

# 수술 전 폐혈관 유순도가 심장 외 도관을 이용한 Fontan 수술 후 녹막 삼출 기간에 미치는 영향

윤태진\* · 임유미\* · 송광재\* · 정성호\* · 박정준\* · 서동만\* · 이무송\*\*

## Impact of Pulmonary Vascular Compliance on the Duration of Pleural Effusion Duration after Extracardiac Fontan Procedure

Tae-Jin Yun, M.D.\*, Yu-Mi Im, M.S.\*, Kwang-Jae Song\*, Sung-Ho Jung, M.D.\*,  
Jeong-Jun Park, M.D.\*, Dong-Man Seo, M.D.\*, Moo-Song Lee, M.D.\*\*

**Background:** Preoperative risk analysis for Fontan candidates is still less than optimal in that patients with apparently low risks may have poor surgical outcome; prolonged pleural drainage, protein losing enteropathy, pulmonary thromboembolism and death. We hypothesized that low pulmonary vascular compliance (PVC) is a risk factor for prolonged pleural effusion drainage after the Fontan operation. **Material and Method:** A retrospective review of 96 consecutive patients who underwent the Extracardiac Fontan procedures (median age: 3.9 years) was performed. Fontan risk score (FRS) was calculated from 12 categorized preoperative anatomic and physiologic variables. PVC ( $\text{mm}^2/\text{m}^2 \cdot \text{mmHg}$ ) was defined as pulmonary artery index ( $\text{mm}^2/\text{m}^2$ ) divided by total pulmonary resistance ( $\text{W.U} \cdot \text{m}^2$ ) and pulmonary blood flow ( $\text{L}/\text{min}/\text{m}^2$ ), based on the electrical circuit analogue of the pulmonary circulation. Chest tube indwelling time was log-transformed (log indwelling time, LIT) to fit normal distribution, and the relationship between preoperative predictors and LIT was analyzed by multiple linear regression. **Result:** Preoperative PVC, chest tube indwelling time and LIT ranged from 6 to 94.8  $\text{mm}^2/\text{mmHg}/\text{m}^2$  (median: 24.8), 3 to 268 days (median: 20 days), and 1.1 to 5.6 (mean: 2.9, standard deviation: 0.8), respectively. FRS, PVC, cardiopulmonary bypass time (CPB) and central venous pressure at postoperative 12 hours were correlated with LIT by univariable analyses. By multiple linear regression, PVC ( $p=0.0018$ ) and CPB ( $p=0.0024$ ) independently predicted LIT, explaining 21.7% of the variation. The regression equation was  $\text{LIT}=2.74 - 0.0158 \cdot \text{PVC} + 0.00658 \cdot \text{CPB}$ . **Conclusion:** Low pulmonary vascular compliance is an important risk factor for prolonged pleural effusion drainage after the extracardiac Fontan procedure.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2006;39:579-587)

**Key words:** 1. Fontan procedure  
2. Pulmonary vascular compliance  
3. Pleural effusion

\*울산대학교 의과대학 서울아산병원 소아심장외과  
Division of Pediatric Cardiac Surgery, Asan Medical Center, College of Medicine, University of Ulsan

\*\*울산대학교 의과대학 예방의학교실

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, University of Ulsan

논문접수일 : 2006년 3월 23일, 심사통과일 : 2006년 4월 18일

책임저자 : 윤태진 (138-736) 서울시 송파구 풍납동 388-1, 서울아산병원 소아심장외과

(Tel) 02-3010-3589, (Fax) 02-3010-6811, E-mail: tjyun@amc.seoul.kr

본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

서 론

1971년 프랑스의 Dr. Francis Fontan이 삼첨판막 폐쇄환자에게 단심실 교정을 시도하여 성공한 이후[1], 우심실 바이패스의 개념으로 전신 정맥혈과 폐동맥을 직접 연결하는 모든 변형 술식들은 개괄적으로 Fontan 술식이라고 하며 현재 양심실 교정이 어려운 기능적 단심증 환자에게 널리 적용되고 있다. 그동안 많은 임상 연구 및 기초 연구를 통하여 단심실 교정의 단기 및 장기 성적에 영향을 줄 수 있는 요인들이 밝혀져 왔으며, 이러한 노력들에 힘입어 Fontan 술식의 단기 및 장기 성적은 괄목할 만하게 호전되었다. 하지만 아직까지도 수술 전에 수술 위험도가 낮다고 생각되는 환자들 중에서 수술 후 만족스럽지 못한 결과, 예를 들어 장기적인 늑막 삼출, 폐 색전증, 단백 소모성 장질환 등으로 사망에 이르는 환자가 드물지 않다. Fontan 수술 대상자의 수술 전 평가에 있어 가장 중요하다고 생각되는 것은 폐혈관의 상태이며, 이를 위하여 폐동맥의 크기, 압력, 저항, 형태학적 양상 등이 개별적으로 평가된다. 그런데 폐혈관 저항은 특정 폐혈류에 대한 폐동맥압을 나타내는 것으로 인체의 폐순환을 단독적으로 설명하기에는 부족함이 있으며, 특히 우심실 없이 폐순환을 유지해야 하는 Fontan 순환을 이해하기 위해서는 폐혈관 저항 이외에도 추가로 폐동맥의 탄력성(elastance) 혹은 유순도(compliance)의 개념을 추가로 필요로 하게 된다. 본 연구에서는 폐순환이 저항과 유순도로 구성된 전기회로(windkessel model)에 적용될 수 있다는 전제하에 Fontan 수술을 받은 환자에서의 폐혈관 유순도(pulmonary vascular compliance)를 이 전기 회로로부터 유추된 단순화한 방법으로 측정하고, 수술 전 폐혈관 유순도와 수술 후 흉관 거치 기간과의 연관성을 알아봄으로써 본 연구에서와 같이 단순화한 방법으로 측정된 폐혈관 유순도의 유효성을 입증하고자 하였다.

