

자동 경계 탐지(Automated Border Detection) 심초음파도를 이용한 좌심실 용적 및 구혈율의 측정

고신대학교 의과대학 내과학교실

최현묵 · 김영우 · 이금희 · 이신화 · 박능화 · 지상근 · 차태준 · 주승재 · 이재우

= Abstract =

On-line Assessment of Left Ventricular Volume and Ejection Fraction by the Automated Border Detection Echocardiography

Hyun Muck Choi, M.D., Young Woo Kim, M.D., Keum Hee Lee, M.D.,
Sin Hwa Lee, M.D., Neung Hwa Park, M.D., Sang Keun Ji, M.D.,
Tae Joon Cha, M.D., Seung Jae Joo, M.D., Jae Woo Lee, M.D.

Department of Internal Medicine, Kosin Medical College, Pusan, Korea

Background : The automated border detection(ABD) echocardiography has the ability of recognizing the endocardial-blood interface, and therefore, on-line estimation of the left ventricular(LV) volume every cardiac cycle. Compared with the off-line conventional 2-dimensional echocardiographic method that requires tracing the endocardial border manually, the ABD system can be a convenient and objective method in the estimation of the LV volume and the ejection fraction(EF). The purpose of this study is to compare the LV volume and EF between the on-line ABD system and the conventional off-line echocardiographic method.

Method : In two weeks, 83 adult patients older than 16 years of age were referred to our echocardiographic laboratory. Among these 83 patients, 64 patients who had a normal sinus rhythm were included to our study. Using the Hewlett-Packard SONOS 1500, a 2.5 MHz transducer was placed at the cardiac apex. Patients with an apical 4 chamber view of the LV in which at least 75% of the endocardium was clearly seen were selected for study. On that view, the ABD system was turned on, and the transmit power and the time-gain compensation controls were adjusted in order to approximate the automated border to the visually apparent endocardial surface. The LV end-diastolic volume(LVEDV) and LV end-systolic volume(LVESV) were calculated by the method of disc. LVEDV, LVESV, and EF were displayed every cardiac cycle. Also the off-line estimation of the LV volume was performed by the method of disc, after manually tracing the endocardial border on the apical 4 chamber view.

Results : 44 patients(69%) of 64 patients had $\geq 75\%$ of the LV endocardium visualized. LVEDV, LVESV, and EF with the ABD system were highly correlated with those with the off-line, manually traced method($r=0.95, 0.95, 0.8$, respectively), but LVEDV and EF with the ABD system were significantly less than those with the latter($p<0.01$). The limits of agreement between two methods(off-line, manually traced method-ABD system) were somewhat wide.

Those of LVEDV, LVESV and EF were $+22 \sim -10\text{ml}$ (mean 6ml), $+15 \sim -14\text{ml}$ (mean 0.1ml), and $+19 \sim -12\%$ (mean 3.8%), respectively.

Conclusion : LVEDV, LVESV, and EF measurements by the ABD system and the off-line manually traced methods have a strong correlation. The ABD system should have clinical applications in setting, in which measurements of LV volume and EF are important, but, the comparison with a more reliable method is necessary.

KEY WORDS : Automated border detection (ABD) echocardiography · Left ventricular volume · Ejection fraction.

서 론

이면성 심초음파도는 심실의 크기, 심벽 두께, 좌심실 용적 및 기능의 정량적인 평가에 있어서 아주 유용하나¹⁻⁵⁾, 실제 임상에서 선택된 정지 화면을 정량화 하기 위해서는, 심내막과 심실의 경계를 수동으로 그린 후, 이를 컴퓨터에 입력하고, 분석하는 작업이 필요한데, 이를 위해서는 분석 컴퓨터가 필수적으로 갖춰져 있어야 하고, 시간이 많이 소요되며, 심내막과 심실의 경계를 그리는 데 상당한 경험을 필요로 하므로, 좌심실 기능은 주로 주관적이고 정성적인 방법으로 평가되어 왔다. 따라서 심초음파로 심실 기능을 자동적으로 정량화하기 위해 여러 방법들이 제시되었으나⁶⁻¹²⁾, 주로 컴퓨터를 이용하여 정지 화면(off-line)에서 심내막과 혈액과의 경계를 자동으로 찾아낸 후 정량화 하였다. 최근에는 심내막과 혈액의 후방 산란(backscatter)에 차이가 있음을 이용하여 합성 후방 산란 영상(integrated backscatter image)을 얻어서, 이면성 심초음파도의 연속 화면(on-line)에서 자동으로 심내막과 혈액의 경계를 구분하고, 컴퓨터 분석을 시행하여 각 심주기 마다 심실강 면적, 면적 변화를 등을 측정할 수 있는 방법이 개발되었다¹³⁾. 이러한 자동 경계 탐지 심초음파도(automated border detection (ABD) echocardiography)는 기존의 이면성 심초음파도에 비해서 좌심실 기능을 정량적으로 평가할 수 있는 보다 간편하고, 객관적인 방법이 될 수 있다. 자동 경계 탐지 시스템과 off-line 시스템에서 각각 구한 좌심실강 면적, 면적 변화율 사이에 유의한 상관 관계가 있음이 보고 되었으나¹³⁻¹⁵⁾, 좌심실 용적 및 구혈율에 관한 연구는 아직 없다. 이에 저자들은 이면성 심초음파도 연속 화면에서 자동 경계 탐지 시스템을 작동 시켜서 구한 좌심실 용적

