

## 도플러 삼첨판 역류과형의 시간 간격을 이용한 삼첨판 역류 최고속도의 산출

원광대학교 의과대학 소아과학교실

윤 향 석 · 최 두 영

= Abstract =

### Assessment of the Peak Tricuspid Regurgitant Velocity from the Time Interval of the Retrograde Flow

Hyang Suk Yoon, M.D. and Du Young Choi, M.D.

*Department of Pediatrics, School of Medicine, Wonkwang University, Iri, Korea*

**Background :** A number of studies have demonstrated that an accurate measurement of the peak tricuspid regurgitation velocity with continuous wave Doppler, which may predict the right ventricular systolic pressure using the simplified Bernoulli equation. However, the peak velocities are often of low intensity on the spectral Doppler display if the tricuspid regurgitation(TR) is not severe. The aim of this study was to evaluate the usefulness of measuring the time interval from pulmonary closure to the end of tricuspid regurgitation, in predicting peak tricuspid regurgitant velocity and hence derive peak right ventricular systolic and pulmonary artery pressure(PAP).

**Methods :** We studied 19 patients with normal PAP(group A), and 7 with pulmonary hypertension(group B), 27 with postop state of the open cardiac surgery(group C), who underwent echocardiographic and Doppler assessment. Pulmonary closure(PC) was taken as the closure artifact on the Doppler recording in the main pulmonary artery. Regurgitant flow was identified and recorded in continuous wave mode from the apex. The time interval from end of the TR to PC(TR end PC) was measured, and corrected by 100/min of heart rate.

**Results :** The time interval of corrected "TR end-PC" was  $12.95 \pm 48.69$  msec in group A,  $16.8 \pm 43.15$  msec in group C, where as  $72.43 \pm 37.71$  msec in group B( $p < 0.01$ , comparing with group A). The correlation between TR end-PC and TR gradient was low in group A and C( $r=0.12, 0.41$  respectively), but high in group B( $r=0.73$ )(TR gradient= $0.55 \times$  TR end-PC+29.1).

**Conclusions :** The time interval of TR end-PC in the patients with pulmonary hypertension was higher than normal subjects. And also, we found a good correlation between TR end-PC and TR gradient in patients with pulmonary hypertension. However, in postop state of the

\*본 연구는 1994년도 원광대학교 발전연구기금 일부지원으로 이루어졌음. 본 논문의 요지는 한국 심초음파학회 3회 학술대회 석상에서 발표되었음.

open cardiac surgery, there was no significant correlation. The precise explanations of this are by no means clear, but abnormal function of the right ventricle may affect the dynamics of regurgitant flow.

**KEY WORDS :** Tricuspid regurgitation · Time interval · TR gradient.

## 서 론

심장 질환을 진단하거나 추적 관찰할 때, 폐동맥압을 측정하거나 그 변화를 보는 것은 임상적으로 중요한 일이다. 관혈적인 심도자 검사를 대신하여 도플러 심초음파 검사로써 폐동맥압을 측정하는 방법들이 많이 연구되었다<sup>1-7)</sup>. 비관혈적인 심초음파 검사를 이용하여 수축기 폐동맥압 또는 우심실압을 측정할 때, 삼첨판 폐쇄 부전에 의한 역류파형으로 최고속도 및 압력차를 구하는 방법이 많이 이용되고 있다<sup>8)</sup>. 간헐파형 또는 연속파형 도플러 심초음파 검사로 삼첨판 역류 최고속도(peak tricuspid regurgitant velocity)를 구하여 modified Bernoulli equation을 이용, 우심방과 우심실의 압력차를 계산하는 것이다. 최고속도를 구할 때, 역류파형 분광상의 포물선 끝 부분이 확실해야 하는데, 실제로 쉽지 않은 경우가 많다. 즉, 역류의 시작 부분과 마지막 부분은 잘 그릴 수 있으나 포물선 하단부위가 불분명하여 최고속도 산출을 실패하는 경우가 많다. 삼첨판 역류시간이 우심실압과 비례한다고 가정하면 역류시간 간격을 구하여 간접적으로 최고속도를 산출할 수 있을 것이다. 이에 저자들은 소아의 삼첨판 폐쇄부전에서 도플러 심초음파 검사로 역류파형의 끝부분만 선명하게 얻으면 최고속도 및 압력차를 계산할 수 있는지 알아보기 위하여 본 연구를 시행하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대 상

1993년 7월 1일부터 1994년 2월 28일까지 만 8개월간 원광의대병원 소아과에 선천성 또는 후천성 심질환으로 도플러 심초음파 검사를 시행하여 삼첨판 폐쇄부전이 있었던 53례를 대상으로 하였다. 평균 연령은  $4.9 \pm 4.1$ 세였고 남녀비는 21 : 32였다. 우심실 유출로의 폐쇄나 동맥관개존, 동맥하형 심실중격결손을 동반한 경우는 대상에서 제외하였다. 대상군을 3군으로 나누어 분석하였다. 즉, 폐동맥고혈압이 없는 군을 A군(19례), 폐동맥 고혈압군을 B군(7례), 선천성 심질환으로 개심술을 받은 군을 C군(27례)으로 하였다(Table 1).