대상 및 방법

1) 대상 환자군

2002년 1월부터 2005년 5월까지 심장 외 도관을 이용한 단심실 교정을 받은 총 96명의 환자들의 기록을 후행적으로 분석하였다. 동 기간 중 기존의 단심실 교정을 심장 외 도관으로 교체한 경우는 연구 대상에서 제외하였다. 환자들의 남녀 성비, 심실의 형태, 동반 기형 등은 Table 1과

Table 1. Patient profile

Sex ratio (male : female)	52 : 44
Age at Fontan operation (years)	2.43~12.45 (median: 3.86)
Ventricular morphology	LV type: 33/96 (34.4%) RV type: 38/96 (39.6%) Balanced ventricles: 25/96 (26%)
Associated anomalies	Heterotaxy syndrome: 27 Cc-TGA: 16 Tricuspid atresia: 14 TAPVD: 14

LV=Left ventricular; RV=Right ventricular, Cc-TGA=Congenitally corrected transposition of great arteries; TAPVD=Total anomalous pulmonary venous drainage.

같다. 단심실 교정의 단계적 치료 전략의 측면에서 57명의 환자가 1단계(적절한 폐혈류 확보를 위한 수술), 2단계(양방향성 상공정맥 폐동맥 문합술)를 거쳐 3단계(Fontan 술식)를 받았으며, 30명의 환자는 단계 없이 2, 3단계만을 받았고 6명의 환자는 2단계 없이 1, 3단계만을 받았다. 한편 3명의 환자는 1, 2단계 없이 직접 Fontan 술식을 받았다.

2) 심장 외 도관을 이용한 Fontan 술식

연구 대상 환자들은 모두 심장 외 도관을 이용한 Fontan 술식을 받았다. 사용된 심장 외 도관은 모두 PTFE (polytetrafluoroethylene) 재질의 혈관 도관으로 그 크기는 직경 18 mm가 72명(75%)으로 가장 많았고, 직경 20 mm가 14명, 직경 16 mm가 7명, 직경 22 mm가 3명의 순이었다. 도관의 직경과 수술 당시 체중과의 비는 0.45~1.61 mm/kg (중간값: 1.2)이었다. 대부분의 환자(71/96, 74%)에서 대동맥 차단 없이 수술이 진행되었으며, 한 환자(1%)에서 심장 외 도관 문합 후 심장 외 도관과 심방 사이의 연결(fenestration)이 설치되었다. 환자들은 중환자실 이송 후 가능한 한 빨리 기관 내 삽관을 발판하는 것을 원칙으로 하였고, 수술 당일엔 흉관 배액량과 같은 양의 교질용액을 투여하였다.

3) 지속적 흉관 거치의 위험 인자 분석을 위한 수술 전, 수술 관련 변수들

대부분(85/96, 88%)의 환자에서 수술 전 심도자술이 시행되었고, 심도자술을 받지 않은 환자들은 심장 전산화

**Table 2.** Clinical and hemodynamic data

Variables	Number of patients	Values
Preoperative O <sub>2</sub> saturation (%)	96/96 (100%)	60~98 (median: 85)
Fontan risk score	77/96 (80.2%)	0~7 (median: 2)
mPAP (mmHg)	90/96 (93.8%)	3~19 (median: 10)
PAI (mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	94/96 (97.9%)	48~639 (median: 245.5)
TPR (wood unit · m <sup>2</sup> )	77/96 (80.2%)	0.52~7.5 (median: 3.14)
PAR (wood unit · m <sup>2</sup> )	53/96 (55.2%)	0.1~3.92 (median: 1.53)
PVC (mm <sup>2</sup> /mmHg · m <sup>2</sup> )	90/96 (93.8%)	6~94.8 (median: 24.8)
VEDP (mmHg)	82/96 (85.4%)	0~20 (median: 7)
CPB time (minutes)	96/96 (100%)	40~245 (median: 94)
ACC time (minutes)	96/96 (100%)	15~69 (median: 25)
Conduit (mm)/Bwt (kg) ratio	96/96 (100%)	0.45~1.16 (median: 1.2)
Ventilatory support (hours)	96/96 (100%)	2~2,136 (median: 7)
ICU stay (days)	96/96 (100%)	1~83 (median: 4)
Hospital stay (days)	96/96 (100%)	8~275 (median: 24)
Chest tube indwelling time (days)	96/96 (100%)	3~268 (median: 20)
LIT	96/96 (100%)	0.79~5.99 (mean: 2.91, SD: 0.79)

mPAP=Mean pulmonary artery pressure; PAI=Pulmonary artery index; TPR=Total pulmonary resistance; PAR=Pulmonary arterial resistance; PVC=Pulmonary vascular compliance; VEDP=Ventricular end-diastolic pressure; CPB=Cardiopulmonary bypass; ACC=Aortic cross-clamping; ICU=Intensive care unit; LIT=Log indwelling time; SD=Standard deviation.

