

# 폰탄 수술에서 문합방법에 따른 혈류 변화

김상현, 박영환, 조범구, 김종훈, 홍유선, 김영호<sup>1</sup>, 김승수<sup>2</sup>

연세대학교 의과대학 심장혈관센터

<sup>1</sup>산재의료관리원 재활공학연구소

<sup>2</sup>한국화학연구소 생체의료고분자실

## Blood Flow Changes by Anastomotic Method in Fontan Operation

S.H.Kim, Y.H.Park, B.K.Cho, J.H.Kim, Y.S.Hong, Y.H.Kim<sup>1</sup>, S.S.Kim<sup>2</sup>

Cardiovascular Center, Yonsei University College of Medicine

<sup>1</sup>Research Center of Orthopaedics & Rehabilitation Engineering, WAMC

<sup>2</sup>Biomaterials Laboratory, Korea Research Institute of Chemical Technology

### ABSTRACT

To understand the local fluid dynamics for different designs of Fontan operation, five models were made out of Pyrex glass to facilitate in-vitro study. Model I, II and III have same position of the center of the anastomosis of the IVC(inferior vena cava) with that of the SVC(superior vena cava), but Model IV and V have 10 mm offset between them. Also the anastomotic junction angles are different(Model I and IV:90°, Model II and V:70°, Model III :45°). These models were then connected to a flow loop for flow visualization study. In Model I any dominant vortex was not seen in the central region of the junction, but a large unstable vortex was created in the Model II and III. In Model IV and V a significant stagnation region was created in the middle of the offset region. It also showed that the flow direction from the IVC and SVC to the LPA(left pulmonary artery) and RPA(right pulmonary artery) highly depends on the offset of the junction rather than the anastomotic junction angle.

회시키는 수술로서 심장의 역할이 한개의 심실 역할만 하도록 이루어졌다. 이 때 우심실 기능이 어지고 심방에서 폐동맥으로 압력차이에 의해서만 혈액이 흐르기 때문에 높은 정맥압과 낮은 폐동맥압이 불가피하며 수술부위의 혈류도 정상혈류와는 상당한 차이가 있다. 결국 폰탄수술 후 폐동맥 혈관저항이 높아져서 폐로의 혈액순환이 원활하지 못하여 많은 실패가 일어난다. 실패의 원인을 확실히 이해하기 위해서는 이부분에 대한 혈액학 연구가 필수적이다. 폰탄수술의 혈액학에 대해서는 많은 논란이 있는데 임상연구로는 주로 심초음파를 이용하거나[2-4] 혈류측정 카테터를 삽입하거나[5] 자기공명기술을 이용한 [6] 연구등이 있다. 최근에는 컴퓨터 시뮬레이션이나 생체의 실험을 통한 연구가 활발한데 대표적인 폰탄수술을 선정하여 수술부위의 압력손실이나 혈류모양등을 측정 한 보고들이 있다[7-10]. 본 연구에서는 완전정맥 폐동맥 문합술에서 문합방법에 따른 혈류변화를 관찰하기로 한다. 현재 문합방법은 여러 가지 형태로 이루어지고 있는데 최적의 수술방법은 아직 정립되어 있지 않다. 혈액유동은 에너지손실 및 압력손실과 밀접한 관계가 있으므로 이러한 현상들을 최소화하는 수술방법이 혈액학적으로 최적이라고 할 수 있다. 따라서 혈액학적인 관점에서 각 수술 방법에 따른 혈류변화를 관찰하기로 한다.

### 서론

폰탄수술은 1971년에 Fontan과 Baudet[1]가 선천성 복합심장기형 환자에게 인위적인 우심실기능을 만들기 위해 심방과 폐동맥을 연결시키는 수술을 시행한 이래 이와 유사한 수술방법이 수없이 개발되었다. 폰탄 수술 중에서 완전정맥폐동맥 문합술(total cavopulmonary connection)은 주로 단심실환자를 교정하기 위하여 우심실을 완전히 우

