

# 소아에서 심장 주기 시간 변화에 따른 조직 도플러 지표들의 변화양상

울산대학교 의과대학 강릉아산병원 소아청소년과

이창현 · 김재광 · 진현승 · 박기영 · 김봉성 · 한명기

= Abstract =

## Variation of parameters according to cardiac cycle length, evaluated by TDI in children

Chang-Hyun Lee, M.D., Jae-Kwang Kim, M.D., Hyun-Seung Jin, M.D.,  
Kie-Young Park, M.D., Bong-Seong Kim, M.D., and Myung-Ki Han, M.D.

Department of Pediatrics, Gangneung Asan Hospital, College of Medicine, Ulsan University, Gangneung, Korea

**Purpose :** This study aimed to determine the variation in parameters according to cardiac cycle length (CL; time interval between the QRS peaks on ECG) in children by using the conventional pulsed Doppler and tissue Doppler imaging echocardiography.

**Methods :** Eighteen children with an anatomically normal heart were enrolled for the study. All children were examined by conventional and pulsed Doppler echocardiography at Gangneung Asan hospital between July 2006 and June 2007. We measured the CLs, mitral inflow velocities (E,A) and tissue Doppler imaging (TDI) parameters (s', e', a') from apical 4-chamber view. The TDI parameters were measured at the lateral (Lat) and septal (Sep) part of the mitral valve. All parameters were measured at 6 to 18 consecutive beats from each child. We then evaluated the linear correlation between CL and each parameter.

**Results :** The mean age was  $3.6 \pm 0.5$  years (M:F=8:10). There were significantly negative linear correlations between CL and A, Lat s', Lat a', Sep s', Sep e', Sep a' ( $P < 0.01$ ). There were significantly positive linear correlations between CL and E/A, Lat e'/a', Sep e'/a' ( $P < 0.01$ ). However, the E and Lat e' were not correlated with CL ( $P = 0.229$  and  $0.221$ , respectively).

**Conclusion :** This study showed that the values of the left ventricular functional parameters were changed according to CL. From our results, it is imperative to carefully examine beat-to-beat variations in children. (Korean J Pediatr 2009;52:339-345)

**Key Words :** Left ventricular function, Child, Echocardiography

### 서 론

심장기능을 평가하는데 있어 비침습적이고 가장 많이 이용되는 것이 심초음파 검사이며, 고식적 심초음파를 이용한 승모판 유입 혈류 속도들과 조직 도플러 영상을 이용한 심근 속도들이 좌심실의 이완 기능을 평가하는데 유용하게 이용되고 있다<sup>1-9)</sup>.

소아는 성장하는 과정에 있고 따라서 나이가 들어감에 따라 모든 정상치들이 변화하게 되며, 정상 소아에 대한 연구에 있어

서 나이가 중요한 변수가 된다. 나이에 따라 변화하는 여러 변수들 중 분당 심박수 역시 포함되는데, 성인이 되어감에 따라 점차 느려지는 경향을 나타낸다. 심박수는 나이 뿐 아니라 운동 상태, 호흡, 체온 등에 영향을 받아 같은 나이라도 수시로 변화한다. 또한 안정된 상태의 같은 소아에서 분당 심박수가 일정하더라도 그때 그때의 신체 상태에 따라 그 내부를 구성하는 심박동과 심박동 사이의 심장 주기 시간(one cardiac cycle length, CL)은 계속 변화한다<sup>10)</sup>.

승모판 유입 혈류 속도들에 있어서 소아의 나이, 체표면적 그리고 심박동수에 따라 정상치가 다르게 나타났으며<sup>11-13)</sup>, 조직 도플러 영상에서의 심근 속도들에 있어서도 대상 소아의 나이, 체표면적, 심박동수 등에 따라 정상치가 다르게 나타났다<sup>14-19)</sup>.

경험상 승모판 유입 혈류 속도들과 조직 도플러 영상에서의 심근 속도들도 분당 심박수 뿐 만 아니라 심장 주기 시간에 따라 조금씩 차이를 보이는데, 이에 대한 연구가 없다(Fig 1, 2).

따라서 본 연구에서는 정상 소아에서 심장 주기 시간의 변화에 따라 좌심실 이완 기능을 나타내는 승모판 유입 혈류 속도들과 조직 도플러 영상에서 심근 속도들의 변화에 대해 알아보고자

Received : 25 August 2008, Revised : 14 October 2008,

Accepted : 6 November 2008

Address for correspondence : MyungKi Han, M.D.