**Table 3.** Fontan risk score

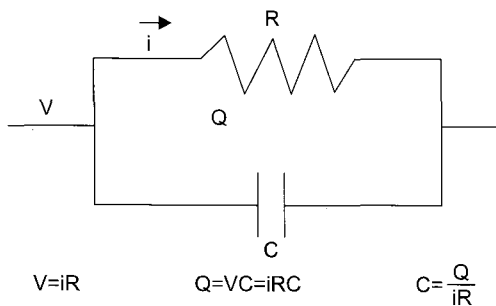
Risk factors	0	1	2	3
1. Age (months)	>12	6~12		<6
2. Ventricle	LV	RV		
3. Systemic outflow obst.		(+)		
4. PV obst.			(+)	
5. PA hypoplasia	(-)	Mild	Moderate	Severe
McGoon ratio	>2	1.8~2	1.5~1.8	<1.5
Nakata index	>200	100~200	50~100	<50
Diameter (z)	-2 to +2	-2 to -3	-3 to -4	<-4
6. Mean PAP	<15	15~20	20~25	<20
7. PABS or distortion	(-)	Discrete, single	Discrete, multiple	Diffuse
8. Rp (wood unit · m <sup>2</sup> )	<2	2~3	3~4	>4
9. AVV regurgitation	(-)	Mild	Moderate	Severe
10. V systolic dysfunction	(-)	Mild	Moderate	Severe
EF (%)	>55	55~45	45~40	<40
SF (%)	>32	31~28	27~24	<23
11. Vdiastolic dysfunction				
VEDP (mmHg)	<10	10~12	12~14	>14
12. V hypertrophy	NI	Mild	Moderate	Severe
Mass (echo)	-2 to +2	-2 to -3	-3 to -4	<-4

Obst=Obstruction; PV=Pulmonary vein; PA=Pulmonary artery; PAP=Pulmonary artery pressure; PABS=Pulmonary artery branch stenosis; Rp=Pulmonary vascular resistance; AVV=Atrioventricular valve; V=Ventricular; EF (%)=Ejection fraction; SF (%)=Shortening fraction; VEDP=Ventricular end-diastolic pressure.

**Table 4.** Variables included for risk analysis of prolonged pleural effusion drainage

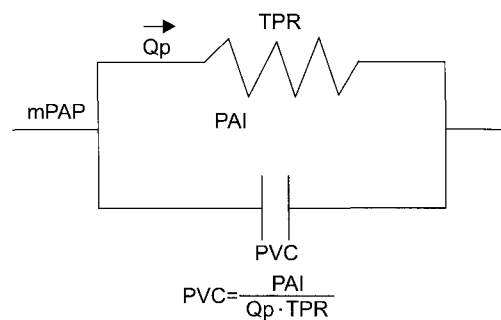
Preoperative	Age, body weight, BSA at Fontan procedure Staged approach vs. one-stage Fontan procedure Association with cc-TGA or heterotaxy syndrome Association with TAPVD or IVC interruption Pleural effusion duration upon previous bidirectional cavopulmonary shunt Pre-Fontan O <sub>2</sub> saturation Fontan risk score (FRS) Ventricle related variables: morphology, hypertrophy, systolic function, ventricular end-diastolic pressure Pulmonary artery related variables: mean PAP, PAI, PVR, PVC
Operative	CPB time/ACC time Size of extracardiac conduit Placement of fenestration Surgical procedures in addition to Fontan operation
Postoperative	CVP at postoperative 0, 12, 24 and 48 hours Complications other than prolonged pleural effusion drainage

BSA=Body surface area; cc-TGA=Congenitally corrected transposition of great arteries; TAPVD=Total anomalous pulmonary venous drainage; IVC=Inferior vena cava; PAP=Pulmonary artery pressure; PAI=Pulmonary artery index; PVR=Pulmonary vascular resistance; PVC=Pulmonary vascular compliance; CPB=Cardiopulmonary bypass; ACC=Aortic cross-clamping; CVP=Central venous pressure.



**Fig. 1.** Electrical circuit consisting of resistance and compliance. V=Voltage; I=Current; R=Resistance; Q=Total charge in the circuit; C=Compliance.

단층 촬영(cardiac computerized tomogram) 혹은 심장 자기 공명 영상법(cardiac magnetic resonance imaging)을 통한 형태학적 평가와 수술장에서의 혈액학적 평가를 통하여 심도자술로부터 얻어야 할 정보를 대치하였다(Table 2). 수술 후 누막 삼출 기간의 위험 인자 분석에는 12가지 수술 전 위험인자들을 지수화한 Fontan risk score (FRS)[2](Table 3) 및 기타 다양한 수술 전, 수술 중 위험 인자들을 포함시켰으며(Table 4), 본 연구를 위하여 전기 회로 analogue를 폐순환에 적용하여 계산된 폐혈관 유순도(pulmonary vascular compliance, PVC, mm<sup>2</sup>/mmHg/m<sup>2</sup>)를 위험인자로 추가하였다. 저항 및 유순도로 구성된 전기 회로 analogue (Fig. 1)에 의하면 PVC는 폐동맥 지수(pulmonary artery index, mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)를 총폐저항(total pulmonary resistance, W.U · m<sup>2</sup>)



**Fig. 2.** Schematic illustration of the pulmonary circulation from an electrical circuit analogue consisting of resistance and compliance. mPAP=Mean pulmonary artery pressure; Qp=Pulmonary blood flow; TPR=Total pulmonary resistance; PAI=Pulmonary artery index; PVC=Pulmonary vascular compliance.

및 폐 혈류량(pulmonary blood flow, L/min/m<sup>2</sup>)으로 나눈 값으로 정의되며(Fig. 2), 이는 폐동맥의 크기와 저항, 폐 혈류량 등을 동시에 고려하는 변수라고 할 수 있다[3].

