

## 폐동맥 고혈압이 국소 우심실 Strain에 미치는 영향

건국대학교병원 심장혈관센터,<sup>1</sup> 호흡기센터<sup>2</sup>정상만<sup>1</sup> · 김성해<sup>1</sup> · 유광하<sup>2</sup> · 김현중<sup>1</sup> · 한성우<sup>1</sup> · 유규형<sup>1</sup> · 이 영<sup>1</sup>

## Impact of Pulmonary Hypertension on the Regional Right Ventricular Strain

Sang-Man Chung, MD<sup>1</sup>, Sung-Hae Kim, MD<sup>1</sup>, Kwang-Ha Ryu, MD<sup>2</sup>, Hyun-Joong Kim, MD<sup>1</sup>,  
Sung-Woo Han, MD<sup>1</sup>, Kyu-Hyung Ryu, MD<sup>1</sup> and Yung Lee, MD<sup>1</sup><sup>1</sup>Cardiovascular Center, and <sup>2</sup>Respiratory Center, Konkuk University Hospital, Seoul, Korea

## ABSTRACT

**Background and Objectives :** Evaluation of right ventricular dysfunction in patients with pulmonary hypertension is useful for clinical management and it has prognostic implications. The purpose of this study was to evaluate the impact of pulmonary hypertension on the regional strain of the right ventricle and to assess the correlation between pulmonary arterial (PA) pressure and right ventricular (RV) strain. **Subjects and Methods :** A total of fifty-one patients with chronic obstructive lung disease were classified into two groups on the basis of the presence of normal PA pressure (group I, PA pressure <35 mmHg, n=22) or high PA pressure (group II, PA pressure ≥ 35 mmHg, n=29), as estimated by the peak tricuspid regurgitation velocity on Doppler echocardiography. The left ventricular (LV) ejection fraction and RV fractional area change were assessed by conventional echocardiography, and the strain values were obtained from the RV, the LV free wall and the septum. **Results :** The baseline characteristics were similar in both groups except for the peak PA pressure (group I:  $30.2 \pm 3.9$  mmHg, group II:  $44.4 \pm 7.5$  mmHg,  $p < 0.00001$ ). Group II had statistically reduced basal RV strain (-%) ( $20.3 \pm 7.1$ ) compared to group I ( $24.1 \pm 6.7$ ,  $p = 0.033$ ). The basal RV strain correlated with the PA pressure ( $r^2 = 0.269$ ,  $p = 0.004$ ). **Conclusion :** RV strain could determine regional RV dysfunction in patients with pulmonary hypertension. (Korean Circulation J 2006; 36:578-582)

**KEY WORDS :** Strains ; Right ventricle.

## 서 론

폐동맥 고혈압은 선천성 및 후천성 심질환, 폐성심, 폐색전증 등에 발생하며, 우심실의 비후, 수축 및 확장 기능 장애를 보이므로 정확한 우심실 기능 평가는 환자의 임상 경과 추적 및 예후 판단에 매우 중요하다.<sup>1-3)</sup> 이면성 심초음파와 도플러 검사는 여러 심장 질환에서 전체적, 혹은 국소적 좌

심실 기능을 평가할 수 있는 간편하고 비관혈적인 유용한 방법이라는 것은 이미 잘 알려져 있다. 그러나 우심실 기능 평가에 관한 연구는 다양하게 시도 되었음에도 불구하고 우심실의 해부학적 구조 및 기능적 특성으로 인한 제한점 때문에 신뢰할 수 있는 평가 방법에 대한 논란이 많았다.<sup>4)5)</sup> 현재까지도 일상적 심초음파 검사에 의한 여러 지표들이 우심실 기능 평가에 널리 사용되고 있으나, 지표의 정확도나 편의성에 한계가 있어 임상적으로 이용에 제한이 많다.