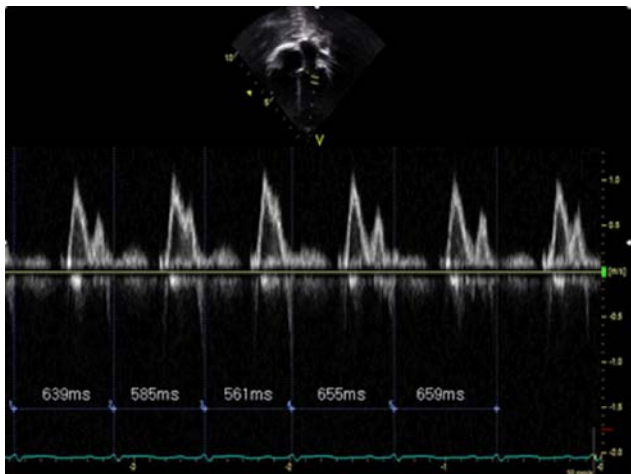
Department of Pediatrics, Gangneung Asan Hospital College of Medicine, Ulsan University, 415 Bangdongri, Sachun-myun, Gangneung-city, Gangwon-do 210-711, Korea

Tel : +82.33-610-3179, Fax : +82.33-610-8148

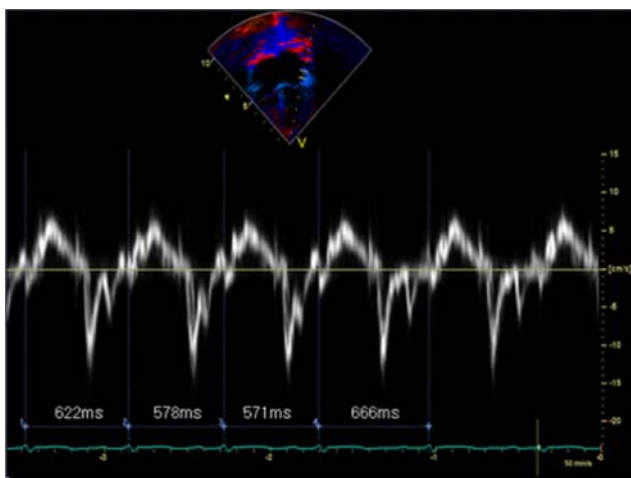
E-mail : hjh1052@yccs.co.kr

\* The content of this paper was presented in the 2nd Asia-Pacific congress of pediatric cardiology and cardiac surgery in Jeju, Korea, May 27-30, 2008

\* This study was supported by research funds from the Ulsan University in 2007



**Fig. 1.** A conventional echocardiography showed that early diastolic mitral peak inflow velocity (E) and late diastolic mitral peak inflow velocity (A) were changed according to cardiac cycle length.



**Fig. 2.** Tissue Doppler imaging showed that systolic myocardial peak velocity (s'), early diastolic myocardial peak velocity (e') and late diastolic myocardial peak velocity (a') changed according to cardiac cycle length.

본 연구를 시행하였다.

### 대상 및 방법

2006년 7월부터 2007년 6월까지 강릉아산병원 소아청소년과를 방문하여 심초음파를 시행한 환자 중 심초음파 상 구조적으로 정상 심장을 가진 3-4세 소아 18명을 대상으로 이 연구를 시행하였다.

검사에 사용된 심초음파 기종은 General Electronics Vivid 7 (General Electric, New York, USA) 이었고, 모든 심초음파 검사는 저자들 중 1인에 의해서 시행되었으며, 5 MHz의 탐촉자를 이용하여 통상적인 이면상 심초음파 검사와 color 도플러 심초음

**Table 1.** Demographic and Clinical Characteristics of the Study population

Age (year)	3.6±0.5
Male : Female	8:10
Weight (kg)	15.6±2.1
Height (cm)	99.8±5.9
Fractional shortening (%)	37.1±3.3
Ejection fraction	74.9±3.7
Cause of echocardiography	
Cardiac murmur	9
Prolonged fever	4
Suspicious Kawasaki disease	2
Cardiomegaly on chest X-ray	2
Suspicious myocarditis	1