#### 4) 통계 처리 방법

수치 자료는 빈도 혹은 중간값과 범주로 표시하였고, 자료가 정규분포를 이루는 경우에는 평균과 표준 편차로 표시하였다. 결과 변수인 흉관 거치 기간은 자연로그를 취해 정규 분포화하고 이를 log indwelling time (LIT)으로 정의하였으며, 수술 전 위험 인자들과 LIT의 관계를 다중

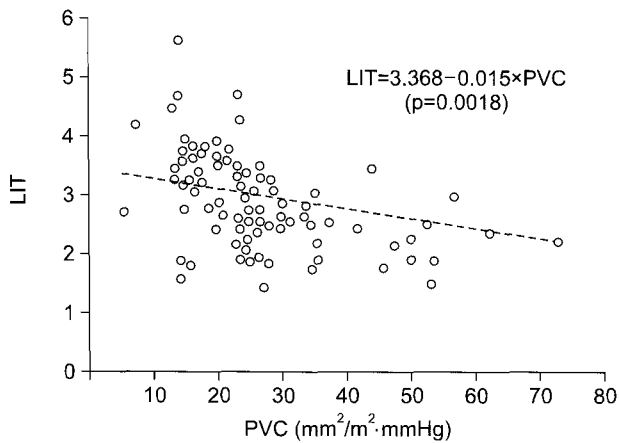


Fig. 3. Correlation between PVC and LIT. LIT=Log indwelling time; PVC=Pulmonary vascular compliance.

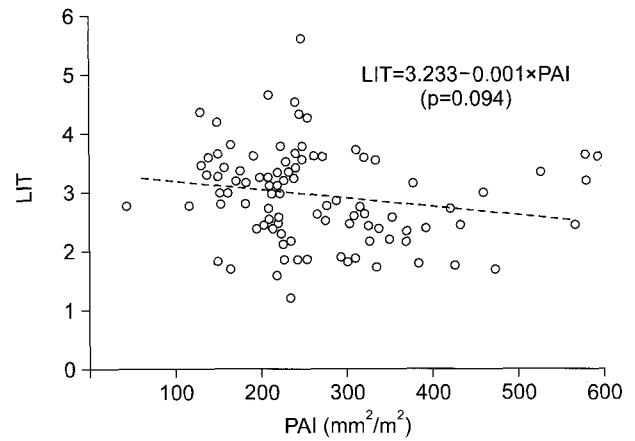


Fig. 5. Correlation between PAI and LIT. LIT=Log indwelling time; PAI=Pulmonary artery index.

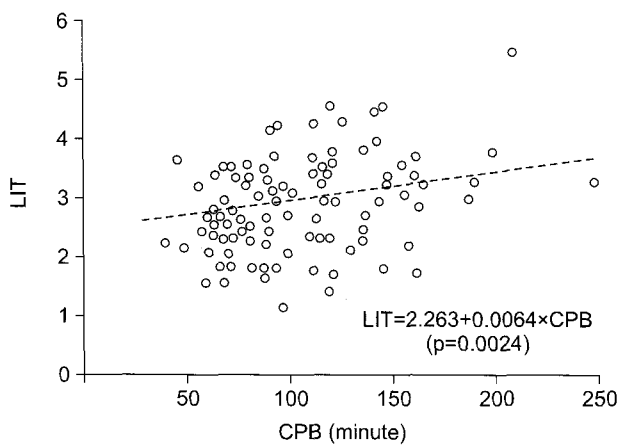


Fig. 4. Correlation between CPB and LIT. LIT=Log indwelling time; CPB=Cardiopulmonary bypass time.

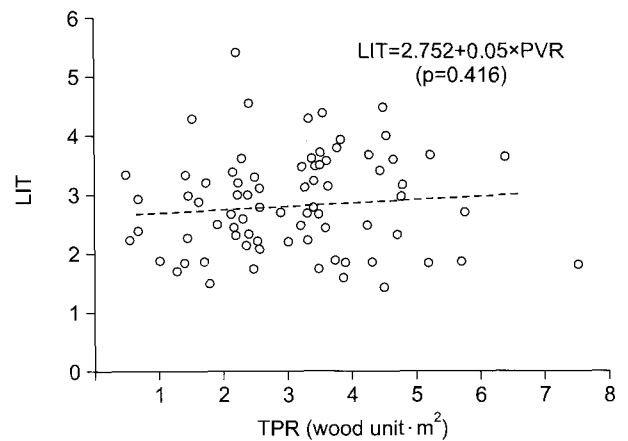


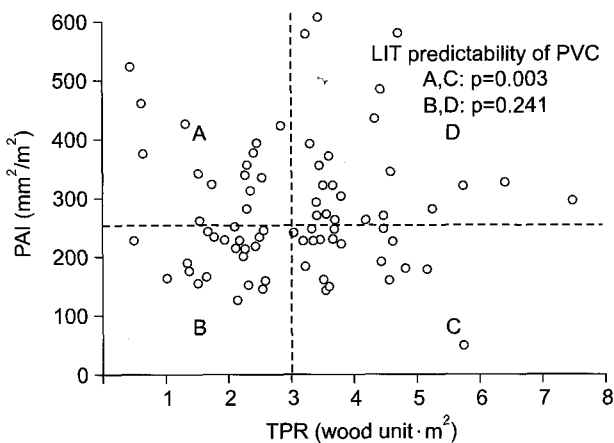
Fig. 6. Correlation between TPR and LIT. LIT=Log indwelling time; TPR=Total pulmonary resistance.

회귀 분석하였다. 수술 전 위험 인자 중 총폐저항(total pulmonary resistance)과 폐동맥 지수(pulmonary artery index)를 근거로 한 층화 분석을 위해 총폐저항 3 Wood unit·m<sup>2</sup> 및 폐동맥 지수 250 mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>를 기준으로 4군으로 나누어 폐혈관 유순도의 LIT에 대한 예측력을 판정하였다. 통계 프로그램은 SPSS 12.0KO for windows가 사용되었으며, p-value 0.05 이하를 통계적으로 유의하다고 간주하였다.

