는 장점이 있는 반면, 측정시 acoustic beam에

대한 각도 의존성 (angle dependency)이 있고 주위 분절에 의한 끌림현상 (tethering)과 심장의 이동 (translation)에 영향을 받으며 심첨부를 향한 모든 심근의 누적속도를 반영하여, 측정하고자 하는 심장 분절의 변형을 정확히 반영하지 못하는 단점이 있다. 이에 비해 2D 심초음파 영상에 적용한 speckle tracking 방법은 각도 의존성이나 끌림 현상과 같은 조직 도플러 영상 방법의 단점을 보완하면서 다양한 성분의 변형을 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 또한 frame의 수가 적을 경우 정확한 변형을 측정할 수 없다는 단점이 있다.¹⁰⁾¹³⁾²³⁾²⁴⁾ 이러한 변형 측정에 대한 연구는 조직 도플러 영상 방법에 비해 상대적으로 speckle tracking 방법이 더 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 2D 심초음파 영상에 적용한 speckle tracking 방법을 이용하여 혈액투석 환자의 투석 전후 GCS를 측정함으로써, 투석으로 인한 전부하 변화가 GCS에 영향을 미치지 않음을 확인하고 GCS의 측정이 심장 기능 평가에 유용함을 확인하고자 하였다. 결과에서 보여 주었듯이 혈액투석으로 인한 전부하 변화가 구혈률을 유의하게 감소시킨 반면 GCS에는 영향을 미치지 못했음을 확인할 수 있다. 이는 조직 도플러 영상을 이용한 연구⁸⁾²⁵⁻²⁷⁾에서와 같은 결과로 심근의 변형이 전부하의 변화에 영향을 받지 않음을 의미한다. Frank-Starling 기전에 따르면 단순한 용적의 감소는 심근에 작용하는 장력을 감소시켜 변형의 감소로 이어져야 하는데 전부하의 급격한 감소로 인한 심장의 조절에는 장력변화 이외에도 심박동수, 자율신경계 작용 등이 있고, 본 연구의 대상처럼 말기 신부전 환자들이나 승모판 폐쇄부전과 같은 심장질환을 갖고 있는 환자들에서는 혈액학적 변화에 어느 정도 적응이 되어 있을 수 있으므로 본 논문과 같은 결과가 도출되었다고 본다. 구혈률과 GCS의 상관관계의 결과에서는 0.54로 어느 정도 상관관계가 있었고 S'과 중벽 분획 수축률과도 양의 상관관계를 보였으며 혈액투석에서와 같은 전부하의 급격한 변화에 GCS는 유의하게 차이를 보이지 않았다. 따라서 GCS의 측정은 좌심실 수축력을 측정하는 하나의 지표로 이용할 수 있을 것이다. 그 외 기본적인 심초음파 검사인 이완기 변수들과 승모판륜 조직 도플러 결과에서는 이전 연구에서와 마찬가지로 승모판륜 후기 이완기 최고 속도 (A')를 제외한 변수들이 투석 후 유의하게 변화되었다.²⁸⁻³⁰⁾ 그러나 S'의 경우에는 이전 연구³¹⁾와 다르게 전부하 변화에 유의하게 변화하지 않았다. 이는 이전 연구가 전부하를 증가시킨데 비해 본 연구에서는 혈액투석을 통해 전부하를 감소시킨 차이에서 설명할 수 있을 것이다. 갑작스런 전부하의 감소로 혈압이 떨어지게 되면 생리적 보상작용에 의해 다양한 변화가 일어나게 되는데, 이 중 후부하의 증가도 하나의 변화이다. 후부하가 증가하게 되면 장력이 증가하고 이로 인해 S'가 유의하게 변화되지 않았을 것이다.