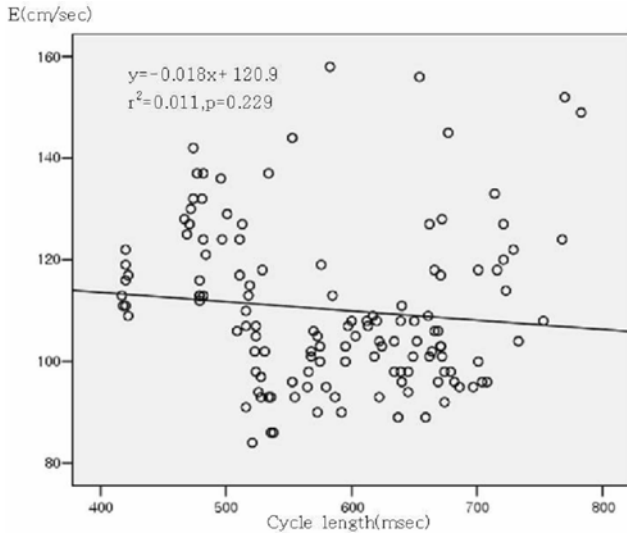
Data were presented as Mean±SD

파 검사를 통해 선천성 심장병의 유무를 확인하였다. 좌측와위에서 심첨 4방 단면도(Apical four-chamber view)에서 이완 초기 승모판 유입 혈류 최고 속도(E), 이완 후기 승모판 유입 혈류 최고 속도(A)를 측정하였고, 조직 도플러 심초음파를 시행하여 승모판륜의 외측 끝단부(lateral part of mitral valve annulus)와 심실 중격 끝단부(Interventricular septal part of mitral valve annulus)에서 각각 수축기 최고 심근 속도(s'), 이완 초기 최고 심근 속도(e'), 이완 후기 최고 심근 속도(a')를 측정하였다. 모든 대상아에서 6-18회의 연속적인 심장주기(cardiac cycle) 동안 상기 측정치와 함께 CL을 측정하였으며, 통계분석은 SPSS (Window version 12.0, SPSS, Chicago, IL, USA)을 이용하여 선형 회귀 분석을 하였고, P-value는 0.05 미만일 경우 통계학적인 의의를 두었다.

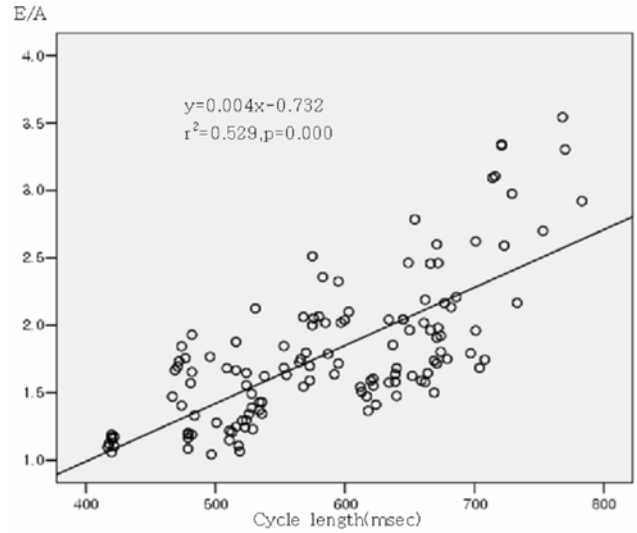
### 결 과

연구 대상아의 평균 나이는 3.6±0.5세였으며, 평균 체중은 15.6±2.1 kg, 평균 신장은 99.8±5.9 cm, 그리고 평균 심박수는 104±16.8회/분 이었다. 남아가 8명이었으며 여아가 10명이었다. 연구 대상아 중 9명은 심 잡음으로, 4명은 5일 이상 지속된 열로, 2명은 가와사키 병 의심 하에, 또 다른 2명은 흉부 방사선 소견상 심장 음영 확장으로, 나머지 1명은 심근염 의심 하에 심장 초음파를 시행하였으며, 모두 구조적으로 정상 심장 소견을 보였고, 좌심실 내경 단축률(fractional shortening)은 평균 37.1±3.3%, 좌심실 구출율(ejection fraction)은 74.9±3.7%이었다(Table 1).

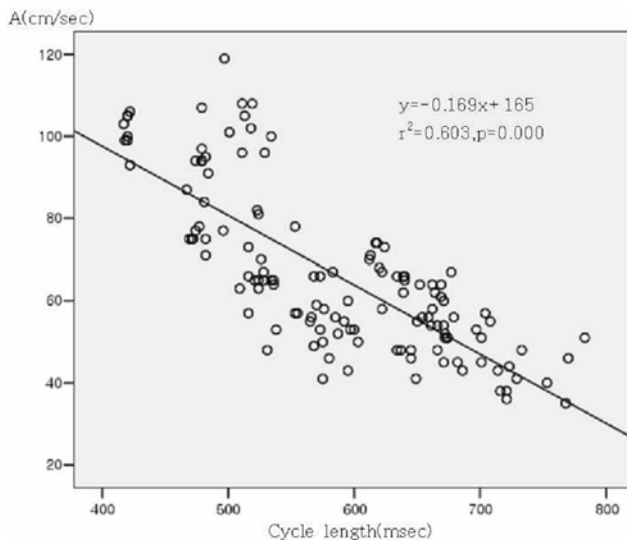
고식적 심초음파로 측정된 승모판 유입 혈류 속도 E는 평균 110±16 cm/sec, A는 평균 66±20 cm/sec, 그리고 심장 주기 시간은 평균 582±90 msec이며 누적도수는 131이었다. 승모판륜 외측 끝단부에서 조직 도플러 심초음파로 측정된 심근 속도 s'은 평균 9.1±2.0 cm/sec, e'은 16.5±3.1 cm/sec, a'은 7.2±1.9 cm/sec, 그리고 심장 주기 시간은 평균 581±84 msec이며, 누적도수는 147이었다. 승모판륜의 심실 중격 끝단부에서 조직 도플러 심