## 결 과

수술 후 조기 사망은 없었고 만기 사망은 4명(4.2%)이었다. 수술 전 PVC, 흉관 거치 기간, LIT는 각각 6~94.8

mm<sup>2</sup>/mmHg/m<sup>2</sup> (중간값: 24.8), 3~268일(중간값: 20일), 1.1~5.6 (평균: 2.9, 표준 편차: 0.8)이었다(Table 1). 단변수 분석상 FRS, PVC, 체외 순환시간(CPB) 및 술 후 12시간째의 중심 정맥압 등이 LIT와 연관되었으나, 다변수 선형 회귀 분석상 PVC (p=0.0018, Fig. 3) 및 CPB (p=0.0024, Fig. 4) 만이 독립적으로 LIT를 예측하였다. 두 변수는 LIT 변이에 대하여 21.7%의 설명력이 있었으며, 두 변수를 이용한 회귀 분석식은 LIT=2.74-0.0158·PVC+0.00658·CPB였다. 한편 폐동맥 지수(p=0.094, Fig. 5) 및 총폐저항(p=0.416, Fig. 6)은 LIT와 유의한 상관 관계가 없었으며, 두 변수 사이에도 유의한 상관 관계가 없었다(p=0.937, Fig. 7). 총폐저항 3 Wood unit·m<sup>2</sup> 및 폐동맥 지수 250 mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>를 기준으로 4군으로 나누어 각 환자군에서의 폐혈관 유순도의



**Fig. 7.** PAI and TPR. There was no correlation between PAI and TPR ( $p=0.937$ ). LIT predictability of PVC was significant only in patients with low TPR/large PA (group A) or high TPR/small PA (group C). PAI=Pulmonary artery index; TPR=Total pulmonary resistance; PVC=Pulmonary vascular compliance; LIT=Log indwelling time; PA=Pulmonary artery.

LIT 예측력을 분석한 결과 총폐저항이 낮고 폐동맥 지수가 높거나(A) 총폐저항이 높고 폐동맥 지수가 낮은 군(C)에서의 폐혈관 유순도의 LIT 예측력은 우수하였으나 ( $p=0.003$ ), 두 가지 변수 모두 높거나 낮은 경우에는(B, C) 폐혈관 유순도의 LIT 설명력이 만족스럽지 못함을 알 수 있었다( $p=0.241$ , Fig. 7).

## 고 찰

체의 순환에 의한 개심술이 시작된 지 반 세기가 흐르는 동안 선천성 심기형의 수술적 치료는 거의 전 분야에 걸쳐 눈부신 발전을 보여왔지만, 그 중에서도 Fontan 수술은 그 대상이 되는 심장기형의 다양함 및 세밀한 단계적 치료전략을 통한 환자 상태의 최적화, 잘 정리되고 계량화된 수술 전 위험 인자 분석 등의 관점에서 볼 때 가히 선천성 심기형에 대한 수술적 치료 중의 백미라 할 만하다. 그런데 Fontan 수술 대상자의 수술 전 평가에 있어 너무 많은 변수들을 고려해야 한다는 점은 오히려 술 전 위험 인자 분석에 어려움을 초래할 수 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위해 고안된 것이 여러 가지 변수를 점수화하여 합산한 위험인자 지수 체계(risk factor scoring system)이다. 하지만 합리적일 듯 보이는 이러한 지수 체계도 여러 가지 문제점을 안고 있다. 본 연구에서 사용된 Fontan risk score[2]는 여러 가지 위험 인자들의 유무에 따른 점수

를 가산하여 수술 위험도를 분석한 것이지만 1) 연속, 비연속 변수를 모두 범주형 변수(categorical variable)로 만들어 점수화한 것이므로 그 자체가 비연속 변수이고, 2) 일부 변수의 점수 산정 기준이 되는 수치들의 근거가 빈약하고, 3) 이렇게 산출된 총 점수와 결과 변수와의 관계를 과학적으로 적절히 증명한 임상보고가 드물다는 점에서 그 한계를 보인다. 또한 각각의 위험인자들을 하나하나 살펴봐도 여러 가지 문제점이 발견된다. 예를 들어 폐혈관 저항의 경우 폐혈류에 따라 그 측정치가 달라지는 문제점이 있다. 이는 폐동맥압이 폐혈류에 증가에 따라 직선관계가 아닌 기하 급수적으로 증가하는 양상을 보이므로 낮은 폐혈류 상태에서는 폐혈관 저항이 낮게 계산되기 때문이다. 이러한 문제점을 단적으로 보이는 예는 Fontan 수술 후 저심박출증이 생긴 환자들이 심장 이식술을 받고 나서 폐혈관 저항이 상승한다는 보고이다[4]. 이 경우 심장 이식 후 폐혈관 저항이 상승했다기보다는 낮은 폐혈류에서의 폐동맥압으로 계산된 폐혈관 저항과 심장 이식술로 상승한 폐혈류량에 대한 폐동맥압으로 계산된 폐혈관 저항이 차이를 보여준다. 폐동맥의 크기 역시 논란의 여지가 있는데, 폐동맥 크기는 Fontan 수술 성적을 예측하게 한다는 주장[5]과 폐동맥 크기와 Fontan 수술 성적과는 무관하다는 주장[6,7]들이 서로 엇갈린다. 물론 이러한 연구 결과들은 수술 사망을 결과 변수로 분석했다는 문제점 및 사망자와 생존자의 폐동맥 지수를 단순히 비교하는 등의 통계 처리상의 문제점들을 가지고 있어 설득력이 그리 높다고 할 수는 없다. 그렇다면 Fontan 수술 대상자에 있어 상식적으로는 중요하다고 생각되는 폐동맥의 크기는 Fontan 수술의 결과에 어떤 영향을 줄 수 있는가? 폐순환을 저항과 유순도로 구성된 전기회로(Fig. 1)에 비유할 때 폐동맥의 크기는 전체 전하량(Q)에 해당하며 총 폐저항, 폐혈관 유순도, 폐혈류량, 폐동맥압 등의 모든 요인들로서 나타낼 수 있다는 것이 이 연구에서 인용한 가설이다[2]. 이러한 가설이 맞고 틀림은 차치하고 이 가설에 의해 정의된 폐혈관 유순도는 폐동맥의 크기와 폐혈관 저항을 동시에 고려한다는 점에서 매력적이라고 할 수 있다. 폐혈관 유순도를 측정하는 고전적인 방법은 폐동맥압 곡선에서 dicrotic notch로부터 최저점까지의 시간(확장기 시간 상수, Diastolic time constant) 및 각각의 폐동맥압을 구한 뒤 혈관 저항과 함께 특정 공식에 대입함으로써 구하는 'Reuben 공식'이다[8-10]. 'Reuben 공식'은 폐순환을 탄력성(elastance)을 가진 하나의 방(chamber)으로 보고 우심실로부터 구출된 혈류가 이 탄력적인 방(elastic cham-