### 연구 방법

완전정맥폐동맥 문합술은 그림 1과 같이 SVC(superior vena cava)를 바로 폐동맥에 연결시키고 IVC(inferior vena cava)도 우심방통로(right atrial lateral tunnel)를 만들어서 폐동맥에 연결시키는 수술방법이다. 그림 2는 이 문합술의 혈류를 관찰할 실험모델 I의 구조와 내경을 표시하였다. 실험모델은 SVC, IVC, RPA(right pulmonary

artery), LPA(left pulmonary artery)로 구성되어 있다. 관의 내경은 폰탄수술환자으로 부터 잰 데이터의 기준으로 하였다. 실험모델은 모델 I 이외에도 문합방법에 따라 그림 3과 같이 여러 모델을 만들었다. 모델 II 와 III은 SVC와 IVC가 서로 마주보는 상태에서 각도의 변화만 있고 모델 IV와 V는 SVC와 IVC사이 10mm의 유격이 있으면서 각도의 변화만 있다. 실험에서 유동가시화기술(flow visualization technique)을 응용하기 위해서 각각의 모델을 투명한 플렉시글라스로 제작하였다. 이 모델을 정상유동 순환장치에 장치하여 혈류를 관찰하였다. 실험에 이용한 정상유동 혈액순환장치의 모식도를 그림 4에 나타내었다. 모델의 유입량은 2 L/min와 3 L/min의 두 가지 유량으로 하였고 SVC와 IVC의 유입유량비를 1:2로 하였다. 모델 입구의 압력을 일정하게 유지하도록 하기 위해서 저장조의 수위를 일정높이로 고정시켰다. 유속이나 압력조종이 가능하도록 밸브와 저항기를 적당히 조절하여 각 부분의 유량을 조정하였다. 순환장치에서 유량측정은 로타미터를 사용하였다. 혈액유사용액은 33%의 글리세롤을 증류수와 혼합하여 사용하였다. 유동을 관찰하기 위하여 혈액유사용액에 50-200 $\mu$ m 크기의 작은 입자(Amberlite)를 첨가하여 두 개의 백색광을 아래와 위에서 조명하여 반사하도록 하였다. 35mm 카메라를 수평으로 고정하여 촬영한 다음 혈류방향, 분리, 역류현상 등에 대해 분석하였다. SVC와 IVC에서 LPA와 RPA로의 유출유량 비율을 알기 위해서는 한 쪽으로만 입자를 투여한 다음 LPA와 RPA에서 나오는 입자를 건조시킨 다음 무게를 재서 기록하였다. 이 실험은 5회 반복하여 평균값을 구하였다.

### 결과 및 고찰

그림 5는 유동가시화 기술을 이용하여 각 모델의 유동을 촬영한 사진 그림이다. 여기서 유입량은 2L/min로 하였고 입자를 SVC와 IVC에 동시에 투여하여 관찰한 것이다. 사진 그림을 관찰해 보면 모델 I에서는 양유동이 만나는 부분에서 유동의 변화가 상당히 심하지만 정체부분은 보이지 않았다. 증상에 발생한 심한 난류는 혈액속의 적혈구 및 백혈구를 손상시킬 위험이 클 것으로 보인다. 모델 II 와 III에서는 모델의 증상에 큰 와류를 보여주면서 난류도 많이 발생하였다. 유동의 방향은 SVC에서 오는 유동이 주로 RPA로 가고 IVC에서의 유동은 거의 LPA로 가는 현상을 볼 수 있다. 유동방향을 정량적으로 구하기 위해서 LPA와 RPA에서 나오는 입자의 무게를 재서 유동방향의 비율을 구한 유동흐름비율을 표 1에 나타냈다. 모델 II에서는 IVC유동의 최고 62%가 LPA로 흐르고 SVC유동은 최고 74%가 RPA로 흐른다. 모델 III에서는 IVC유동의 최고 71%가 LPA로 흐르고 SVC의 최고 92%가 RPA로 흐른다. 표에서 보는 바와 같이 2L/min일 때와 3L/min일 때 유동흐름 비율은 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 모델 IV와 V는 SVC와 IVC의 문합에 10mm의 유격을 두었는데 이 경우에는 유격부분의 유체움직임이 현저히 둔화되어서 정체현상이 발생하였다. 정체현상은 혈관벽