본 연구 결과를 종합해보면 2D 심초음파 영상에 적용한

speckle tracking 방법을 이용하여 측정된 GCS는 급격한 전부하 변화에 영향을 받지 않고 구혈률, S' 및 중벽 분획 수축률과 양의 상관관계를 가지면서 앞서 설명한 것과 같이 조직 도플러 영상 방법에 비해 장점이 있으므로 좌심실 기능을 평가하는 데 유용하다고 할 수 있다. 그러나 speckle tracking 방법은 초음파 영상에 noise가 심하여 심장내막을 명확히 구분하기 어려울 때 측정하기 어렵고, 심초음파 영상을 디지털화해야 측정할 수 있으므로 심초음파 검사 후 바로 결과를 얻을 수 없는 단점이 있으므로 차후에 이에 대한 보완이 필요할 것이다.

본 연구의 제한점으로, 연구 대상자가 말기 신부전 환자로서 구멍이 있었기 때문에 과용적 (hypervolemic) 상태에 노출되었고 이것이 연구 결과에 오차를 유발시켰을 수 있다는 점이다. 따라서 GCS 측정이 좌심실 기능을 평가하는 데 유용함을 확인하기 위해서는 정상인을 포함한 대상자의 GCS를 측정하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

요 약

배경 및 목적

2D 심초음파 영상에 speckle tracking 방법을 적용하여 변형 및 변형률을 측정하는 방법은 조직 도플러 영상을 이용한 방법에 비하여 주위 조직에 의한 끌림 (tethering) 현상, 복잡한 심장의 움직임 (translation)과 각 의존성 (angle dependency)에 영향을 덜 받으면서, 다양한 방향의 변형을 측정할 수 있고 심구혈률 및 심실 수축력과 연관성이 높음이 보고되었다. 본 연구에서는 2D 심초음파 영상을 이용하여 혈액투석 환자의 투석 전후 global circumferential strain (GCS)을 측정하고, 급격한 전부하 (preload)의 변화가 GCS 측정에 영향을 미치는지를 평가함으로써 2D 심초음파 검사를 이용한 GCS 측정이 좌심실 기능 평가에 유용할 수 있는지 연구하고자 하였다.

방 법

혈액 투석을 받는 69명의 환자에서 speckle tracking 방법을 2D 심초음파 영상에 적용하여 투석 전후의 GCS를 측정하였다. GCS는 mid-LV의 단축면에서 심장내막에 선을 그려 연속적인 화면에서 심근의 움직임과 두께를 추적하여 측정하였다. 혈액투석 전후의 전부하, 좌심실 구혈률, GCS 측정값을 비교하였고, 전부하 변화와 GCS 변화의 상관관계를 구하였다. 또한 그 외 다른 심초음파 검사값들, 즉 이완기 변수로서 조기 이완기 좌심실 유입혈류의 최고 속도 (peak E velocity) 및 감속 시간 (deceleration time)과 후기 이완기 좌심실 유입혈류의 최고 속도 (peak A velocity), 그리고 승모판륜 조직 도플러 (mitral annulus tissue Doppler)와 global longitudinal strain, 좌심실 질량지수 (LV mass index)와 중벽 분획 수축률 (midwall fractional shortening)을 함께 측정하였다.

결 과

전부하는 투석 전 91.2 ± 33.3 mL에서 투석 후 72.3 ± 32.0 mL로 유의하게 ($p=0.000$) 감소하였고, 좌심실 구혈률도 투석 전 $63.6 \pm 13.1\%$ 에서 투석 후 $60.0 \pm 11.2\%$ 로 유의하게 ($p=0.006$) 감소하였다. 또한 승모판륜 후기 이완기 속도 (A')를 제외한 이완기 변수들도 투석 후 유의하게 변화되었다. 승모판륜 최고 수축기 속도 (S')와 좌심실 질량지수는 투석 후 유의한 변화는 없었다. GCS의 평균값은 투석 전 $17.2 \pm 5.3\%$ 에서 투석 후 $16.6 \pm 4.7\%$ 로 감소하였으나 통계적 유의성은 없었다 ($p=0.127$). 이에 비해 global longitudinal strain의 경우에는 $17.0 \pm 4.9\%$ 에서 $15.1 \pm 4.4\%$ 로 유의하게 ($p=0.000$) 감소하였다.