및 구혈율을, 정지 화면에서 수동으로 심내막의 경계를 그려서 구한 수치와 비교하여 보았다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

2주간 본원 심초음파실에 의뢰된 16세 이상의 모든 성인 환자(83명) 가운데 심율동이 동율동인 64명 중 심첨 4방 단면도에서 좌심실 심내막의 경계가 75% 이상 구분되는 44명(69%)을 연구 대상으로 하였다. 평균 연령은 50 ± 16 세 였으며, 남자는 15예, 여자는 29예였다. 대상 환자 44예는 건강인 18예, 고혈압 9예, 각종 심질환 13예, 만성 신부전 3예, 뇌경색 1예였다.

2. 방 법

Hewlett-Packard사의 SONOS 1500을 이용하여 2.5 MHz의 탐촉자를 심첨부에 위치한 후 심첨 4방 단면도를 얻고, 육안으로 좌심실 심내막의 경계가 75% 이상 구분되는 환자에서 자동 경계 탐지 시스템을 작동시켜 심내막과 혈액 경계면이 연속된 붉은선으로 나타나도록 하였는데, 이때 심실강내의 산란을 줄이고, 이면성 심초음파상에서 육안으로 확인 가능한 심내막의 경계와 일치 시키기 위해서 transmit power와 time-gain compensation을 조절하였다. 또한 좌심실 측벽의 심내막이 불분명하면, lateral gain control을 사용하였다. 이 상태에서 승모판을 기준으로 관심 영역(region of interest)을 설정하면 자동으로 좌심실의 장축이 정해지고(Fig. 1), 이 장축을 중심으로 SONOS 1500에 내장된 software를 이용하여, disc 방법으로 좌심실 확장기말 용적, 수축기말 용적 및 구혈율이 매 심박동마다 연속적으로 계산 되었으며, 이를 video tape에 녹화하였다(Fig. 2). 또한 심첨 4방 단면도를 video tape에 녹화한 후, 재생시켜서 좌심실

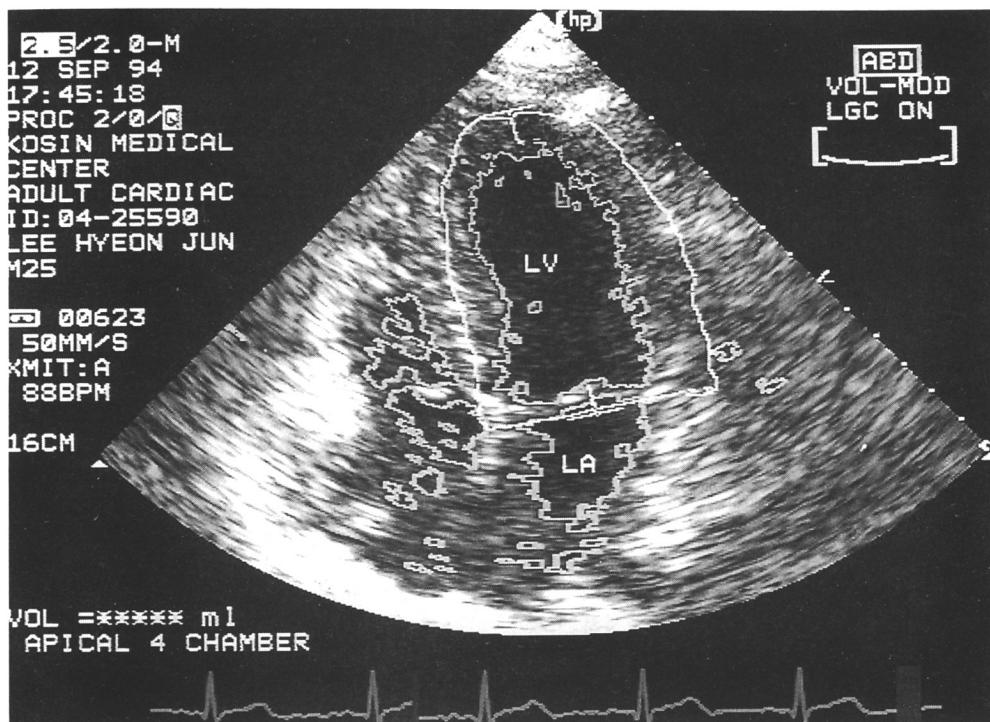


Fig. 1. Apical four-chamber, automated border detection echocardiogram with an user-defined region of interest