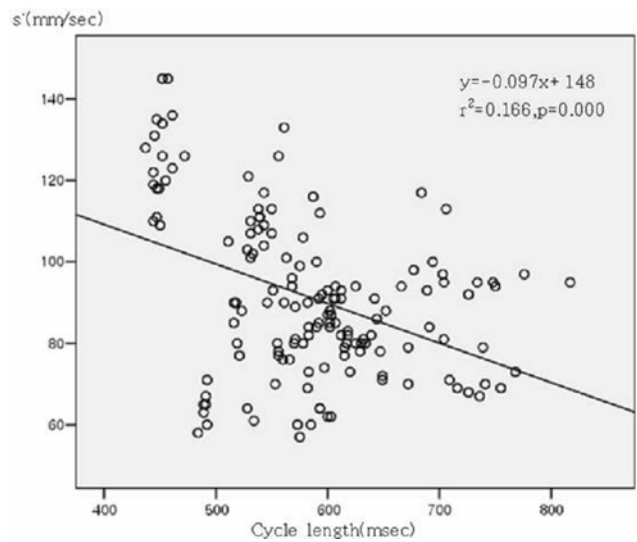
**Fig. 3.** The early diastolic mitral inflow peak velocity (E) was not correlated with cardiac cycle length.



**Fig. 5.** The E/A ratio was significantly positively correlated with cardiac cycle length. Abbreviations: E, early mitral inflow peak velocity; A, late mitral inflow peak velocity.



**Fig. 4.** The late diastolic mitral peak velocity (A) was significantly negatively correlated with cardiac cycle length.



**Fig. 6.** The systolic myocardial peak velocity (s') at the lateral edge of the mitral annulus was significantly negatively correlated with cardiac cycle length.

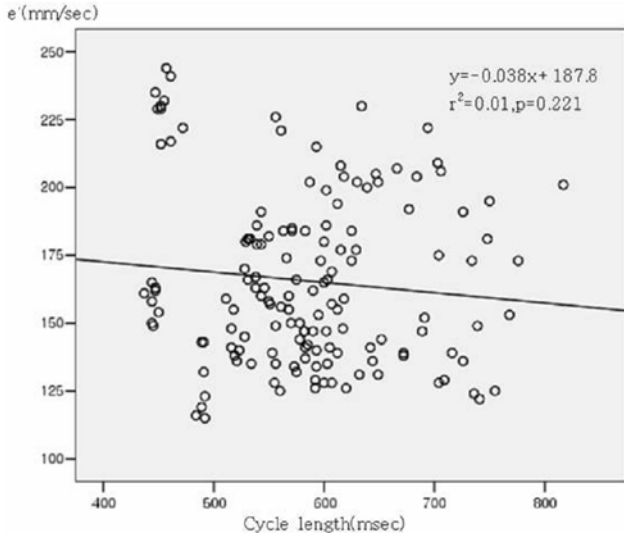
초음파로 측정된 심근 속도  $s'$ 은 평균  $7.5 \pm 1.3$  cm/sec,  $e'$ 은  $13.1 \pm 2.7$  cm/sec,  $a'$ 은  $7.2 \pm 1.7$  cm/sec, 그리고 심장 주기 시간은 평균  $583 \pm 77$  msec이며, 누적도수는 161이었다.

고식적 심초음파로 측정된 승모판 유입 혈류 속도들과 심장 주기 시간에서, E는 통계학적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다( $r^2=0.011$ ,  $P=0.229$ ). A는 심장 주기 시간과 음의 상관관계를 보였으며( $r^2=0.603$ ,  $P=0.000$ ), E/A비와 심장 주기 시간과는 양의 상관관계를 보였다( $r^2=0.529$ ,  $P=0.000$ ) (Fig. 3-5).

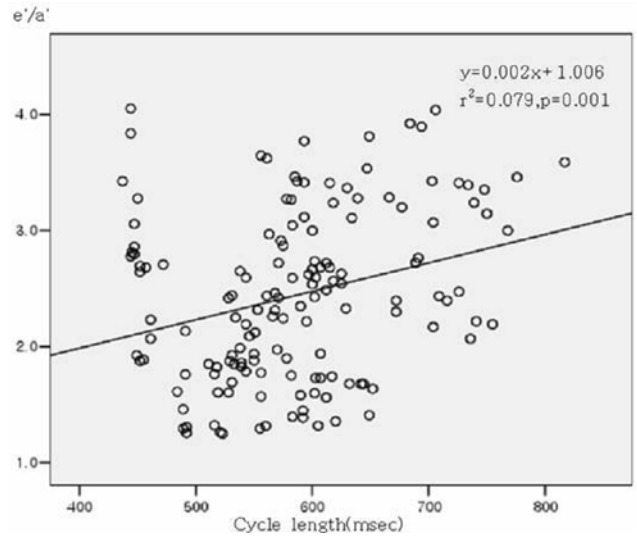
조직 도플러 심초음파로 측정된 승모판륜의 외측 끝단에서의 심근 속도 중  $s'$ 은 심장 주기 시간과 음의 상관관계를 보였으나

( $r^2=0.166$ ,  $P=0.000$ ),  $e'$ 은 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았고( $r^2=0.01$ ,  $P=0.221$ ),  $a'$ 은 심장 주기 시간과 음의 상관관계( $r^2=0.17$ ,  $P=0.000$ )를,  $e'/a'$ 은 양의 상관관계를 보였다( $r^2=0.079$ ,  $P=0.001$ ) (Fig. 6-9).