투석 전후 전부하 변화와 GCS 변화의 상관계수는 0.06 ($p=0.622$)이었으나, 좌심실 구혈률과 GCS의 상관계수는 투석 전 0.60 ($p=0.000$), 투석 후 0.45 ($p=0.000$)였으며, 전후 구혈률을 모두 고려하여 상관계수를 측정하였을 때는 0.54 ($p=0.000$)로 상당한 상관관계가 있었다. 또한 S'와 중벽 분획 수축률은 GCS와 각각 0.46 ($p=0.000$), 0.35 ($p=0.000$)으로 양의 상관관계가 있었다. 혈액 투석을 받지 않으며 심장질환이 없는 25명의 정상인에서 측정된 GCS 평균값 19.1% 와 구혈률 55% 를 기준으로 GCS 측정방법의 민감도와 특이도를 구하였을 때, 민감도는 93.9% 였고 특이도는 41.0% 였다.

결 론

Speckle tracking 방법을 2D 심초음파 영상에 적용하여 GCS를 측정하여 좌심실 기능을 평가하는 방법은 혈액 투석과 같은 급격한 전부하 변화에도 영향을 받지 않으면서 구혈률, 승모판륜 최고 수축기 속도 (S') 및 중벽 분획 수축률과 양의 상관관계를 보이므로 좌심실 기능을 평가할 수 있는 유용한 지표이다.

중심 단어: 심초음파 검사; 변형; 이완기말 용적.

REFERENCES

- 1) Sutherland GR, Stewart MJ, Groundstroem KW, et al. *Color Doppler myocardial imaging: a new technique for the assessment of myocardial function.* J Am Soc Echocardiogr 1994;7:441-58.
- 2) Pislaru C, Abraham TP, Belohlavek M. *Strain and strain rate echocardiography.* Curr Opin Cardiol 2002;17:443-54.
- 3) Sutherland GR, Di Salvo G, Claus P, D'hooge J, Bijnens B. *Strain and strain rate imaging: a new clinical approach to quantifying regional myocardial function.* J Am Soc Echocardiogr 2004;17:788-802.
- 4) Tei C. *New non-invasive index for combined systolic and diastolic ventricular function.* J Cardiol 1995;26:135-6.
- 5) Agricola E, Galderisi M, Oppizzi M, et al. *Pulsed tissue Doppler imaging detects early myocardial dysfunction in asymptomatic patients with severe mitral regurgitation.* Heart 2004;90:406-10.
- 6) Barberato SH, Pecoits Filho R. *Influence of preload reduction on Tei index and other Doppler echocardiographic parameters of left ventricular function.* Arq Bras Cardiol 2006;86:425-31.
- 7) Abraham TP, Nishimura RA, Holmes DR Jr, Belohlavek M, Seward JB. *Strain rate imaging for assessment of regional myo-*