최근 폐동맥 고혈압에서 우심실 strain은 감소하고, 우심실 기능 변화와 밀접한 관계가 있다는 연구 결과들이 밝혀지면서,<sup>6-8)</sup> 우심실 strain 측정이 우심실 기능 평가의 유용한 방법이 될 수 있는 가능성이 제시되고 있다. 그러나, 우심실 기저부(basal RV)나 중앙부(mid RV) 등 국소 부위에 대한 폐동맥 고혈압의 영향에 관해서는 아직까지 연구 결과를 찾아

논문접수일 : 2006년 5월 30일

수정논문접수일 : 2006년 7월 26일

심사완료일 : 2006년 8월 2일

교신저자 : 유규형, 143-729 서울 광진구 화양동 4-12

건국대학교병원 심장혈관센터

전화 : (02) 2030-5030 · 전송 : (02) 2030-7748

E-mail : khryu@kuh.ac.kr

보기 어렵다. 본 연구의 목적은 폐동맥 고혈압 환자에서 국소 우심실 strain을 측정하여 폐동맥압이 우심실 국소 부위 strain에 미치는 영향과 상관관계를 분석하여, 우심실 국소 기능 장애의 특성과 원인을 밝히는 데 있다.

## 대상 및 방법

### 환자의 특성

2004년 12월부터 2005년 3월 까지 건국대학교 병원 내과에서 만성 폐쇄성 폐질환 진단 하에 안정적인 임상 경과를 보이는 51예(남자 27예, 여자 24예)를 대상으로 하였다. 삼첨판 역류 최고 혈류 속도를 이용하여 최고 폐동맥압을 정하고, 이 값이 35 mmHg 미만인 경우를 폐동맥 고혈압이 없는 군(1군; 22예), 35 mmHg이상인 경우를 폐동맥 고혈압군(2군; 29예)으로 분류하였다. 심근색을 비롯한 허혈성 심질환, 심방세동, 심근증, 판막질환, 고혈압성 심질환 등이 있거나 강심제, 혈관 확장제 등을 사용하는 경우는 제외하였다. 기존에 사용하던 기관지 확장제, 스테로이드 흡입제 등은 계속 사용하도록 하였다.

### 심초음파 검사

Vivid 7(GE Vingmed) 심초음파기의 2.5 MHz 탐촉자를 사용하여 흉골연 장축 영상에서 좌심실의 수축기말 및 확장기말 내경을 측정하여 좌심실 구혈율을 산출하였고, 심첨부 4방 영상에서 우심실 수축기말 및 확장기말 면적을 측정하여 우심실 면적 감소율을 구하였다. 삼첨판 폐쇄부전의 최고 혈류 속도를 측정하여 우심방과 우심실 압력차를 구하였고, 여기에 10 mmHg 가산한 값을 최고 폐동맥압으로 정하였다. 심첨부 4방 영상에서 좌심실벽, 심실중격, 우심실벽 각 부위에 조직 속도 영상(tissue velocity image)의 관심영역을 설정하여 디지털로 저장하였으며, 이 때 도플러 방향과 심근 수축 방향이 최대한 평행하도록 노력하였다. Frame rate는 초당 95~139 frame이었고, aliasing velocity는 15~32 cm/sec였다. Off-line에서 EchoPac software(Version 3.1.5)를 이용하여 좌우 심실벽과 심실중격의 기저부 및 중양부에 8 mm 간격의 표본 용적(sample volume)을 두어 국소 strain을 측정하였고 단위는 %로 하였다. 관찰자내 변이를 위해 좌우 심실벽과 심실중격 28개소에서 strain을 반복 측정하였다.

### 통계 분석

통계 분석은 SPSS for Window version 12.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)프로그램을 사용하였으며 측정값은 평균±표준편차로 표시하였고, 양 군 간 평균값의 비교는 student t-test를, 최고 폐동맥압과 strain 및 우심실 면적 감소율과의 상관관계는 단순 회귀분석을 사용하였다. 관찰자내 변이는 측정치 평균에 대한 측정치 차이의 백분율(%), 그리고 측정치간의 상관계수로 표시하였다. P값이 0.05 미만이면 통계적으로 유의한 것으로 하였다.