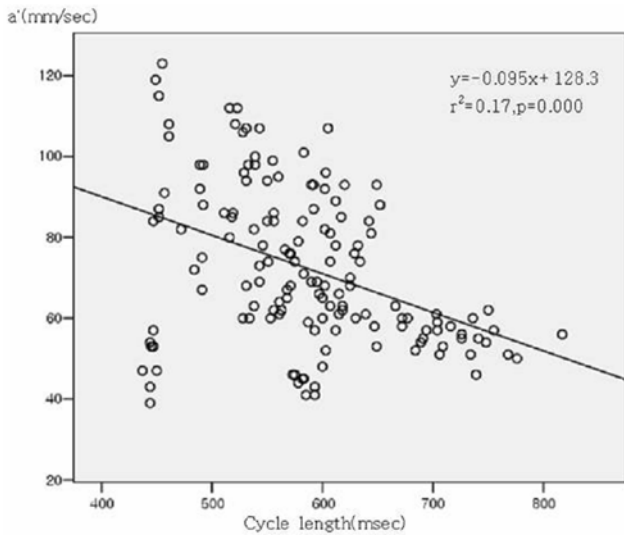
승모판륜의 심실 중격 끝단에서 측정된 심근 속도들과 심장 주기 시간과의 관계에서는 모두 음의 상관관계를 보였는데  $s'$ 은  $r^2=0.196$ ,  $P=0.000$ ,  $e'$ 은  $r^2=0.149$ ,  $P=0.000$ , 그리고  $a'$ 은  $r^2=0.37$ ,  $P=0.000$ 이었다. 반면  $e'/a'$ 은 심장 주기 시간과 양의 상관관계를 보였다( $r^2=0.061$ ,  $P=0.002$ ) (Fig. 10-13).



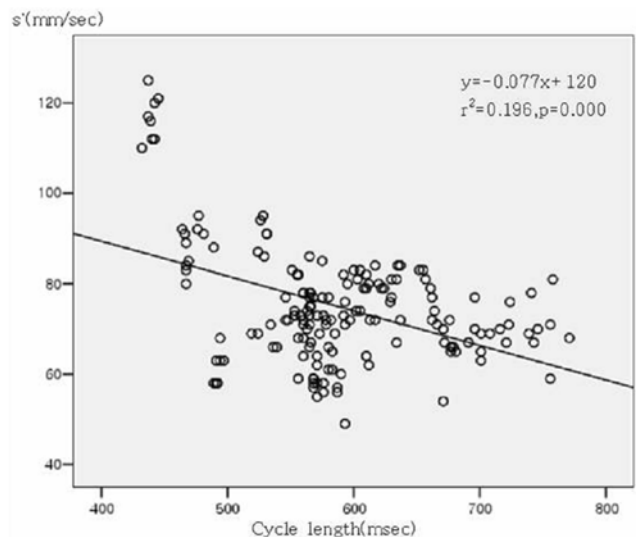
**Fig. 7.** The early diastolic myocardial peak velocity ( $e'$ ) at the lateral edge of the mitral annulus was not correlated with cardiac cycle length.



**Fig. 9.** The  $e'/a'$  ratio at the lateral edge of mitral annulus was significantly positively correlated with cardiac cycle length. Abbreviations :  $e'$ , early diastolic myocardial peak velocity;  $a'$ , late diastolic myocardial peak velocity.



**Fig. 8.** The late diastolic myocardial peak velocity ( $a'$ ) at the lateral edge of the mitral annulus was significantly negatively correlated with cardiac cycle.



**Fig. 10.** The systolic myocardial peak velocity ( $s'$ ) at the septal edge of the mitral annulus was significantly negatively correlated with cardiac cycle length.

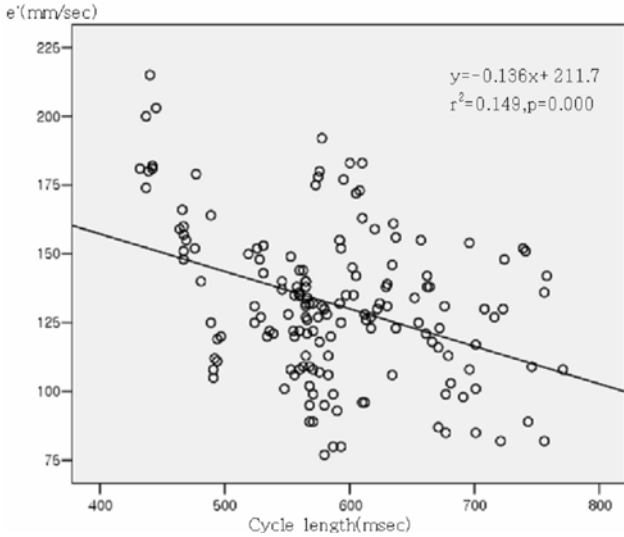
## 고찰

심실의 이완 기능을 평가하는 가장 정확한 방법은 심도자 검사를 이용하는 방법이다. 하지만 심도자 검사를 이용하는 방법은 침습적이며 반복하여 시행하기 어렵다. 때문에 심실의 이완 기능을 평가하는 검사 방법으로 비침습적인 심초음파 검사가 주로 사용되고 있다.