ber)을 확장시킬 때 최대로 확장된 상태에서 수축할 때까지의 시간과 압력 변화를 분석하여 폐순환의 탄력성, 혹은 유순도를 계산해내는 방법이다. 이때 최대 확장 압력은 폐동맥 압력 곡선의 중복 맥박 패임(dicrotic notch) 압력을 사용하며 기타 우심실 수축기말 압력[11]이나 폐동맥 평균압력[12]을 대신 사용할 수도 있다. 그런데 Fontan 순환은 폐순환으로 혈액을 구출하는 펌프가 없는 'steady flow hemodynamics'이므로 정상 및 폐동맥 고혈압 환자에서 박동성 혈류가 폐혈류로 유입될 때의 저항(input impedance)를 고려해야 하는 것[13-15]과는 달리 'zero-frequency input impedance'만을 생각하면 된다는 점[16]에서 'Reuben의 공식'을 적용하기에 적절하지 못하다. 따라서 수술장에서 폐혈류량의 변화를 주면서 폐동맥압 변화의 추이를 관찰하는 직접적인 방법[17,18]을 사용하지 않는다면, 본 연구에서와 같은 방법으로 폐혈관 유순도를 측정하는 것이 차선책이 될 수 있다. 다만 본 연구에서 측정된 폐혈관 유순도는 총폐저항과 폐동맥 크기 중 어느 한 가지 위험인자만을 가진 군에서는 흉관 거치 기간에 대한 설명력이 충분하지 못하다는 제한점을 보였으며, 이는 후속 연구를 통해 폐혈관 유순도를 보다 직접적으로 측정하는 방법을 개발함으로써 개선될 것이라 생각한다.

본 연구에서는 결과 변수로서 흉관 거치 기간을 사용하였으며, 연구 모델을 단순화하기 위하여 기타 결과 변수는 고려하지 않았다. Fontan 수술 후 그 성적에 대한 평가를 위한 결과 변수(outcome variable)로 분석되어 온 것들은 본 연구에서와 같은 흉관 거치 기간(chest tube indwelling time)[19] 이외에도 부정맥과 같은 수술 후 합병증 여부[20,21], 폐색전증(pulmonary thromboembolism) 유무[22-27], 단백 소모성 장질환(protein losing enteropathy) 여부, 심실 기능[28], 기타 장기 손상[29], 수술 사망[5-7] 등이 있다. 1980년대까지만 해도 Fontan 수술 후 수술 사망률 및 만기 사망률이 높았으므로 수술 후 사망이 유력한 결과 변수로 분석되었다. 하지만 수술 사망 및 만기 사망률이 현저히 감소된 점, 그리고 이에 반하여 상관 관계를 분석할 수술 전 위험인자들이 매우 많다는 점을 감안할 때 수술 사망 유무를 결과 변수로 사용하기에는 한계가 있다. 또한 수술 후 나타나는 여러 가지 합병증들도 그 발생 빈도, 진단의 정확성 및 증정도 산정 등에 있어 제한점을 가진다. 이에 반하여 흉관 거치 기간(혹은 늑막 삼출 기간)은 조기 사망 환자를 제외한 모든 환자에서 정확히 측정할 수 있고, 연속 변수으로써 의미 있는 통계처리가 가능하므로 수술 후 경과를 가장 잘 반영할 수 있는 결과 변수라고 할

수 있다. 본 연구에서는 폐혈관 유순도 이외에도 지속적 흉관 거치 기간의 위험인자로 장시간의 체외 순환도 관여하는 것으로 밝혀졌다. 체외 순환 시간이 길다는 것은 그만큼 복잡한 수술적 처치를 요하는 경우라고 생각하면 지속적 흉관 거치의 다른 위험 인자들과 동반되었을 가능성이 크다고 유추할 수도 있지만, 체외 순환 시간과 흉관 거치 기간의 유의한 관계는 다변수 분석의 결과이므로 체외 순환 시간 자체가 독립적으로 흉관 거치 기간에 영향을 준다고 보는 것이 타당할 듯하다. 체외 순환으로 유발되는 전신 염증 반응 및 폐혈관 반응성(pulmonary vascular reactivity)을 고려할 때 장시간의 체외 순환이 Fontan 수술 후의 혈액학에 나쁜 영향을 줄 것임은 쉽게 예상할 수 있다. 흉관 거치 기간의 위험 인자를 분석한 다른 보고에서도 체외 순환 시간은 중요한 변수로 기술되는 점을 고려할 때[19], 체외 순환 시간을 최소한으로 하려는 노력이 필요하며 체외 순환 없이 Fontan 수술을 하려는 시도[30]도 어느 정도 설득력이 있다고 할 수 있다.