에 혈액이 머무는 시간이 길기 때문에 혈전이 쌓일 위험이 많다. 따라서 실제 수술응용에서는 유격을 최소한으로 줄여서 정체현상을 줄일 필요가 있다. 유동방향은 모델 II와 III과는 반대로 IVC의 혈류는 RPA로 흐르고 SVC의 혈류는 LPA로 흐르는 현상을 볼 수 있다. 모델 IV와 V를 표 1에서 보면 IVC혈류의 최고 78%가 RPA로 흐르고 SVC혈류는 100%가 LPA로 흐른다. 혈류흐름은 비교적 원활하여 난류발생이 모델 I, II, III에 비해 현저하게 줄었다. 인체의 우폐가 좌폐보다 폐혈류가 많기 때문에 SVC보다 유량이 2배 많은 IVC의 혈류가 RPA로 흐르는 현상이 생리학적으로는 바람직하다고 볼 수 있다. 본 실험에서 결과를 관찰한 결과 혈류의 방향은 혈류량에는 별로 영향을 받지 않고 모델의 기하학적 변화에 따라 상당한 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다. 혈류의 방향과 유동 관찰은 폰탄수술시에 수술 후 실패의 원인중의 하나로 알려지고 있는 혈류정체, 혈관벽응력, 에너지 손실을 줄일 수 있는 수술방법을 개발하는데 큰 도움을 줄 것이다.

### 참고문헌

- [1] Fontan F, Baudet E : Surgical repair of tricuspid atresia. Thorax 26:240-8, 1971
- [2] Penny DJ, Redington AN : Doppler echocardiographic evaluation of pulmonary blood flow after the Fontan operation: the role of the lungs. Br Heart J 66:372-374, 1991.
- [3] Frommelt PC, Snider AR, Meliones JN, Vermilion RP : Doppler assessment of pulmonary artery flow patterns and ventricular function after the Fontan operation. Am J Cardiol 68:1211-1215, 1991.
- [4] Kobayashi J, Matsuda H, Nakano S, Shimazaki Y, Ikawa S, Mitsuno M, Takahashi Y, Kawashima Y, Arisawa J, Matsushita T : Hemodynamic effects of bidirectional cavopulmonary shunt with pulsatile pulmonary flow. Circulation 84[Suppl III]:219-225, 1991.
- [5] Nakazawa M, Nojima K, Okuda H, Imai Y, Nakanishi T, Kurosawa H, Takao A : Flow dynamics in the main pulmonary artery after the Fontan procedure in patients with tricuspid atresia or single ventricle. Circulation 75:1117-1123, 1987.
- [6] Rebergen SA, Ottenkamp J, Doornbos J, van der Wall EE, Chin JGJ, de Roos A : Postoperative pulmonary flow dynamics after fontan surgery: Assessment with nuclear magnetic resonance velocity mapping. J Am Coll Cardiol 21:123-31, 1993.
- [7] de Leval MR, Kilner P, Gewillig M, Bull C : Total cavopulmonary connection: A logical alternative to atriopulmonary connection for complex Fontan operations. J Thorac Cardiovas Surg 96:682-95, 1988.
- [8] Low HT, Chew YT, Lee CN : Flow studies on the Fontan surgical connctions. 7th International Conference on Biomedical Engineering, Dec.2-4, 1992, Singapore.
- [9] Kim YH, Walker PG, Fontaine AA, Panchal S, Ensley AE, Oshinski J, Sharma S, Ha B, Lucas CL, Yoganathan AP : Hemodynamics of the Fontan connction: An in vitro study. J Biomed Eng 117:423-428, 1995.
- [10] Dubini G, de Leval MR, Pietrabissa R, Montevicchi FM, Fumero R : A numerical fluid mechanical study of repaired congenital heart defects. Application to the total cavopulmonary connction. J Biomech. 29:111-121, 1996.

폰탄 수술시 문합방법에 따른 혈류 변화

표 1. SVC 와 IVC에서 LPA 와 RPA로 가는 유량의 비율(%)

Model No.		From IVC		From SVC	
		2L/min	3L/min	2L/min	3L/min
I	LPA	50	50	50	50
	RPA	50	50	50	50
II	LPA	62	61	26	28
	RPA	38	39	74	72
III	LPA	71	69	8	12
	RPA	29	31	92	88
IV	LPA	22	23	100	100
	RPA	78	77	0	0
V	LPA	23	23	100	100
	RPA	77	77	0	0