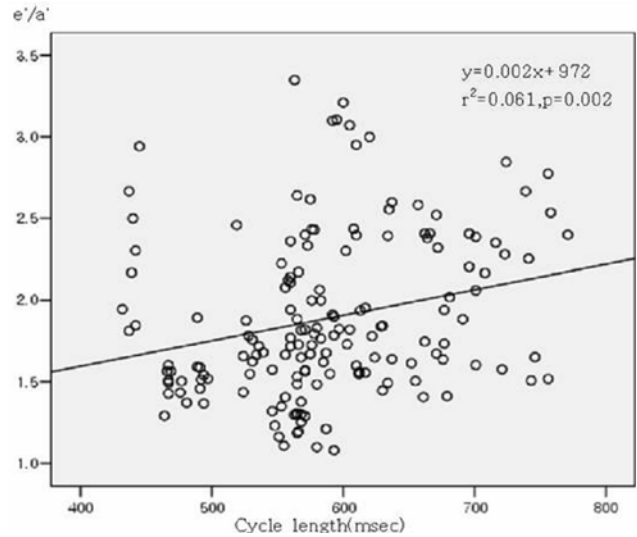
심초음파 검사를 이용하여 좌심실의 이완기 기능을 평가하는 방법으로 우선적으로 사용되는 것이 고식적 도플러(conventional

Doppler)를 이용한 승모판 유입 혈류의 속도를 측정하는 것이다. 하지만 승모판 유입 혈류를 이용하는 도플러 심초음파 측정치들은 심실의 전, 후부하의 변화에 영향을 많이 받고, 가상 정상(pseudonormal)과 정상을 구별하기 어려운 단점이 있다<sup>1,2)</sup>.

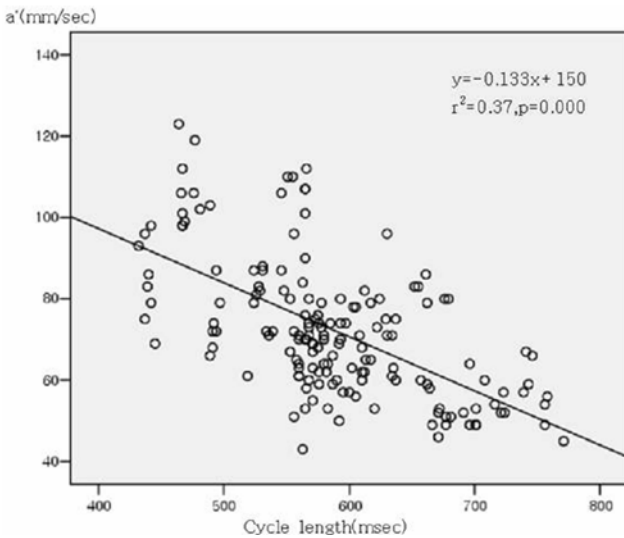
이런 단점을 극복하기 위한 방법으로 조직 도플러 심초음파 검사를 이용하는 방법이 있다. 조직 도플러 심초음파 검사란 혈류의 움직임이 아닌 심근의 움직임을 측정하는 방법이다. 조직 도플러 심초음파 검사를 이용하여 승모판륜의 운동 속도를 측정하여 심실의 기능을 평가할 수 있는데 이는 호흡 양상이나 심실 전 부하에 비교적 영향을 덜 받고 심근의 이완기 기능을 독립적



**Fig. 11.** The early diastolic myocardial peak velocity ( $e'$ ) at the septal edge of the mitral annulus was significantly negatively correlated with cardiac cycle length.



**Fig. 13.** The  $e'/a'$  ratio at the septal edge of mitral annulus was significantly positively correlated with cardiac cycle length. Abbreviations :  $e'$ , early diastolic myocardial peak velocity;  $a'$ , late diastolic myocardial peak velocity.



**Fig. 12.** The late diastolic myocardial peak velocity ( $a'$ ) at the septal edge of the mitral annulus was significantly negatively correlated with cardiac cycle length.

으로 평가할 수 있다<sup>3-9)</sup>.

소아에 있어서도 성인과 마찬가지로 심실의 이완기 기능 평가가 중요하게 여겨지며, 정상치에 대한 여러 연구들이 있으나 나이, 성별, 체중, 키, 체표면적, 심박수 등에 따라 그리고 연구가 이루어진 지역에 따라 조금씩 차이를 보이고 있다. 이는 소아가 성장 발달을 거듭하는 과정에 있어 필연적인 결과라 생각되며, 여러 변수들 중 심박수는 나이, 호흡, 성별 등에 영향을 받아 변화하며, 한 개인에 있어서도 신체적인 상황에 따라 변화를 보인다. 심박수는 1분간 심박동 수를 나타내나, 각 각의 심장 주기 시간 역시 일정하지 않으며, 조금씩 변화를 보임을 경험상 알 수

있다. 그러나 심장 주기 시간에 따른 정상치의 변화에 대한 연구가 없었다.