## 결 론

저항과 유순도로 구성된 전기 회로에 폐순환을 적용하여 계산되는 폐혈관 유순도는 심장 외 도관을 이용한 단심실 교정 후의 흉관 거치 기간을 결정하는 중요한 예측인자로서, 수술 전 위험 인자 분석에 유용하게 사용될 수 있다. 하지만 폐동맥 직경과 폐혈관 저항이 모두 크거나 모두 작은 환자군, 즉 두 변수 중 어느 한쪽만이 양호한 환자군에서는 본 연구에서 이용한 것과 같은 단순화한 계산법에 의한 폐혈관 유순도의 흉관 거치 기간 예측력이 제한적이었으며, 이를 보완할 보다 정확하고 직접적인 폐혈관 유순도 측정법에 대한 후속 연구가 필요할 것이라 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. Fontan F, Baudet E. *Surgical repair of tricuspid atresia*. Thorax 1971;26:240-8.
2. Fisher DJ, Geva T, Felters TF, et al. *Lifelong management of patients with a single functional ventricle: a protocol*. Tex Heart Inst J 1995;22:284-95.
3. Senzaki H, Isoda T, Ishizawa A, Hishi T. *Reconsideration of criteria for the fontan operation: influence of pulmonary artery size on postoperative hemodynamics of the Fontan operation*. Circulation 1994;89:1196-202.

4. Mitchell MB, Campbell DN, Ivy D, et al. *Evidence of pulmonary vascular disease after heart transplantation for Fontan circulation failure.* J Thorac Cardiovasc Surg 2004; 128:693-702.
5. Fontan F, Fernandez G, Costa F, et al. *The size of the pulmonary arteries and the results of the Fontan operation.* J Thorac Cardiovasc Surg 1989;98:711-24.
6. Bridges ND, Farrell Jr PE, Pigott III JD, Norwood WI, Chin AJ. *Pulmonary artery index: a nonpredictor of operative survival in patients undergoing modified Fontan repair.* Circulation 1989;80(suppl I):I216-21.
7. Girod DA, Rice MJ, Mair DD, Julsrud PR, Puga FJ, Danielson GK. *Relationship of pulmonary artery size to mortality in patients undergoing the Fontan operation.* Circulation 1985;(suppl II):II93-6.
8. Reuben SR. *Compliance of the human pulmonary arterial system in disease.* Circ Res 1971;29:40-50.
9. Senzaki H, Kato H, Akagi M, Hishi T. *New criteria for the radical repair of congenital heart disease with pulmonary hypertension: in order to avoid postoperative residual pulmonary hypertension.* Jpn Heart H 1995;36:49-59.
10. Basnet NB, Awa S, Hishi T, Yanagisawa M. *Pulmonary arterial compliance in children with atrial and ventricular septal defect.* Heart Vessels 2000;15:61-9.
11. Brown KA, Ditchey RV. *Human right ventricular end-systolic pressure-volume relation defined by maximal elastance.* Circulation 1988;78:81-91.
12. Chemla D, Hebert JL, Coirault C, Salmeron S, Zamani K, Lecarpentier Y. *Matching diastolic notch and mean pulmonary artery pressures: implications for effective arterial elastance.* Am J Physiol 1996;271:H1287-95.
13. Weinberg CE, Hertzberg JR, Ivy D, et al. *Extraction of pulmonary vascular compliance, pulmonary vascular resistance, and right ventricular work from single-pressure and Doppler flow measurement in children with pulmonary hypertension: a new method for evaluating reactivity-in vitro and clinical studies.* Circulation 2004;110:2609-17.
14. Deswysen B, Charlier AA, Gevers M. *Quantitative evaluation of the systemic arterial bed by parameter estimation of a simple model.* Med & Biol Eng 1980;18:153-66.
15. Huez S, Brimiouille S, Naeije R, Vachiery JL. *Feasibility of routine pulmonary arterial impedance measurements in pulmonary hypertension.* Chest 2004;125:1211-28.
16. De Zelicourt DA, Pekkan K, Willis L, et al. *In vitro flow analysis of a patient-specific intraatrial total cavopulmonary connection.* Ann Thorac Surg 2005;79:2094-102.
17. Reddy VM, Petrossian E, McElhinney DB, Moore P, Teitel DF, Hanley FL. *One-stage complete unifocalization in infancts: when should the ventricular septal defect be closed?* J Thorac Cardiovasc Surg 1997;113:858-68.
18. Kitagawa T, Hori T, Chikugo F, et al. *Direct intraoperative measurements of aortic and pulmonary blood flows in patients with severe pulmonary artery hypertension.* J Cardiovasc Surg 2000;41:683-9.
19. Gupta A, Dagger C, Behera S, Ferraro M, Wells W, Starnes V. *Risk factors for persistent pleural effusions after the extracardiac Fontan procedure.* J Thorac Cardiovasc Surg 2004; 127:1664-9.
20. Chowdhury UK, Airan B, Kothari SS, et al. *Specific issues after extracardiac Fontan operation: ventricular function, growth potential, arrhythmia, and thromboembolism.* Ann Thorac Surg 2005;80:665-72.
21. Ovroutski S, Alexi-Meskishvili V, Ewert P, Numberg JH, Hetzer R, Lange PE. *Early and medium-term results after modified Fontan operation in adults.* Eur J Cardiothorac Surg 2003;23:311-6.
22. Jacobs ML. *The Fontan operation, thromboembolism and anticoagulation: a reappraisal of the single bullet theory.* J Thorac Cardiovasc Surg 2005;129:491-5.
23. Jacobs ML, Pourmoghadam KK, Geary EM, et al. *Fontan's operation: is aspirin enough? is coumadin too much?* Ann Thorac Surg 2002; 73:64-8.
24. Kaulitz R, Ziemer G, Rauch R, et al. *Prophylaxis of thromboembolic complications after the Fontan operation (total cavopulmonary anastomosis).* J Thorac Cardiovasc Surg 2005; 29:569-75.
25. Kavarana MN, Pegni S, Recto MR, et al. *Seven-year clinical experience with the extracardiac pedicled pericardial Fontan operation.* Ann Thorac Surg 2005;80:37-43.
26. Mahnke CB, Boyle GJ, Janosky JE, Siewers RD, Pigula FA. *Anticoagulation and incidence of late cerebrovascular accidents following the Fontan procedure.* Pediatr Cardiol 2005; 26:56-61.
27. Monagle P, Karl TR. *Thromboembolic problems after the Fontan operation.* Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu 2002;5:36-47.
28. Uemura H, Yagihara T, Kawashima Y, et al. *What factors affect ventricular performance after Fontan-type operation?* J Thorac Cardiovasc Surg 1995;110:405-15.
29. Ghaferi AA, Hutchins GM. *Progression of liver pathology in patients undergoing the Fontan procedure: chronic passive congestion, cardiac cirrhosis, hepatic adenoma, and hepatocellular carcinoma.* J Thorac Cardiovasc Surg 2005;129: 1348-2.
30. Shuichi S, Uemura H, Kagisaki K, Koh M, Yagihara T, Kitamura S. *The off-pump procedure by simply cross-clamping the inferior caval vein.* Ann Thorac Surg 2005;79:2083-8.