### 2. 방 법

대상환자 모두에서 도플러 심초음파 검사를 시행하였다. 잠자는 상태에서 검사하기 위하여 10% Chloral hydrate를 0.5ml/Kg 경구 투여하였다. 검사 기기는 UM9(Advanced Technology Laboratories, Inc., Bothell, Washinton, USA)을 사용하였다. imaging을 위한 주파수는 2.25 또는 5 MHz를 사용하였다. 모든 환자는 양아위에서 15도 정도의 lateral decubitus로 돌려누이고 검사하였으며, 모두 sinus rhythm을 보였다. 심초음파 검사중 심전도를 동시에 기록하여 초음파의 주요 파형을 초당 100mm의 속도로 녹화하였다. 모든

**Table 1.** Doppler echocardiographic estimates in three groups with tricuspid regurgitation

Groups	A(n=19)	B(n=7)	C(n=27)
age(yr)	4.88± 4.45	5.33± 4.84	5.05± 3.98
TR gradient(mmHg)	19.63± 7.46	64.38± 32.46**	23.5 ± 18.34*
Q-PC(msec)	362± 42.64	369.14± 38.96	375.64± 40.06
Q-TO(msec)	398.79± 40.06	462.2 ± 15.22***	404.19± 54.71**
TO-PC(msec)	36.79± 30.90	87.4 ± 35.80*	27.11± 33.40*
Q-TR end(msec)	365.42± 52.99	441.57± 44.47**	407.46± 78.87*
TR end-PC(msec)	4.11± 29.17	72.43± 37.71**	28.12± 42.39*

Values are mean± SD, Group B was compared with A, Group C was compared with B \* :  $P < 0.05$ , \*\* :  $P < 0.01$ , \*\*\* :  $P < 0.001$

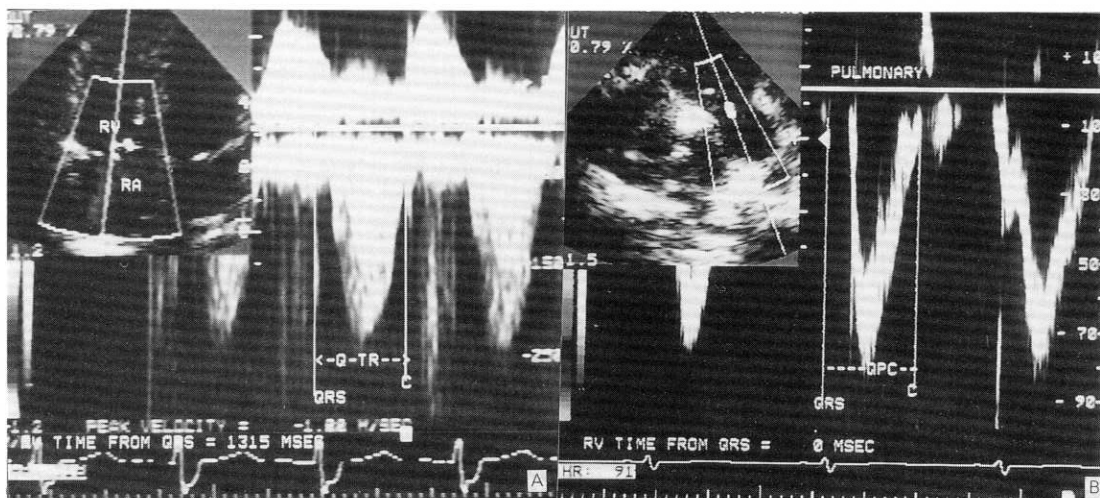


Fig. 1. The method measuring a time interval from Q wave to end of the tricuspid regurgitation(Q-TR end)(A), from Q to pulmonary closure(Q-PC)(B).