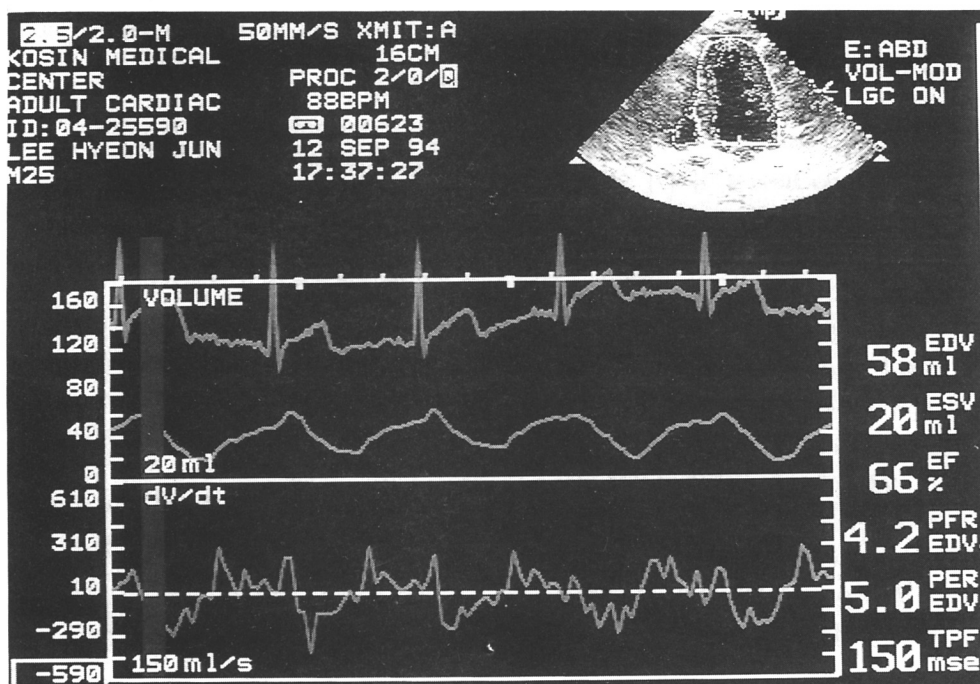


Fig. 2. Waveform display of left ventricular volumes and ejection fractions within the region of interest measured by the automated border detection system

Table 1. LVEDV, LVESV, and EF by two different methods

	Manual tracing	ABD	p Value
LVEDV(ml)	71±28	65±24	<0.001
LVESV(ml)	30±22	29±20	0.93
EF(%)	61±13	57±12	<0.01

Values are mean±SD.

ABD : Automated border detection

LVEDV : Left ventricular end-diastolic volume

LVESV : Left ventricular end-systolic volume

EF : Ejection fraction

수축기말 및 확장기말 화면을 얻은 후, 좌심실 심내막을 trackball을 이용하여 수동으로 그린 후, computer에 내장된 software를 이용하여, disc 방법으로 좌심실 확장기말 용적, 수축기말 용적 및 구혈율을 구하였다. off-line 시스템에서는 3 cycle 이상, on-line 시스템에서는 5 cycle 이상의 평균치를 취하였다. 모든 통계치는 평균±표준 편차로 나타내었고, 통계 처리는 SPSS/PC⁺를 이용하여, on-line 측정치와 off-line 측정치의 비교에는 paired t-test를 시행하였고, 두 방법간의 일치 한계와 상관 계수는 각각 Bland-Altman의 분석¹⁶⁾과 상관 관계 분석을 시행하여 구하였다.