## 결 과

두 군 간에서 나이, 좌심실 구혈율, 우심실 면적 감소율은 차이가 없었으며, 최고 폐동맥압은 2군에서  $44.4 \pm 7.5$  mmHg로 1군의  $30.2 \pm 3.9$  mmHg에 비해 유의하게 높았다( $p < 0.00001$ )(Table 1). 우심실 기저부 strain(%)은 1군이  $24.1 \pm 6.7$ , 2군이  $20.3 \pm 7.1$ 로 2군에서 유의하게 감소되어 있었다( $p = 0.033$ )(Table 2)(Fig. 1). 그러나 심실중격, 좌심실의 기저부 및 중양부, 우심실의 중양부 strain은 양 군 간에 차이가 없었다(Table 2)(Fig. 1). 2군에서 최고 폐동맥압이 증가할수록 우심실 기저부 strain은 의미있게 감소하는 상관관

**Table 1.** Baseline characteristics and echocardiographic indices of the patients

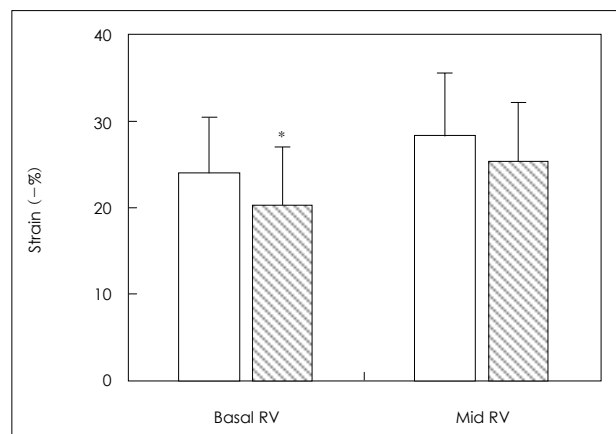
Characters	Group I	Group II	p
Number	22	29	
Male/female	12/10	15/14	
Age	$59.8 \pm 13.8$	$62.2 \pm 15.7$	0.338
LVEF (%)	$61.9 \pm 15.3$	$62.1 \pm 9.5$	0.4969
RV fractional area change (%)	$45.5 \pm 17.2$	$44.2 \pm 19.5$	0.865
Peak PA pressure (mmHg)	$30.2 \pm 3.9$	$44.4 \pm 7.5$	<0.00001

LVEF: left ventricular ejection fraction, RV: right ventricle, PA: pulmonary artery

**Table 2.** Regional strain of the patients

Site	Strain (-%)		p
	Group I	Group II	
RV			
Base	$24.1 \pm 6.7$	$20.3 \pm 7.1$	0.033
Mid	$28.3 \pm 7.6$	$25.4 \pm 6.8$	0.154
IVS			
Base	$18.4 \pm 7.2$	$17.1 \pm 7.3$	0.527
Mid	$18.9 \pm 5.9$	$18.6 \pm 4.8$	0.837
LV			
Base	$16.1 \pm 5.7$	$15.8 \pm 6.7$	0.847
Mid	$16.9 \pm 7.7$	$16.3 \pm 7.0$	0.781

RV: right ventricle, IVS: interventricular septum, LV: left ventricle

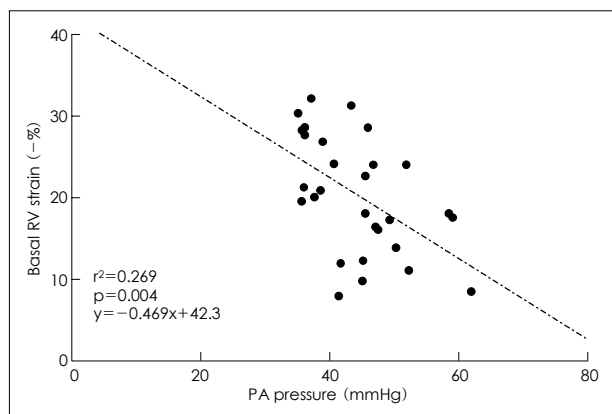


**Fig. 1.** Strain of the basal RV and mid RV. Strain of the basal RV in group II (black bar) was lower than group I (white bar). \*:  $p = 0.033$ . RV: right ventricle.