검사는 동일 검사자에 의해 시행되었고 결과치는 5회 이상 측정치의 평균으로 얻었다. 먼저, 간혈과형 도플러로 구한 폐혈류 과형에서 심전도상의 q파와 폐동맥 혈류속도 과형의 폐동맥판 폐쇄(pulmonary closure)점까지의 시간(Q-PC)을 구하고, 삼첨판 역류과형에서는 q파와 삼첨판 역류과형의 끝부분까지의 시간(Q-TR end)을 얻어 둘 사이의 차이 TR end-PC를 계산하고 심박수(분당 100)로 교정하였다(Fig. 1). 삼첨판 최고역류속도는 연속과형 도플러를 이용하여 구하고, 단순화된 Bernoulli 공식 즉,  $\Delta P = 4V^2$

( $\Delta P$  : 압력차,  $V$  : 최고역류속도)로 압력차를 계산하였다(Fig. 2).

## 통계 분석

각군에서 Q-PC, Q-TR end, TR end-PC값의 평균과 표준편차를 구하고 unpaired t-test 및 회귀분석을 이용하여 각군간의 유의성 및 상관관계등을 알아보았다. 유의수준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

## 결 과

### 1. 대조군(A)과 폐동맥 고혈압군(B)과의 비교

심초음파 검사상 삼첨판 최고역류속도를 이용하여 계산한 압력차는 대조군에서 평균 19.63mmHg였고, 폐동맥 고혈압군에서는 64.38mmHg로 유의하게 높았다. Q-PC 간격은 3군간에 유의한 차이가 없었다. 단, Q-TO, TO-PC 간격, Q-TR end 간격 및 TR end-PC 간격은 대조군에 비해 폐동맥 고혈압군에서 유의한 증가를 보였다(Table 1).

### 2. 폐동맥 고혈압군(B)과 심장 수술 받은 군(C)과의 비교

각각의 비교에서 Q-PC를 제외하고는 유의한 차이가 있었다(Table 1).

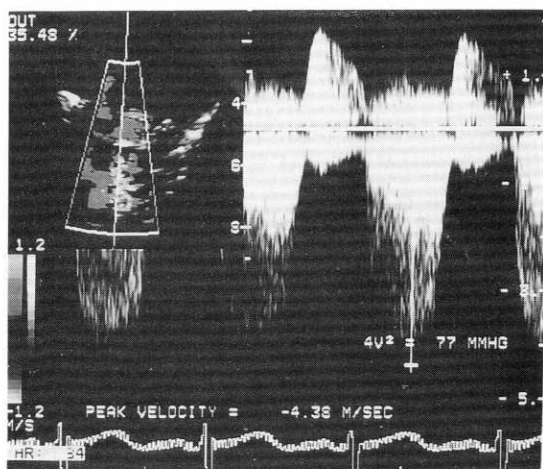


Fig. 2. The method measuring a tricuspid regurgitation gradient from the peak regurgitant flow velocity using a simplified Bernoulli equation.

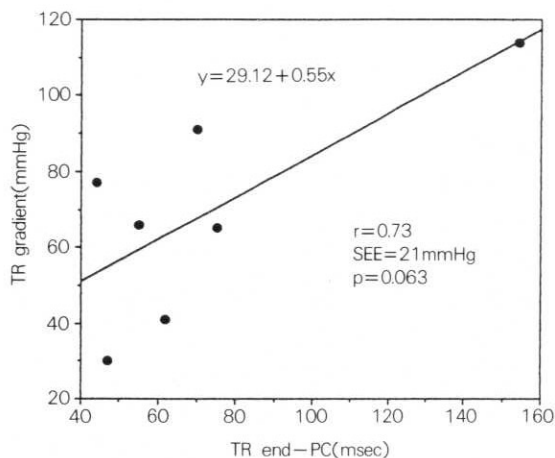


Fig. 3. Relationship between peak right ventricular-right atrial pressure gradient and the time interval from pulmonary closure(PC) to the end of tricuspid regurgitation(TR end-PC), for the patients with pulmonary hypertension.

### 3. TR end-PC와 TR gradient(우심실-우심방 압력차)와의 상관관계

정상 폐동맥압군에서 TR end-PC 간격은 -40에서 40msec 사이에 밀집하였다. 반면에 폐동맥 고혈압군에서는 40에서 80msec 사이에 밀집하였다. 상관관계는 폐동맥 고혈압군에서 상관계수 0.73, SEE 21 mmHg로 비교적 좋은 상관관계를 보여주었다(Fig. 3,  $y = 0.55X + 29.12$ ,  $p = 0.063$ ). 반면에, 심장수술 받은 환자군에서는 TR gradient가 낮을수록 회귀선상에 있었고 높을수록 과소측정되었으며 상관관계가 낮았다( $r = 0.41$ , SEE 17mmHg,  $P = 0.03$ ).