고식적 심초음파 검사를 이용한 본 연구에서 승모판 유입혈류 E는 심장 주기 시간에 따라 통계적 유의성은 없으나, 음의 상관관계의 경향을 보이며, A는 강한 음의 상관관계를 보이고, 이에 따라 E/A역시 강한 양의 상관관계를 보인다. 정상 성인을 대상으로 한 연구에 의하면 심박수에 따라 E는 음의 상관관계를, A는 양의 상관관계를, 그리고 E/A는 음의 상관관계를 보였으며<sup>11)</sup>, 또한 소아를 대상으로 한 다른 연구에서도 같은 결과를 보였다<sup>12)</sup>. Schmits 등<sup>13)</sup>은 연령대에 따른 정상치 연구에서 E는 심박수와 연관 관계가 없고, A는 양의 상관관계를, E/A는 음의 상관관계를 보인다고 하였으며, 이는 심장 주기 시간이 심박수와 역비례하는 것을 고려한다면, 본 연구 결과와 일치함을 알 수 있다.

조직 도플러 영상으로 측정된 심근 최고 속도들의 경우에 있어서 1세부터 18세 소아 325명을 대상으로 한 연구를 보면<sup>14)</sup>, 승모판류의 심실 중격 끝단과 외측 끝단에서 심박수와  $s'$ 과  $e'$ 은 음의 상관관계를 보이며,  $a'$ 은 유의한 상관관계를 보이지 않았으며, 생후 7일부터 18세까지의 48명의 소아를 대상으로 한 연구결과도 위의 연구와 같은 결과를 보였다<sup>17)</sup>. 하지만 Roberson 등<sup>18)</sup>의 연구에서는 생후 1일부터 18세까지 634명의 소아에서  $s'$ 과  $e'$ 이 심박수와 음의 상관관계를 보이는 것은 같은데,  $a'$ 은 양의 상관관계를 보여 조금 다른 결과를 보인다. 이는 Mori 등<sup>19)</sup>의 연구결과에서도 비슷함을 알 수 있다.

본 연구 결과에서는 승모판류 외측 끝단에서  $s'$ 은 음의 상관관계를 보이고,  $e'$ 은 통계학적으로 유의한 상관관계를 보이지는 않지만 음의 상관관계를 나타내며,  $a'$ 역시 음의 상관관계를 보이고 있으며, 승모판류의 심실 중격 끝단에서는 모두 음의 상관관계를

보이고 있어 연관된 변수가 심장 주기 시간임을 고려한다면, 위 연구 결과들과 상반된 결과를 보이는데, 이는 아마도 연구 대상 집단의 연령이 본 연구에서는 나이의 변수를 최소화하기 위해 단일 연령군을 대상으로 선정하였으나, 다른 연구들은 대상 연령의 범위가 보다 넓으며, 본 연구에서는 단일 심장 주기 시간을 변수로 하였으나, 다른 연구들은 심박수를 변수로 하여 이에 따라 차이가 나리라 추측한다.

본 연구는 대상군의 수가 적으며, 단일 연령군을 그 대상으로 하였고, 성별의 구분을 하지 않았으며, 호흡의 영향을 고려치 않고, 연구자들 중 1인에 의해 모든 측정이 이루어졌고, 같은 소아에서 여러 번의 측정치를 모두 그냥 사용함으로써 오류의 가능성이 있는 것이 제한점이라 하겠다.

결론적으로 본 연구의 결과로 같은 연령의 소아라도 심장 주기 시간의 변화에 따라 심실의 이완기 지표들이 변화함을 알 수 있으며, 이는 향후 정상치를 결정하는데 있어서 고려의 대상이 됨을 알 수 있다. 또한 향후 연령에 따라 변화는 여러 변수들과 심장 주기 간의 관계를 연구함으로써 심장 주기 시간이 소아에 있어서 정상치를 결정하는 중요한 인자가 될 수 있으리라 사료되며 이에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

## 요 약

**목적 :** 이 연구의 목적은 소아에서 고식적 심초음파와 조직 도플러 영상을 이용하여 측정된 지표들의 심장 주기 시간에 따른 변화를 알아보기 위함이다.

**방법 :** 2006년 7월부터 2007년 6월까지 강릉아산병원에서 심초음파를 시행한 해부학적으로 정상 심장을 가진 총 18명의 소아들을 대상으로 본 연구를 시행하였다. 심침 4방 단면도에서 이완기 승모판 유입 최고 혈류 속도 E, A와 승모판륜의 외측 끝단 및 심실 중격 끝단에서 조직 도플러 영상으로부터 s', e', a'와 함께 각각의 심장 주기 시간을 측정하였다. 모든 측정은 연속된 6-18 심장 주기 동안 이루어졌으며, 심장 주기 길이와 각 지표들 간의 연관성을 조사하였다.