**Table 3.** Regression analysis of peak PA pressure to other variables in group II

Variable	r <sup>2</sup>	p
Basal RV strain (-%)	0.269	0.004
Mid RV strain (-%)	0.119	0.067
RV fractional area change (%)	0.162	0.098

PA: pulmonary artery, RV: right ventricle

**Fig. 2.** Correlation between PA pressure and basal RV strain in group II. PA: pulmonary artery, RV: right ventricle.

계를 보였으나( $r^2=0.269$ ,  $p=0.004$ )(Table 3)(Fig. 2), 우심실 중앙부 strain과 우심실 면적감소율과는 관계가 없었다(Table 3). 관찰자내 측정치의 평균차이는 11.3%, 상관계수는 0.95였다.

## 고 찰

본 연구는 폐동맥 고혈압 환자에서 국소적 우심실 기능 장애가 존재함을 보여준다. 우심실 비대는 폐동맥 고혈압에 대한 보상기전으로 나타나고 이에 따라 정상적인 심박출량이 유지되지만, 폐동맥 고혈압이 장기간 지속, 악화되면 결국 우심실 기능 부전으로 진행되어 불량한 예후를 보인다.<sup>2,3)</sup> 따라서 적절한 치료와 예후 평가를 위해서는 임상 경과에 따른 정확한 우심실 기능 평가가 무엇보다도 중요하다. 현재까지 심초음파 검사는 심장 기능 평가를 위한 비관혈적이고 정확한 검사방법으로 널리 이용되고 있지만,<sup>4,5)</sup> 우심실은 좌심실과 달리 검사 과정에서 고려하여야 할 몇 가지 제한점이 있다.<sup>4)</sup> 첫째로 좌심실은 구조가 비교적 간단하기 때문에 타원형, 혹은 탄환(bullet)형 등으로 가정하여(geometrical assumption) 면적이나 부피를 측정할 수 있다. 그러나 우심실은 inlet, apical trabeculation, tubular infundibulum 등이 비대칭적으로 서로 복잡하게 연결되는 구조여서 정확한 부피를 측정하기 쉽지 않고, 우심실벽이나 심첨부는 trabeculation이 좌심실에 비해 거칠고 심하여 심내막 경계가 뚜렷하지 않기 때문에 우심실 내경이나 두께를 정확히 측정하기 어렵다.<sup>4)</sup> 둘째로 우심실의 특징적인 해부학, 발생학적 구조로 인하여 inlet과 in-

fundibulum의 수축 방향이 서로 다르다. 그러므로 한 평면에서 시행한 심초음파 영상에 의존한 기능 평가가 전체적인 우심실 기능을 대변한다고 할 수 없다.<sup>5,6)</sup> 또한 우심실은 흉골 뒤에 위치하여 만성 폐질환이 있는 경우 양호한 심초음파 영상을 얻기 어렵고 우심실 형태나 수축기능은 전부하, 후부하, 좌심실 수축기능 등에 의해 많은 영향을 받는다는 점도 심초음파 검사의 우심실 기능 평가를 어렵게 하고 있다.<sup>3)</sup>