## 고 안

선천성 심질환의 혈역동학적 평가에서 심도자 검사 등의 관혈적인 방법을 대신할만한 비관혈적인 검사 방법들이 심초음파 검사의 발달과 더불어 활발히 연구되었다. 폐동맥압의 측정은 심초음파 검사에서 중요한 부분이다. 선천성 심장병 환자에서 폐동맥 고혈압의 진행 여부를 판단하거나 심장수술후의 폐동맥압 평가에서 특히 중요하다. 폐동맥압의 비관혈적 측정에 대하여 많은 방법들이 보고되었다. 이러한 방법들은 기술적인 성공율이나 정확도에서 다양한 결과를 보였다.

수축기압을 정량하는 방법중 등용이완시간(isovo-

lumatic relaxation time, IVRT)을 이용하는 Burstin법<sup>1,6)</sup>과 삼첨판 역류속도로 압력차를 이용하는 방법이 많이 알려졌다. Burstin 방법은 주폐동맥 혈류속도의 파형을 얻어 폐동맥판의 closure artifact를 참조하여 폐동맥판의 닫히는 시점(PC, pulmonary valve closure)을 기록하고, 심첨 4방도에서 삼첨판을 통한 우심실 유입 혈류속도의 파형을 얻어 삼첨판의 opening artifact를 참조하여 삼첨판의 열리는 시점(TO, tricuspid valve opening)을 기록하고, 심전도의 Q점과 PC(QPC), Q점과 TO 사이의 거리(QTO)를 측정하여 이 간격의 차이로 PC와 TO 사이의 간격(TO-PC) 즉, 등용이완 시간(IVRT, isovolumic relaxation time)을 산출한 다음, 이 값을 modified Burstin normogram<sup>6,9)</sup>에 대입하여 수축기압을 측정한다.

정확한 삼첨판 역류의 파형을 얻는 것은 예상보다 쉽지 않다. 상대적으로 속도가 늦기 때문에 도플러 beam과 혈류와의 각도를 최소한으로 하고 많은 window를 사용하여 중심혈류로부터 최대 속도를 기록해야 한다. 본 연구에서 1도의 역류에서는 너무 속도가 늦어 정확한 기록이 거의 불가능하였고, 2도 이상에서는 모두 가능하였다. 즉, 정상인에서 볼 수 있는 1도 정도의 역류파형은 기록하기 힘들었다. 그러나, 분광상을 얻기만 하면 정확도는 좋았다. 또, 압력차가 낮으면 과대측정되고 높을수록 과소측정되는 경향을 보였다. 역류된 jet의 범위가 너무 넓어도 과소 측정될 수 있고 심주기의 길이, 호흡의 변동에 따라서도 오차가 생길 수 있다<sup>8)</sup>.

심한 폐동맥 고혈압이 있으면서 사소한 삼첨판 폐쇄부전이 있을 때는 최고속도의 강도(intensity)가 낮아진다. 실제로, 최고속도 부근에서 가장 낮은 intensities를 보이는 경우가 많아 기록이 힘들다. 반면에, 역류 말기의 낮은 속도에서는 높은 강도를 보이므로 쉽게 기록할 수가 있다<sup>10)</sup>.

본 연구는 삼첨판 역류에 소요되는 시간이 우심실압에 비례한다는 것을 가정한 것이다. 즉, 우심실 수축기압이 높을수록 삼첨판 역류시간은 길어진다는 것이다. 이것을 뒷받침할 만한 몇가지 결과로는 첫째, 정상 폐동맥압군에서 TR end-PC 간격이 -40에서 40msec 사이에 밀집한데 비하여 폐동맥 고혈압군에서는 40에서 80msec 사이에 밀집한 것이고 둘째, 폐동맥 고혈압 환자에서 TR end-PC 간격과 TR gradient 사이에 상관관계가 좋았다는 것이다. 세째로 우

심실 기능이 비정상적이라고 할 수 있는 수술직후의 환자에서는 상관관계가 아주 낮았다는 것이다. 수술 받은 환자군에서는 압력차가 낮을수록 회귀선상에 있었고 높을수록 오차가 컸다(과소측정되었다). Brecker등<sup>10)</sup>은 폐동맥 고혈압과 우심실 확장에서는 TR end-P<sub>2</sub>(심음도) 간격과 TR gradient 사이에 밀접한 관계가 있었으나 확장성 심근증에서는 의미있는 관계가 없었다고 하였다. 이것은 곧, 삼첨판 역류시간 간격이 우심실 기능과 관계된다는 것을 시사하므로 몇가지 오차발생 요인을 찾아 연구한다면 추후 임상적으로 유용성이 크리라 사료된다.