**=국문 초록=**

배경: 단심실 교정을 시행함에 있어 수술 전 위험 인자가 많지 않다고 판단되는 경우에도 수술 후 장기간의 흉관 배액, 단백 소모성 장질환, 폐혈관 색전증, 사망 등의 불량한 결과를 얻을 수 있다. 이러한 측면에서, 단심실 교정에 대한 기존의 위험 인자 분석은 수술 결과를 예측함에 있어 미흡한 점이 있다고 할 수 있다. 저자 등은 폐혈관 유순도를 새로이 정의하고, 낮은 폐혈관 유순도가 수술 후 흉관 배액 기간을 길게 한다는 가설을 세워 이를 증명하고자 하였다. 대상 및 방법: 2002년 1월부터 2005년 5월까지 심장 외 도관을 이용한 단심실 교정을 받은 총 96명의 환자들의 기록을 후행적으로 분석하였다. 동 기간 중 기존의 단심실 교정을 심장 외 도관으로 교체한 경우는 연구 대상에서 제외하였다. 수술 후 늑막 삼출 기간의 위험 인자 분석에는 12가지 수술 전 위험인자들을 지수화한 Fontan risk score (FRS) 및 기타 다양한 수술 전, 수술 중 위험 인자들을 포함시켰으며, 본 연구를 위하여 전기 회로 analogue를 폐순환에 적용하여 계산된 폐혈관 유순도(pulmonary vascular compliance, PVC,  $\text{mm}^2/\text{mmHg}/\text{m}^2$ )를 위험인자로 추가하였다. 전기 회로 analogue에 의하면 PVC는 폐동맥 지수(pulmonary artery index,  $\text{mm}^2/\text{m}^2$ )를 총폐저항(total pulmonary resistance, Wood Unit  $\cdot \text{m}^2$ ) 및 폐 혈류량(pulmonary blood flow,  $\text{L}/\text{min}/\text{m}^2$ )으로 나눈 값으로 정의되며, 이는 폐혈관의 크기와 저항, 폐 혈류량 등을 동시에 고려하는 변수라고 할 수 있다. 결과 변수인 흉관 거치 기간은 자연로그를 취해 정규 분포화하고 이를 log indwelling time (LIT)으로 정의하였으며, 분석 대상 위험 인자들과 LIT의 관계에 대한 다중 선형 회귀분석을 시행하였다. 결과: 조기 사망은 없었고 만기 사망은 4명(4.2%)이었으며, 단심실 교정 시 fenestration이 추가된 경우는 1예 있었다(1%). 수술 전 PVC, 흉관 거치 기간, LIT는 각각 6~94.8  $\text{mm}^2/\text{mmHg}/\text{m}^2$  (중간값:24.8), 3~268일(중간값: 20일), 1.1~5.6 (평균: 2.9, 표준 편차: 0.8)이었다. 단변수 분석상 FRS, PVC, 체외 순환시간(CPB) 및 술 후 12시간째의 중심 정맥압 등이 LIT와 연관되었으나, 다변수 분석상 PVC ( $p=0.0018$ ) 및 CPB ( $p=0.0024$ )만이 독립적으로 LIT를 예측하였다. 두 변수는 LIT 변이에 대하여 21.7%의 설명력이 있었으며, 두 변수를 이용한 회귀 분석식은 다음과 같았다.  $\text{LIT}=2.74-0.0158 \cdot \text{PVC}+0.00658 \cdot \text{CPB}$ . 결론: 새로이 정의된 폐혈관 유순도는 심장 외 도관을 이용한 단심실 교정 후의 흉관 거치 기간을 결정하는 중요한 예측 인자로서, 수술 전 위험 인자 분석에 유용하게 사용될 수 있다.

- 중심 단어 : 1. Fontan 술식  
2. 폐혈관 유순도  
3. 늑막 삼출