- cardiac function: results from a clinical model of septal ablation. *Circulation* 2002;105:1403-6.
- 8) Greenberg NL, Firstenberg MS, Castro PL, et al. Doppler-derived myocardial systolic strain rate is a strong index of left ventricular contractility. *Circulation* 2002;105:99-105.
 - 9) Serri K, Reant P, Lafitte M, et al. Global and regional myocardial function quantification by two-dimensional strain: application in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1175-81.
 - 10) Marwick TH. Measurement of strain and strain rate by echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1313-27.
 - 11) Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, et al. Two-dimensional strain-A novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1021-9.
 - 12) Modesto KM, Cauduro S, Dispenzieri A, et al. Two-dimensional acoustic pattern derived strain parameters closely correlate with one-dimensional tissue Doppler derived strain measurements. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:315-21.
 - 13) Park KH, Song JK, Suh IW, et al. The usefulness of 2-dimensional longitudinal strain for prediction of the postoperative left ventricular systolic function in patients with valvular heart disease causing volume overloading. *Korean Circ J* 2006;36:272-8.
 - 14) Reisner SA, Lysyansky P, Aqmon Y, Mutlak D, Lessick J, Friedman Z. Global longitudinal strain: a novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:630-3.
 - 15) Helm RH, Leclercq C, Faris OP, et al. Cardiac dyssynchrony analysis using circumferential versus longitudinal strain. *Circulation* 2005;111:2760-7.
 - 16) Chakko S, Girgis I, Contreras G, Perez G, Kessler KM, Myerburg RJ. Effects of hemodialysis on left ventricular diastolic filling. *Am J Cardiol* 1997;79:106-8.
 - 17) Vancheri F, Barberi O, Cammalleri G, et al. Echopulmonary evaluation of left ventricular function after hemodialysis. *G Ital Cardiol* 1985;15:673-6.
 - 18) Nixon JV, Mitchell JH, McPhaul JJ Jr, Henrich WL. Effect of hemodialysis on left ventricular function: dissociation of changes in filling volume and in contractile state. *J Clin Invest* 1983;71:377-84.
 - 19) Devereaux RB, Alonso DR, Lutas EM, et al. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. *Am J Cardiol* 1986;57:450-8.
 - 20) de Simone G, Devereux RB, Roman MJ, et al. Assessment of left ventricular function by the midwall fractional shortening/end-systolic stress relation in human hypertension. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:1444-51.
 - 21) Jung HO. Evaluation of midwall function using echocardiography. *J Cardiovasc Ultrasound* 2007;15:115-20.
 - 22) Gilman G, Khandheria BK, Hagen ME, Abraham TP, Seward JB, Belohlavek M. Strain rate and strain: a step-by-step approach to image and data acquisition. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1011-20.
 - 23) D'hooge J, Heimdal A, Jamal F, et al. Regional strain and strain rate measurements by cardiac ultrasound: principles, implementation and limitations. *Eur J Echocardiogr* 2000;1:154-70.
 - 24) Amundsen BH, Helle-Valle T, Edvardsen T, et al. Noninvasive myocardial strain measurement by speckle tracking echocardiography: validation against sonomicrometry and tagged magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:789-93.
 - 25) Anderson NH, Terkelsen CJ, Sloth E, Poulsen SH. Influence of preload alterations on parameters of systolic left ventricular long-axis function: a Doppler tissue study. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:941-7.
 - 26) Eidem BW, McMahon CJ, Ayres NA, et al. Impact of chronic left ventricular preload and afterload on Doppler tissue imaging velocities: a study in congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:830-8.
 - 27) Dalsgaard M, Snyder EM, Kjaergaard J, Johnson BD, Hassager C, Oh JK. Isovolumic acceleration measured by tissue Doppler echocardiography is preload independent in healthy subjects. *Echocardiography* 2007;24:572-9.
 - 28) Oğuzhan A, Arinç H, Abacı A, et al. Preload dependence of Doppler tissue imaging derived indexes of left ventricular diastolic function. *Echocardiography* 2005;22:320-5.
 - 29) Hung KC, Huang HL, Chu CM, Yeh KH, Fang JT, Lin FC. Effects of altered volume loading on left ventricular hemodynamics and diastolic filling during hemodialysis. *Ren Fail* 2004;26:141-7.
 - 30) Hung KC, Huang HL, Chu CM, et al. Evaluating preload dependence of a novel Doppler application in assessment of left ventricular diastolic function during hemodialysis. *Am J Kidney Dis* 2004;43:1040-6.
 - 31) Amà R, Segers P, Roosens C, Claessens T, Verdonck P, Poelaert J. The effects of load on systolic mitral annular velocity by tissue Doppler imaging. *Anesth Analg* 2004;99:332-8.