## 요 약

### 연구 배경 :

수축기 폐동맥압 또는 우심실압을 비관혈적인 심초음파 검사를 이용하여 측정할 때, 삼첨판 폐쇄부전에 의한 역류파형으로 최고속도 및 압력차를 구하는 방법이 많이 이용되고 있다. 이 때 삼첨판 역류 최고속도(peak tricuspid regurgitant velocity)를 얻기가 쉽지 않다. 삼첨판 역류시간이 우심실압과 비례한다는 가정하에 소아의 삼첨판 폐쇄부전에서 도플러 심초음파 검사로 역류파형의 끝부분만 선명하게 얻으면 최고속도 및 압력차를 계산할 수 있는지 알아보기 위하여 본 연구를 시행하였다.

### 방 법 :

1993년 7월부터 1994년 2월까지 만 8개월간 삼첨판 폐쇄부전이 있었던 환자중 폐동맥 고혈압이 없었던 군을 A군(19례), 폐동맥 고혈압군을 B군(7례), 선천성 심질환으로 개심술을 받았던 군을 C군(27례)으로 나누어 비교하였다. 심전도상의 q파와 폐동맥 혈류속도 파형의 폐동맥판 폐쇄(pulmonary closure)점까지의 시간(Q-PC)을 구하고 삼첨판 역류파형에서는 q파와 삼첨판 역류파형의 끝부분까지의 시간(Q-TR end)을 얻어 TR end-PC를 구하고 심박수(분당 100)로 교정한 값으로,  $4V^2(V : \text{최고역류속도})$ 으로 구한 압력차와 비교하였다.

### 결 과 :

심박수 100으로 교정한 TR end-PC값은 A군  $12.95 \pm 48.69\text{msec}$ 보다 B군  $72.43 \pm 37.71\text{msec}$ 로 유의있게 높았다( $p < 0.01$ ). C군( $16.8 \pm 43.15\text{msec}$ )에서도 B군과 유의있는 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). TR end-PC와

압력차와의 상관관계는 A군( $r=0.12$ ), C군( $r=0.41$ )에서는 낮았고 B군에서 높았다( $r=0.73$ )(TR gradient =  $0.55 \times \text{TR end-PC} + 29.1$ ).

### 결 론 :

정상 폐동맥압을 가진 삼첨판 폐쇄부전환자에서 심초음파 검사로 산출한 TR end-PC는 폐동맥고혈압군에 비해 유의있게 낮았으나 역류 최고속도와 상관관계는 없었다. 폐동맥 고혈압군에서는 높은 상관관계를 보였다. 그러나, 우심실 기능이 비정상적이라고 할 수 있는 수술직후의 환자에서는 상관관계가 아주 낮았다. 이것은 곧 삼첨판 역류에 소요되는 시간이 우심실 기능과 관계된다는 것을 시사하므로 몇가지 오차발생 요인을 찾아 연구한다면 추후 임상적으로 유용성이 크리라 사료된다.

## References

- 1) Stevenson JG : Comparison of several noninvasive methods for estimation of pulmonary artery pressure. *J Am Soc Echo* 2 : 157-171, 1989
- 2) Kitabatake A, Inoue M, Asao M : Noninvasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed Doppler technique. *Circulation* 68 : 302-309, 1983
- 3) Dabestani A, Mahan G, Gardin JM : Evaluation of pulmonary artery pressure and resistance by pulsed Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 59 : 662-668, 1987
- 4) Kosturakis D, Goldberg SJ, Allen HD, Loeber C : Doppler echocardiographic prediction of pulmonary arterial hypertension in congenital heart disease. *Am J Cardiol* 53 : 1110-1115, 1984
- 5) Chan KL, Currie PJ, Seward JB, Hagler DJ, Mair DD, Tajik AJ : Comparison of three Doppler ultrasound methods in the prediction of pulmonary artery pressure. *J Am Coll Cardiol* 9 : 549-554, 1987
- 6) Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG : Noninvasive estimation of peak pulmonary artery pressure by M-mode echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 70 : 657-672, 1984
- 7) Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A : Noninvasive estimation of pulmonary artery systolic pressure with Doppler ultrasound. *Br Heart J* 45 : 157-165, 1981
- 8) Yock PG, Popp RL : Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation* 70 :

657-662, 1984

- 9) Burstin L : *Determination of pressure in the pulmonary artery by external graphic recordings. Br Heart J* 29 : 396-404, 1967
- 10) Brecker SJD, Xiao HB, Stojnic BB, Mbaissouroum M, Gibson DG : *Assessment of the peak tricuspid regurgitant velocity from the dynamics of retrograde flow. Int J Cardiol* 34 : 267-271, 1992