조직 도플러 영상으로 심근 속도를 측정하여 심실 기능을 평가하는 방법은 기하학적 가정이 필요 없고, 심내막 경계를 정하는 어려움에서 벗어날 수 있다는 장점이 있다.<sup>9)</sup> 그러나 심장의 움직임에 따른 이동(translation)이나 tethering 효과를 감별할 수 없다는 단점이 있어 심근경색을 비롯한 심장병 환자들의 정확한 심실 기능 평가에 어려움이 있다.<sup>10)</sup> 최근 조직 도플러 영상에서 속도 기울기(velocity gradient)를 이용하여 심근 변형(deformation)에 의한 strain을 측정할 수 있는 방법이 도입되었다. 이는 심근의 이동이나 tethering에 영향을 받지 않으면서 국소적 심실 기능을 평가할 수 있는 유용한 방법인 것으로 알려지면서 이 분야에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>11-13)</sup> 이러한 장점들을 고려하여 심초음파 검사로 한계가 있는 우심실 기능 평가에서 심근 strain 측정이 우수한 방법이 될 수 있을 것으로 판단하였다.<sup>14,15)</sup> 정확한 평가를 위해서는 무엇보다도 정확한 strain 측정이 전제되어야 한다. 이를 위해서는 영상의 frame rate가 충분하여야 하고, 적절한 각도에서 초음파 방향과 심실 수축방향이 나란하여야 하며, 심낭이나 혈액의 움직임에 의한 오차를 방지할 수 있도록 표본 용적(sample volume)을 적절하게 설정하여야 한다.<sup>11,12)</sup> 정상인에서의 장축(longitudinal) strain은 우심실이 좌심실에 비해 크고, 기저부에서 심첨부로 갈수록 증가하는 것으로 되어있다. 전술한 바와 같이 우심실은 구조적, 기능적인 면에서 매우 복잡하기 때문에 우심실 strain 측정에는 더 많은 주의를 요한다.<sup>12)</sup>

폐동맥 고혈압에서 우심실 strain의 변화에 대한 연구는 다양하게 진행되었는데 Lopez-Candales 등<sup>8)</sup>은 20예의 폐동맥 고혈압 환자를 대상으로 strain을 측정하여 우심실벽과 심실 중격의 장축 strain이 감소되어 있음을 보고하였고, Vitarelli 등<sup>6)</sup>은 39예의 만성 폐쇄성 폐질환 환자를 대상으로 우심실 장축 strain을 측정하여 폐동맥 고혈압이 동반되어 있으면 그렇지 않은 경우에 비해 strain이 감소되어 있음을 보고하였다. 우심실은 구조가 복잡하고 부위에 따라 수축방향이 서로 다르다는 점을 고려하면, 폐동맥 고혈압에서 장축 strain 감소가 우심실의 기저부, 혹은 중앙부 등의 국소 부위에 따라 서로 다르게 나타날 가능성을 배제할 수 없다.<sup>6,14)</sup> 현재까지 보고에 의하면 대체로 strain 감소가 우심실 기저부에서 뚜렷하다는 결과를 보이고 있지만,<sup>6,7,14-16)</sup> 이와는 달리 우심실 중앙부, 혹은 심첨부에서 strain 감소가 뚜렷하다는 보고도 있어<sup>17)</sup> 이에 대한 논란의 여지가 있다. 본 연구 결과는 폐동맥 고혈압이 있는 2군에서 우심실 기저부에 의미 있는 strain

감소를 보인 반면, 우심실 중앙부에서의 strain은 감소되어 있으나, 통계적으로는 유의한 소견을 보이지 않아 strain 감소는 우심실 기저부에서 뚜렷함을 알 수 있었다. 이는 폐동맥 고혈압에서 우심실 기능 변화는 우심실 중앙부보다 기저부에서 더 현저하게 나타날 수 있다는 점을 시사한다. 우심실은 좌심실을 둘러싸고 있는 형태로 심첨부 4방 영상에서 보면 기저부가 넓은 삼각형 모양의 구조로 되어있고, 우심실 각 부위의 수축방향은 서로 다르다. 그러나 기저부 수축 방향은 장축 방향과 나란하여 우심실 수축 장애가 가장 먼저 나타나게 되어 strain 감소가 더 현저할 수 있다는 점이 우심실 기저부에서 strain이 감소하는 이유로 추측된다.<sup>4)14)</sup>