**결과 :** 평균 나이는  $3.6 \pm 0.5$ 세(남:여=8:10)이었다. 심장 주기 시간과 Lat s', Lat a', Sep s', Sep e', Sep a'은 음의 상관관계를 보였다( $P < 0.01$ ). 심장 주기 시간과 E/A, Lat e'/a', Sep e'/a'은 양의 상관 관계를 보였다( $P < 0.01$ ). 그러나 E, Lat e'은 통계학적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다( $P = 0.229, 0.221$ ).

**결론 :** 본 연구로 심장 주기 시간의 변화에 따라 좌심실 기능을 나타내는 지표들이 변화함을 알 수 있었다. 따라서 소아에서 정상치를 결정함에 있어 이러한 변화를 고려하여야 한다.

## References

1) Oh JK, Appleton CP, Haltle LK, Nishimura RA, Seward JB, Tajik AJ. The nonvasive assessment of left ventricular

diastolic function with two-dimensional and Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1997;10:246-70.

2) Stoddard MF, Pearson AC, Kern MJ, Ratcliff J, Mrosek DG, Labovitz AJ. Influence of alteration in preload on the pattern of left ventricular diastolic filling as assessed by Doppler echocardiography in humans. *Circulation* 1989;79:1226-36.

3) Sohn DW, Chai IH, Lee DJ, Kim HC, Kim HS, Oh Bh, et al. Assessment of mitral annulus velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:474-80.

4) Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, Zoghbi WA, Quinones MA. Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1527-33.

5) Border WL, Michelfelder EC, Glascock BJ, Witt SA, Spicer RL, Beekman RH 3rd, et al. Color M-mode and Doppler tissue evaluation of diastolic function in children: simultaneous correlation with invasive indices. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:988-94.

6) Oki T, Tabata T, Yamada H, Wakatsuki T, Shinohara H, Nishikado A, et al. Clinical application of pulsed Doppler tissue imaging for assessing abnormal left ventricular relaxation. *Am J Cardiol* 1997;79:921-8.

7) Eidem BW, McMahon CJ, Ayres NA, Kovalchin JP, Denfield SW, Altman CA, 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.

8) Watanabe M, Ono S, Tomomasa T, Okada Y, Kobayashi T, Suzuki T, et al. Measurement of tricuspid annular diastolic velocities by Doppler tissue imaging to assess right ventricular function in patients with congenital heart disease. *Pediatr Cardiol* 2003;24:463-7.

9) Harada K, Tamura M, Yasuoka K, Toyono M. A comparison of tissue doppler imaging and velocities of transmitral flow in children with elevated left ventricular preload. *Cardio Young* 2001;11:261-8.

10) Kliegman RM, Behrman RE, Jenson HB, Stanton BF. Nelson textbook of pediatrics. 18th ed. Philadelphia: Saunders Co, 2007:1858-60.

11) Benjamin EJ, Levy D, Anderson KM, et al. Determinants of Doppler indexes of left ventricular diastolic function in normal subjects(the Framingham Heart Study). *Am J Cardiol* 1992;70:508-15.

12) Bu'Lock FA, Mott MG, Martin RP. Left ventricular diastolic function in children measured by Doppler echocardiography: normal values and relation with growth. *Br Heart J* 1995;73:334-9.

13) Schmitz L, Koch H, Bein G, Brockmeier K. Left ventricular diastolic function in infants, children and adolescents. Reference values and analysis of morphologic and physiologic determinants of echocardiographic Doppler flow signals during growth and maturation. *J Am Coll Cardiol* 1998;32:1441-8.

14) Eidem BW, McMaho CJ, Cohen RR, Wu J, Finkelshteyn I, Pignatelli RH. Impact of cardiac growth on Doppler tissue imaging velocities: A study in healthy children. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:212-21.

- 15) Swaminathan S, Ferrer PL, Wolff GS, Gomez-Marín O, Rusconi PG. Usefulness of tissue Doppler echocardiography for evaluation ventricular function in children without heart disease. *Am J Cardiol* 2003;91:570-4.
- 16) Frommelt PC, Ballweg JA, Whitstone BN, Frommelt MA. Usefulness of Doppler tissue imaging analysis of tricuspid annular motion for determination of right ventricular function in normal infants and children. *Am J Cardiol* 2002;89:610-3.
- 17) Harada K, Orino T, Yasuoka K, Tamura M, Takada G. Tissue dopper imaging of left and right ventricles in normal children. *Tohoku J Exp Med* 2000;191:21-9.
- 18) Roberson DA, Cui W, Chen Z, Madronero LF, Cuneo BF. Annular and septal Doppler tissue imaging in children: normal z-score tables and effects of age, heart rate, and body surface area. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:1276-84.
- 19) Mori K, Hayabuchi Y, Kuroda Y, Nii M, Manabe T. Left ventricular wall motion velocities in healthy children measured by pulsed wave Doppler tissue echocardiography: normal values and relation to age and heart rate. *J Am Soc Echocardiogr* 2000;13:1002-11.