결 과

좌심실 확장기말 용적 및 구혈율의 평균값은, 자동 경계 탐지 시스템으로 구한 경우 65±24ml, 57±12%로 수동 off-line으로 구한 71±28ml, 61±13%보다 각각 유의하게 작았으나($p<0.001$, $p<0.01$), 수축기말 용적은 자동 경계 탐지 시스템으로 구한 경우 29±20ml, 수동 off-line으로 구한 경우 30±22ml로 유사하게 측정되었다($p=0.93$)(Table 1). 자동 경계 시스템과 수동 off-line으로 구한 좌심실 용적 및 구혈율과의 상관 관계를 검토해 보면, 좌심실 확장기말 용적은 두 방법간에 r 값 0.95로 매우 높은 상관 관계가 있었으나($p<0.001$), 일치 한계(limits of agreement; 수동 off-line 방법-자동 경계 탐지 시스템)는 +22~-10ml(평균 6ml)였으며(Fig. 3, 4), 좌심실 수축기말 용적 역시 두 방법간에 r 값 0.95로 매우 높은 상관 관계가 있었으나($p<0.001$), 일치 한계는 +15~-14ml(평균 0.1ml)로 그 범위가 넓게 나타났다(Fig. 5, 6). 또한 좌심실 구혈율도 두 방법간에 r 값 0.8로 높은 상관 관계를 보였으나($p<0.001$), 일치 한계의

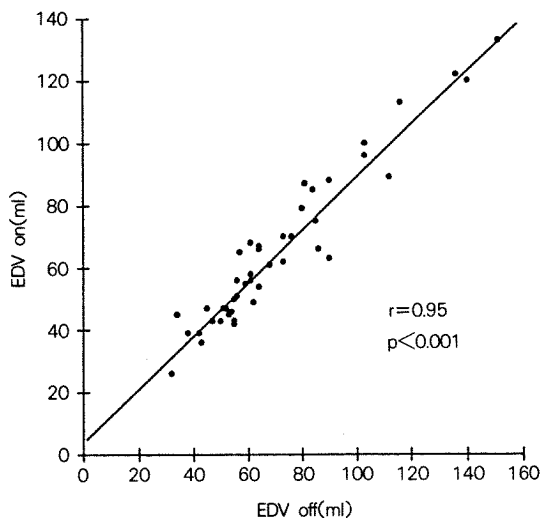


Fig. 3. Plots of left ventricular end-diastolic volume (EDV) as measured with the automated border detection system(EDV on) versus the off-line trackball operator-traced method(EDV off)

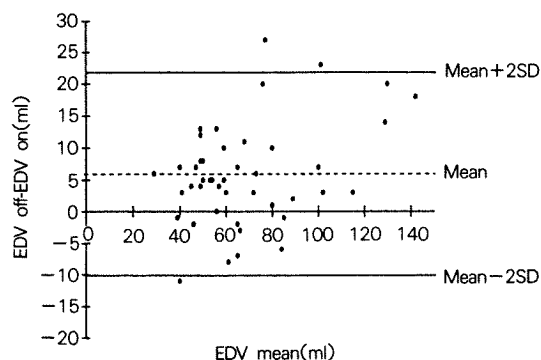


Fig. 4. Limits of agreement of left ventricular end-diastolic volume(EDV) determined by the automated border detection system(EDV on) and the off-line trackball operator-traced method(EDV off)

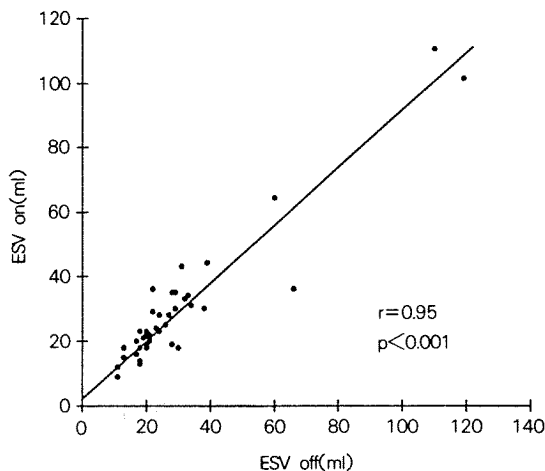


Fig. 6. Limits of agreement of left ventricular end-systolic volume(ESV) determined by the automated border detection system(ESV on) and the off-line trackball operator-traced method(ESV off)

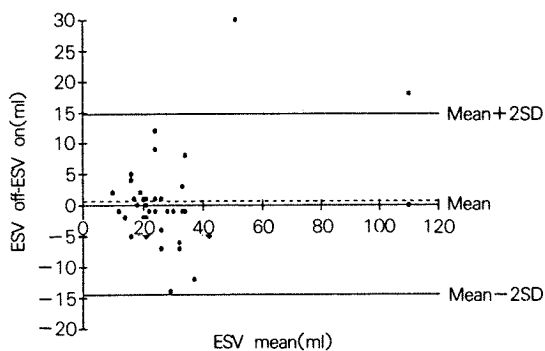


Fig. 5. Plots of left ventricular end-systolic volume(ESV) as measured with the automated border detection system(ESV on) versus the off-line trackball operator-traced method(ESV off)

범위는 $+19 \sim -12\%$ (평균 3.8%)로 넓게 나타났다 (Fig. 7, 8). 전체적으로 자동 경계 탐지 시스템이 수동으로 구하는 방법보다 약간씩 적게 측정되었다 (Table 2).