Lopez-Candales 등<sup>8)</sup>의 연구에서 대상 환자들의 최고 폐동맥압은 평균 78 mmHg로 매우 높았고 strain 감소는 우심실 및 심실중격의 기저부와 중앙부에서 관찰되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 이보다 낮은 폐동맥압 환자를 대상으로 한 결과 우심실 strain 감소가 기저부에서만 관찰되었으며, 비록 증례수는 적지만 추가적으로 폐동맥 고혈압군을 35~45 mmHg와 45 mmHg 이상의 소그룹으로 나누어 분석하였을 때 45 mmHg 이상에서 우심실 중앙부 strain이 감소하는 소견을 보여 폐동맥압이 상승하면 우심실 기저부 뿐만 아니라 중앙부 strain도 감소함을 나타내었다. 이는 폐동맥 고혈압 발생 초기의 strain 감소는 우심실 기저부에서 제한적으로 나타나고, 질병이 악화되어 폐동맥압이 추가적으로 상승하면 이에 따라 strain 감소가 우심실 기저부에서 중앙부, 혹은 심실중격 부위로 확장될 가능성을 생각해 볼 수 있겠다.<sup>6)8)</sup> 그러나 두 연구는 대상 환자의 성격이나 strain 측정 시의 표본 용적 부위 등에 차이가 있어 직접 비교하기는 어려우며, 이를 뒷받침할 수 있는 연구 결과도 아직 충분치 않아 향후 폐동맥 고혈압의 정도에 따른 우심실 strain 변화를 비교하는 연구 등을 통해 규명되어야 하겠다.

폐동맥 고혈압에서 우심실 strain 감소는 우심실 기능평가의 지표로 사용될 수 있으며 기존의 다른 지표들과도 밀접한 상관관계를 보인다. 현재까지의 연구 결과는 폐동맥 고혈압 환자의 우심실 strain은 방사성 동위원소로 측정된 우심실 구혈율(radionuclide RVEF)과 높은 상관관계를 보이며, 우심실 압 과도 서로 밀접한 관련이 있는 것으로 보고 되고 있다.<sup>6)8)</sup> 본 연구에서는 2군에서 폐동맥압이 증가할수록 우심실 기저부 장축 strain은 감소하는 상관관계를 보였으나, 폐동맥압과 우심실 면적 감소율, 혹은 폐동맥압과 우심실 중앙부 strain과는 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다. 이 결과는 심초음파 검사 상 우심실 구혈을 저하가 발생하지 않은 상황에서 폐동맥압의 증가에 비례해서 우심실 기저부 strain 감소가 나타남을 의미한다.<sup>6)14)</sup> 특히 본 연구가 평균 폐동맥압이 44.4 mmHg로 증중에 속하지 않는 폐동맥 고혈압 환자를 대상으로 하였다는 점을 고려한다면, 폐동맥 고혈압이 심하지 않은 경우에서 우심실 strain 측정이 기존의 심초음파 검사 보다 우심실 기능 장애를 조기에 정확히 평가할 수 있을 것으로 판

단된다. 이 후 질환이 악화되어 폐동맥 고혈압이 중증(severe)으로 진행한다면 strain 뿐만 아니라 심초음파 검사에 의한 지표로도 우심실 기능 장애를 평가할 수 있을 것으로 사료된다.<sup>15)</sup>