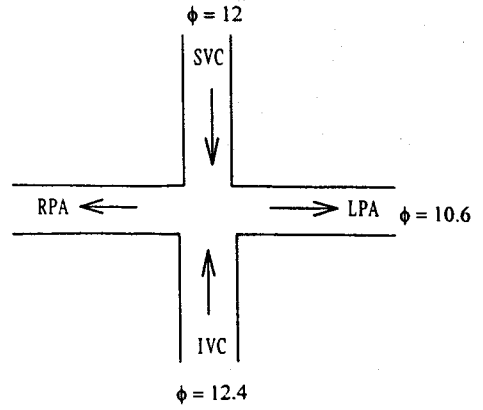


그림 2. 모델 I의 구조 및 내경

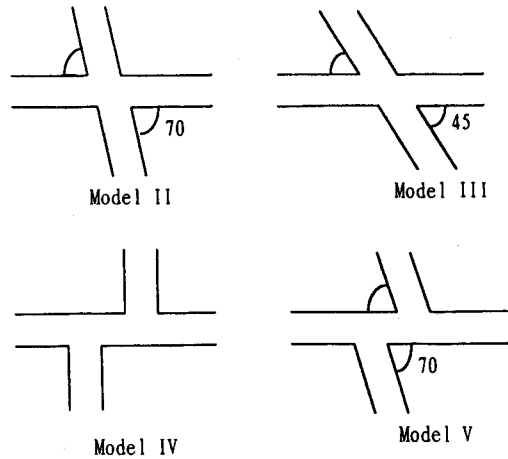


그림 2. 모델 I의 구조 및 내경

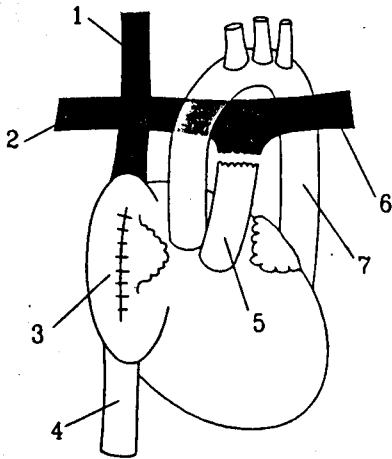


그림 1. 완전정맥폐정맥수술의 수술방법 모식도[10]

- (1) SVC (2) RPA (3) atrial lateral tunnel
- (4) IVC (5) main PA (6) LPA
- (7) descend. aorta

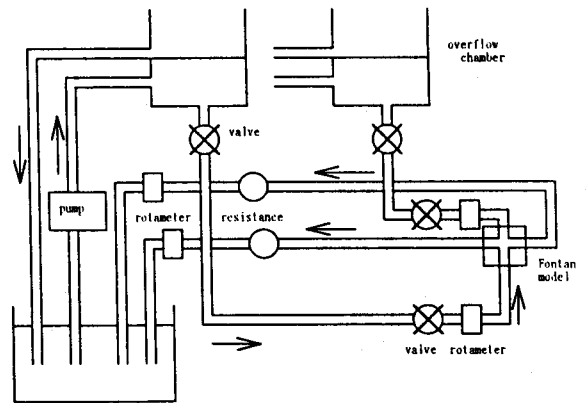
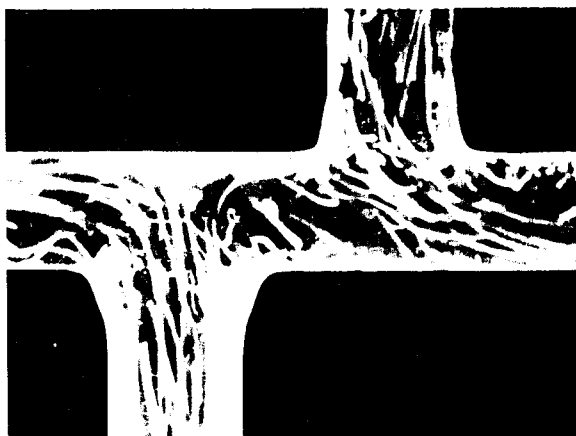


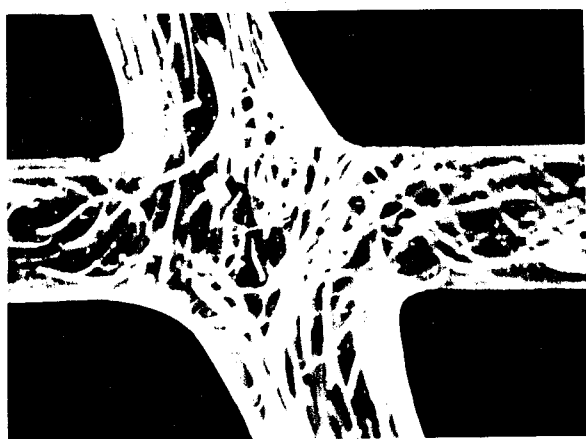
그림 4. 폰탄모델을 장치한 정상유동순환장치의 모식도



(1) 모델 I



(4) 모델 IV



(2) 모델 II



(5) 모델 V



(3) 모델 III

그림 5. 각 모델의 유동을 촬영한 사진 그림