고 안

합성 후방 산란 영상(integrated backscatter image) 시스템에서는 각각의 주사선(scan line)에서 돌아온 방사 주파 신호(radiofrequency signal)를 합성 후방 산란, 즉 power signal로 변환시킨다. 조직과 혈액에서 생긴 power signal은 역치 한계와 비교하여 구분되고,

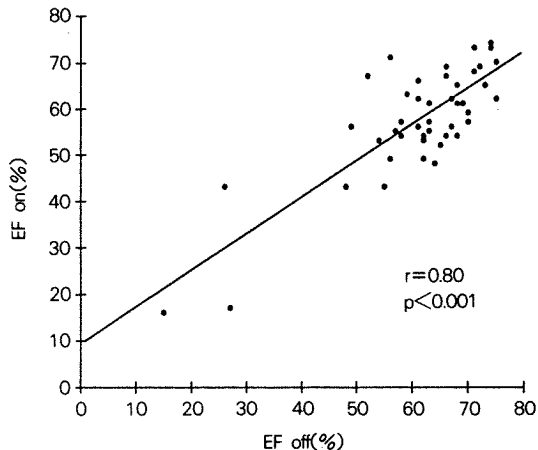


Fig. 7. Plots of ejection fraction(EF) as measured with the automated border detection system(EF on) versus the off-line trackball operator-traced method(EF off)

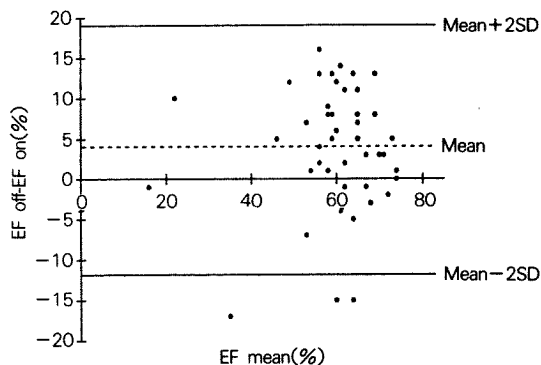


Fig. 8. Limits of agreement of ejection fraction(EF) determined by the automated border detection system(EF on) and the off-line trackball-traced method(EF off)

각각의 주사선에서 조직과 혈액의 경계가 결정된다. 이 경계 신호가 움직이는 화면에서 연속된 선으로 그려진다^{13,14,17}.

이러한 ABD 시스템의 정확성을 평가한 연구들이 있었는데, Perez 등¹³은 유두근 위치에서의 흉골연 단축 단면도와 심첨 4방 단면도에서 ABD 시스템으로 구한 좌심강 면적과, 동일한 위치의 정지 화면에서 좌심실 심내막의 경계를 수동으로 그려서 구한 좌심강 면적 사이에 매우 높은 상관 관계가 있음을 보고하여, ABD 시스템의 정확성을 증명하였고, 분획 면적 변화율(fractional area change)이 좌심실 기능 평가 지표로 이용될 수 있음을 제시하였다. Vandenberg 등¹⁴과

Table 2. Differences(off-line manual tracing-ABD system) in LV volumes and EF using two different methods

	Mean difference	SD	Limits of agreement (mean \pm 2SD)
LVEDV(ml)	6	8.0	+22~-10
LVESV(ml)	0.1	7.2	+15~-14
EF(%)	3.8	7.8	+19~-12

ABD : Automated border detection

LVEDV : Left ventricular end-diastolic volume

LVESV : Left ventricular end-systolic volume

EF : ejection fraction

이 등¹⁵⁾도 유사한 결과를 보고하였다. 그러나, ABD 시스템으로 구한 좌심실 용적의 정확성을 평가한 연구는 저자들이 아는 범위내에서는 아직 없다.