이상의 결과에도 불구하고 본 연구에서 나타날 수 있는 몇 가지 제한점이 있다. 우선 대상 환자를 안정적인 임상경과를 보이는 경우로 하였지만, strain은 맥박수나 전부하, 혹은 후부하 등에 의해 영향을 받을 수 있으므로 이와 관련된 우심실 기능 평가의 오류가 발생할 수 있다.<sup>18-22)</sup> 또한 심실 수축기 변형은 장축(longitudinal) 뿐 만 아니라 방사(radial), 원주(circumferential)방향으로도 동시에 발생하는데 장축 strain으로만 우심실 기능을 평가하는 것이 과연 합당한가에 대한 논란이 있을 수 있다.<sup>12)</sup> 본 연구에서는 대상 환자들의 호흡기능에 관한 지표들과 strain을 포함한 우심실 기능 평가 지표들과의 관계, 또는 중증 폐동맥 고혈압 환자에서 폐동맥압과 strain과의 관계에 대한 연구가 이루어지지 않아 이에 관한 추가적 연구도 필요할 것으로 생각된다. 최근 speckle tracking을 이용한 방법이 개발되어 좀더 정확한 strain 측정이 가능해지고 있어 전술한 몇 가지 문제점을 보완한다면 지금보다 향상된 연구 결과를 기대할 수 있을 것이다.<sup>23)</sup>

결론적으로 저자들은 폐동맥 고혈압 환자에서 국소 우심실 strain을 측정하여 우심실 strain은 기저부에서 감소되고, 최고 폐동맥압은 우심실 기저부 strain과 유의한 상관관계가 있음을 확인하였다. 이 결과는 우심실 strain이 폐동맥 고혈압 환자의 국소적 우심실 기능 평가에 유용하게 사용될 수 있음을 시사하는 것으로 사료된다.

## 요 약

### 배경 및 목적 :

폐동맥 고혈압은 우심실 기능 장애를 특징으로 하며 정확한 우심실 기능 평가는 환자의 임상 경과 추적 및 예후 판단에 반드시 필요하나, 우심실 기저부(basal RV)나 중앙부(mid RV) 등의 국소 부위에 대한 폐동맥 고혈압의 영향에 대해서는 확실치 않다. 본 연구는 폐동맥 고혈압 환자의 우심실 strain을 측정하여 폐동맥압이 우심실 국소 부위 strain에 미치는 영향을 분석하여, 우심실 국소 기능 장애의 특성과 원인을 밝히는 데 있다.

### 방 법 :

건국대학교 병원 내과에서 만성 폐쇄성 폐질환으로 안정적인 임상 경과를 보이는 51예에서 최고 폐동맥압이 35 mmHg 미만인 22예를 폐동맥 고혈압이 없는 군(1군), 35 mmHg 이상인 29예를 폐동맥 고혈압군(2군)으로 나누었다. 심초음파 검사 및 조직 속도 영상을 이용하여 좌심실 구혈율, 우심실 면적 감소율, 좌우 심실벽 및 심실 중격의 strain을 구하였다.

### 결 과 :

폐동맥 최고 수축기압은 1군에서  $30.2 \pm 3.9$  mmHg, 2군에

서  $44.4 \pm 7.5$  mmHg로 2군에서 유의하게 높았다. 우심실 기저부 strain(%)은 1군이  $24.1 \pm 6.7$ , 2군이  $20.3 \pm 7.1$ 로 2군에서 유의하게 감소되어 있었으나, 그 외의 심실 중격, 좌심실벽의 기저부 및 중양부, 우심실벽의 중양부 strain은 양 군간에 차이가 없었다. 2군에서 폐동맥 최고 수축기압이 증가할수록 우심실 기저부 strain은 감소하는 상관관계를 보였다.

#### 결론 :

폐동맥 고혈압 환자에서 우심실 strain은 기저부에서 감소되고, 최고 폐동맥압은 우심실 기저부 strain과 유의한 상관관계가 있었다. 이는 우심실 strain이 폐동맥 고혈압 환자의 국소적 우심실 기능 평가에 유용하게 사용될 수 있음을 시사하는 것으로 판단된다.