이면성 심초음파로 좌심실 용적을 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나, American Society of Echocardiography(ASE)에서 disc 방법(modified Simpson's rule)을 권장하고 있으며⁵⁾, 이 방법으로 구한 좌심실 용적 및 구혈율이 혈관 영화 조영술로 구한 수치와 가장 잘 일치한다고 하여¹⁸⁾, 본 연구에서는 disc 방법으로 좌심실 용적 및 구혈율을 구하였다. 그러나, ASE에서는 심첨 4방 단면도 뿐만 아니라, 심첨에서 이와 수직이 되는 단면도, 즉 심첨 2방 단면도를 같이 얻은 후 좌심실 용적을 구하는 것을 권장하고 있으나, ABD 시스템에서는 좌심실 용적 측정시 하나의 단면도만을 이용하여 용적을 구해야 하기 때문에 이면성 심초음파도 정지 화면에서도 심첨 4방 단면도만을 이용하여 좌심실 용적을 구하였다.

ABD 시스템으로 좌심실 용적 및 구혈율을 정확히 구하기 위해서는, 우선적으로 좌심실 심내막의 경계가 어느 정도 명확히 구분되어야 한다. 기존의 연구^{14,19)}에서와 같이 좌심실 심내막의 경계가 75% 이상 구분되는 환자만을 대상으로 하였는데, 2주간 본원 심초음파실에 의뢰된 모든 환자 중 심율동이 동율동인 환자 64명을 대상으로 하였을 때, 심첨 4방 단면도에서 상기 기준을 만족시키는 환자는 44명으로 69%였다. 이는 흉골연 단축 단면도에서 심내막의 경계가 75% 이상 구분되는 환자의 비율이 60% 정도이라는 타 연구 결과^{14,19)} 보다 약간 많았다. 그러나, 초음파와 평행하게 놓였을 때 심내막의 영상이 감소되거나 소실되는 측벽의 "echo drop out"²⁰⁾을 극복하기 위해서 lateral gain control을 사용했음에도 불구하고, 약 30%에서는 적절한 이면성 심초음파도 화면을 얻을 수

없어서 연구 대상에서 제외되었는데, 이는 이면성 심초음파도의 공통된 제한점으로, 이를 극복하기 위한 기술의 개발이 필요하다.

ABD 시스템으로 구한 좌심실 확장기말 용적이 이면성 심초음파도 정지 화면에서 수동으로 구한 수치에 비해서 유의하게 작았으나, 좌심실 수축기말 용적은 두 방법 사이에 차이가 없었다. 이는 확장기 때 승모판이 좌심실 안으로 이동하는데, 수동으로 구하는 경우에는 승모판의 이동을 고려하지 않으나, ABD 시스템에서는 승모판이 차지하는 용적을 제외하기 때문에 좌심실 확장기말 용적 측정에 차이가 있었던 것으로 생각된다¹⁴⁾. 그 결과로 ABD 시스템으로 구한 좌심실 구혈율이 수동으로 구한 수치보다 유의하게 작았다. 두가지 다른 방법에 의해서 구한 좌심실 확장기말 용적, 수축기말 용적, 구혈율 모두 매우 높은 양의 상관 관계(r 값 0.95, 0.95, 0.8)를 보였다. 그러나, 각각의 방법에 의해서 구한 수치의 일치 정도를 평가하기 위해서 구한 일치 한계의 범위가 매우 넓었다. 즉 좌심실 구혈율의 경우 일치 한계의 상한치는 19% 하한치는 -12%로서, 만약 ABD 시스템으로 구한 좌심실 구혈율이 60% 라면, 수동으로 구한 좌심실 구혈율은 79%에서 48%가 될 수 있다. 또한 좌심실 용적이 커질수록 일치 한계의 범위가 넓어지는 경향이 있었다(Fig. 6, 8). 이와 같은 차이는 이면성 심초음파도 정지 화면에서 수동으로 심내막을 그릴 때 관계되는 시술자의 주관적인 편견, 화면 영상의 질, echo drop out, ABD 시스템에서 gain 조절에 따른 심내막 위치의 변화, 좌심실 확장기 때 승모판의 좌심실로의 이동 등에 기인한다고 생각된다. 따라서 ABD 시스템으로 구한 좌심실 용적 및 구혈율은 그 절대치 보다는 추적 검사시 상대적 변화를 측정하는 방법으로 더 유용하리라 추측된다. 본 연구에서는

시행해 보지 못했으나, ABD 시스템의 관측자간 변이는 11%로, 이면성 심초음파도 정지 화면에서 수동으로 구한 경우의 10%에 비해 유의한 차이가 없었다고 한다¹⁴⁾.

ABD 시스템으로 구한 좌심실 용적 및 구혈율을 정확히 평가하기 위해서는, 이면성 심초음파 정지 화면에서 구한 수치와 비교하기 보다는, 보다 더 믿을 만한 방법으로 구한 수치와의 비교가 필요하다. Lindower 등¹⁹⁾은 유두근 위치의 흉골연 단축 단면도에서 ABD 시스템을 이용하여 얻은 좌심강의 분획 면적 변화율이 방사선 핵종 좌심실 조영술로 구한 좌심실 구혈율과 매우 높은 상관 관계($r=0.92$)가 있음을 보고하였고, 동일한 위치에서 ABD 시스템으로 얻은 일회 심박출 면적(stroke area=maximum area-minimum area) 또한 일회 심박출량(stroke volume)과 매우 높은 상관 관계가 있음이 동물 실험²¹⁾과 관동맥 우회술을 시행받는 환자²²⁾에서 보고 되었다. 그러나, 아직 ABD 시스템으로 측정된 용적 및 구혈율을 상기와 같은 방법들과 비교해 본 연구가 없기 때문에 향후 보다 더 정확한 다른 방법과의 비교 연구가 필요하다.

요 약

연구 배경 :

자동 경계 탐지 심초음파도는 심내막-혈액의 경계면을 탐지하여 좌심실 면적 및 용적을 각각의 심주기마다 계산할 수 있어서, 기존의 이면성 심초음파 정지 화면에서 수동으로 심내막의 경계를 그려서 구하는 좌심실 용적 측정 방법에 비해 보다 간편하고, 객관적인 방법이 될 수 있다. 본 연구의 목적은 자동 경계 탐지 심초음파도와 기존의 수동 방법으로 구한 좌심실 용적 및 구혈율을 서로 비교해 보는데 있다.

방 법 :

2주간 본원 심초음파실에 의뢰된 16세 이상의 모든 성인 환자(83명) 중 심율동이 동율동인 64명을 대상으로 하였다. Hewlett-Packard 사의 SONOS 1500을 이용하여 2.5MHz의 탐촉자를 심첨부에 위치한 후 심첨 4방 단면도를 얻고, 좌심실 심내막의 경계가 75% 이상 구분되는 환자에서 자동 경계 탐지 시스템을 작동시켜 disc 방법으로 좌심실 수축기말 용적, 확장기말 용적, 구혈율을 구하였다. 또한 심첨 4방 단면

도에서 좌심실 수축기말 및 확장기말 정지 화면을 얻은 후 수동으로 심내막을 그리고, SONOS 1500에 내장된 software를 이용해서 disc 방법으로 용적 및 구혈율을 구하였다.

결 과 :

1) 64명 중 좌심실 심내막의 경계가 75% 이상 구분되는 환자는 44명(69% ; 평균 연령 50 ± 16 세 ; 남 15명, 여 29명)이었다.

2) 자동 경계 탐지 시스템과 이면성 심초음파도 정지 화면에서 수동으로 구한 좌심실 확장기말 용적, 좌심실 수축기말 용적, 구혈율 사이에는 매우 높은 양의 상관 관계(r 값 0.95, 0.95, 0.8)가 있었다.

3) 정지 화면에서 수동으로 구한 용적 및 구혈율에서 자동 경계 탐지 시스템으로 구한 용적 및 구혈율을 각각 \pm 값의 평균 및 일치 한계(limits of agreement)는 좌심실 확장기말 용적이 6ml, $+22 \sim -10$ ml, 좌심실 수축기말 용적이 0.1ml, $+15 \sim -14$ ml, 좌심실 구혈율이 4%, $+19 \sim -12\%$ 로 자동 경계 탐지 시스템이 수동으로 구하는 방법보다 약간씩 적게 측정되었다.

결 론 :

자동 경계 탐지 초음파도로 측정된 좌심실 용적, 구혈율과 기존의 수동 방법으로 구한 수치 사이에 매우 높은 상관 관계가 있어서, 자동 경계 탐지 심초음파도가 좌심실 용적 및 구혈율 측정에 응용될 수 있을 것으로 생각되나, 보다 더 정확한 다른 방법과의 비교가 필요하다.

References

- 1) Feigenbaum H : *Echocardiography*. 5th Ed. p134, Philadelphia, Lea & Febiger, 1994
- 2) Wyatt HL, Heng MK, Meerbaum S, Gueret P, Hestenes J, Dula E, Corday E : *Cross-sectional echocardiography ; II. Analysis of mathematical models for quantifying volume of the formalin-fixed left ventricle*. *Circulation* 61 : 1119, 1980
- 3) Starling MR, Crawford MH, Sorensen SG, Levi B, Richards KL, O'Rourke RA : *Comparative accuracy of apical biplane cross-sectional echocardiography and gated equilibrium radionuclide angiography for estimating left ventricular size and performance*. *Circulation* 63 : 1075, 1981
- 4) Quinones MA, Waggoner AD, Reduto LA, Nelson