**중심 단어 :** Strain ; 우심실.

#### REFERENCES

- 1) Levine RA, Gibson TC, Aretz T, et al. Echocardiographic measurement of right ventricular volume. *Circulation* 1984;69:497-505.
- 2) Danchin N, Cornette A, Henriquez A, et al. Two-dimensional echocardiographic assessment of the right ventricle in patients with chronic obstructive lung disease. *Chest* 1987;92:229-33.
- 3) Yilmaz R, Gencer M, Ceylan E, Demirbag R. Impact of chronic obstructive pulmonary disease with pulmonary hypertension on both left ventricular systolic and diastolic performance. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:873-81.
- 4) Otto C. *Textbook of clinical echocardiography*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier Saunders Company; 2004. p.151-9.
- 5) McLaughlin V. Pulmonary arterial hypertension. In: Crawford M, editor. *Cardiology*. 2nd ed. Philadelphia: Mosby Company; 2004. p.1009-16.
- 6) Vitarelli A, Conde Y, Climino E, et al. Assessment of right ventricular function by strain rate imaging in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 2006;27:268-75.
- 7) Lopez-Candales A, Dohi K, Rajagopalan N, et al. Right ventricular dyssynchrony in patients with pulmonary hypertension is associated with disease severity and functional class. *Cardiovasc Ultrasound* 2005;3:23.
- 8) Lopez-Candales A, Dohi K, Bazaz R, Edelman K. Relation of right ventricular free wall mechanical delay to right ventricular dysfunction as determined by tissue Doppler imaging. *Am J Cardiol* 2005;96:602-6.
- 9) Meluzin J, Spinarova L, Bakala J, et al. Pulsed Doppler tissue imaging of tricuspid annular systolic motion: a new, rapid, and non-invasive method of evaluating right ventricular systolic function. *Eur Heart J* 2001;22:340-8.
- 10) Cho GY, Park WJ, Han SW, et al. Quantification of regional wall motion abnormality using myocardial strain in acute myocardial infarction. *Korean Circ J* 2003;33:583-9.
- 11) Gilman G, Khandheria BK, Hagen M, 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.
- 12) Sutherland G, di Savio G, Claus P, D'hooge J, Bijnen B. Strain and strain rate imaging: a new clinical approach to quantifying regional myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:788-802.
- 13) Yip G, Abraham T, Belohlavek M, Khandheria B. Clinical applications of strain rate imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:1334-42.
- 14) Jamal F, Bergerot C, Argaud L, Loufouat J, Ovize M. Longitudinal strain quantitates regional right ventricular contractile function. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2003;285:H2842-7.
- 15) Kjaergaard J, Sogaard P, Hassager C. Right ventricular strain in pulmonary embolism by Doppler tissue echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1210-2.
- 16) Dambrauskaitė V, Herbots L, Claus P, et al. Differential changes in regional right ventricular function before and after a bilateral lung transplantation: an ultrasonic strain and strain rate study. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:432-6.
- 17) Smiseth O, Ihlen H. Strain rate imaging why do we need it? *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1584-6.
- 18) Vitarelli A, Conde Y, Climino Y, et al. Assessment of right ventricular function by tissue Doppler imaging in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Card Fail* 2004;10:S32. Abstract
- 19) Kukulaki T, Huebner L, Arnold M, Wranne B, Hatle L, Sutherland G. Normal regional right ventricular function and its change with age: a Doppler myocardial imaging study. *J Am Soc Echocardiogr* 2000;13:194-204.
- 20) Weidemann F, Eyskens B, Jamal F, et al. Quantification of regional left and right ventricular radial and longitudinal function in healthy children using ultrasound-based strain rate and strain imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:20-8.
- 21) Boettler P, Hartmann M, Karolin W, et al. Heart rate effects on strain and strain rate in healthy children. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:1121-30.
- 22) Cho GY, Son KP, Park WJ, et al. Myocardial synchronicity: as a predictor of left ventricle function recovery in severe congestive heart failure. *Korean Circ J* 2003;33:687-94.
- 23) Amundsen B, 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.