- JG, Young JB, Winters WL, Ribeiro LG, Miller RR : *A new, simplified and accurate method for determining ejection fraction with two-dimensional echocardiography. Circulation* 64 : 744, 1981
- 5) Schiller NB, Shah PM, Crawford M, DeMaria A, Devereux R, Feigenbaum H, Gergesell H, Reichek N, Sahn D, Schnittger I, Silverman NH, Tajik AJ : *Recommendations for quantification of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. J Am Soc Echo* 2 : 358, 1989
- 6) Garcia E, Gueret P, Bennett M, Corday E, Zuhl W, Meerbaum S, Corday S, Swan HJC, Berman D : *Real-time computerization of two-dimensional echocardiography. Am Heart J* 101 : 783, 1981
- 7) Skorton DJ, McNary CA, Child JS, Newton FC, Shah PM : *Digital image processing of two-dimensional echocardiograms ; Identification of the endocardium. Am J Cardiol* 48 : 479, 1981
- 8) Zwehl W, Levy R, Garcia E, Haendchen RV, Child W, Corday SR, Meerbaum S, Corday E : *Validation of a computerized edge detection algorithm for quantitative two-dimensional echocardiography. Circulation* 68 : 1127, 1983
- 9) Buda AJ, Delp EJ, Meyer CR, Jenkins JM, Smith DN, Bookstein FL, Pitt B : *Automatic computer processing of digital 2-dimensional echocardiograms. Am J Cardiol* 52 : 384, 1983
- 10) Collins SM, Skorton DJ, Geiser DA, Nichols JA, Conetta DA, Pandion NG, Kerber RE : *Computer-assisted edge detection in two-dimensional echocardiography ; Comparison with anatomic data. Am J Cardiol* 53 : 1380, 1984
- 11) Conetta DA, Geiser EA, Oliver LH, Miller AB, Conti CR : *Reproducibility of left ventricular area and volume measurements using a computer endocardial edge-detection algorithm in normal subjects. Am J Cardiol* 56 : 947, 1985
- 12) Geiser EA, Conetta DA, Limacher MC, Ostlund Stokton V, Oliver LH, Jones B : *A second generation computer-based edge detection algorithm for short axis, two-dimensional echocardiographic images ; Accuracy and improvement in interobserver variability. J Am Soc Echo* 3 : 79, 1990
- 13) Perez JE, Waggoner AD, Barzilai B, Melton HE, Miller JG, Sobel BE : *On-line assessment of ventricular function by automatic boundary detection and ultrasonic backscatter imaging. J Am Coll Cardiol* 19 : 313, 1992
- 14) Vandenberg BF, Rath LS, Stuhlmuller P, Melton HE, Skorton DJ : *Estimation of left ventricular cavity area with an on-line, semiautomated echocardiographic edge detection system. Circulation* 86 : 159, 1992
- 15) 이봉렬 · 정의룡 · 류재근 · 황종현 · 임현주 · 박현식 · 김신우 · 채성철 · 전재은 · 박의현 : 자동경계탐지(Automatic Border Detection) 심초음파술을 이용한 좌심실 단면적 및 기능의 평가. 순환기 24 : 380, 1994
- 16) Bland JM, Altman DG : *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet* 1 : 307, 1986
- 17) 박의현 : ABD(Automatic Border Detection) 심초음파술을 이용한 수축기 심기능. 한국심초음파학회지 1 (Suppl) : SY 2, 1993
- 18) Folland ED, Parisi AF, Moynihan PF, Jones DR, Feldman CL, Tow DE : *Assessment of left ventricular ejection fraction and volumes by real-time, two-dimensional echocardiography. Circulation* 60 : 760, 1979
- 19) Lindower PD, Rath L, Preslar J, Burns TL, Rezai K, Vandenberg BF : *Quantification of left ventricular function with an automated border detection system and comparison with radionuclide ventriculography. Am J Cardiol* 73 : 195, 1994
- 20) Cahalan MK, Ionescu P, Melton HE, Adler S, Kee LL, Schiller NB : *Automated real-time analysis of intraoperative transesophageal echocardiograms. Anesthesiology* 78 : 477, 1993
- 21) Gorcsan J III, Lazar JM, Romand J, Pinsky MR : *On-line estimation of stroke volume by means of echocardiographic automated border detection in the canine left ventricle. Am Heart J* 125 : 13, 1993
- 22) Gorcsan J III, Gasior TA, Mandarino WA, Deneault LG, Hattler BG, Pinsky MR : *On-line estimation of changes in left ventricular stroke volume by transesophageal echocardiographic automated border detection in patients undergoing coronary artery bypass grafting. Am J Cardiol* 72 : 721, 1993