

## 일회용 각종 송혈관의 관류압차에 대한 비교실험

김 요 한\* · 김 형 목\*

— Abstract —

### An Experiments Analysis of Comparison of Flow Gradients Across Disposable Arterial Perfusion Cannulas.

Yo-Han Kim, M.D.\*, and Hyoung-Mook Kim, M.D.\*

The mean perfusion pressure produced by 20 different design and size of disposable aortic perfusion cannulas (size range: 18F to 20F) at flow rates of 1 to 5 L/min was compared. A roller pump with perfusion tubing 10mm in inner diameter was used with a mixture of 0.9% normal saline and 100% glycerine (mixing ratio of 6.72:13.28) to make the viscosity as normal blood in 20 C as the test solution.

Line pressure in these cannulas at a flow rate of 3L/min ranged from 13.2±4.47 to 157±1.34 mmHg in a case of absence of resistance, and from 11.4±1.14 to 227.2±4.47 mmHg in a case of presence of resistances 14 cannulas had gradients of less than 100Hg at a flow rate of 3L/min and 9 cannulas less than 100mmHg at 4L/min.

The following results were obtained from this experimental study: 1) A wide range of line pressure was observed in disposable aortic perfusion cannulas currently in clinical use; 2) Some cannulas currently used for cardiopulmonary bypass in adults generated excessive line pressure; 3) Both the material and design affect function, with some designs safer than others. Cardiac surgeons should base the choice of aortic perfusion cannula on the best performance and safest design available to avoid cannula-related problems during operation.

## I. 서 론

개심수술이 급격하게 증가함에 따라 체외순환에 여러 가지 기구들이 사용되는 바, 수술시 이들에 대한 안정성 및 적합성이 중요한 문제로 등장되었다. 특히 정상 혈류와 맥압을 유지하기 위한 동맥측 송혈관의 이상적인 모양과 크기를 선택하는 기준이 필요하다고 생각되었다. 이들중 상품화된 일회용 송혈관을 사용하여 관

류시킬 때 발생하는 유압의 차이(flow gradient)를 비교 분석하여, 가장 적합한 것을 선택하는데 도움이 되도록 본 실험을 시행하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 가. 재 료

국내에서 흔히 사용되는 10종의 일회용 송혈관 20개를 선택하였다. 이들중 9종은 대동맥 관류용이었고, 다른 1종은 대퇴동맥 관류용이었다(Fig. 1). 외경은 18 F에서 24 F까지였으며, 내경은 3.1mm에서 5.7mm였다(Table 1).

\* 고려대학교 의과대학 흉부외과학교실

\* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery,  
College of Medicine, Korea University

1986년 2월 28일 접수

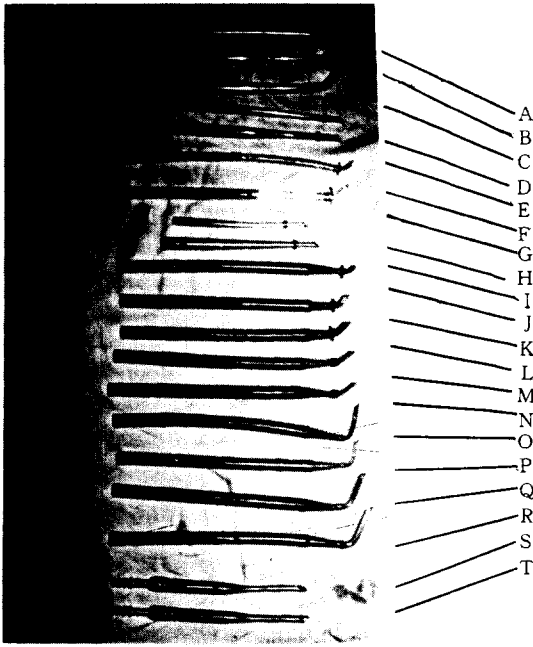


Fig. 1. The 20 different disposable arterial perfusion Cannula models available.

#### 나. 실험방법

20개의 일회용 대동맥 관류용 송혈관을 실험하였다. 본 병원 흉부외과에서 개심술시 체외순환에 사용하는 Cobe® perfusion tubing set에서 tube를 250 cm 절취하여 Cobe-Stocket® roller pump module (Model No. 043040-000, head diameter 152mm)에 장착하였다. 산화기, cardiotomy reservoir, arterial line filter 등은 사용하지 않았다. pump 작동전에 measuring stick에 물을 채워 75 cm 높이로 한 후, 1 분당 2.5 cm씩 물기둥 높이가 낮아지도록 롤러 펌프의 조임쇠를 조절하였다. 캐울라를 실험에 앞서 만족할만한 관류량을 얻을 때까지 펌프를 작동시켜 보았다. 관류량의 정확성을 기하기 위하여 위의 방법으로 모든 송혈관을 각각의 관류량에서 실험한 후 다시 점검하였다. 관류압을 측정하기 위하여 Gould-Statham® pressure monitor (Model SP 1405B) 및 transducer 를 사용하였다. 20개의 송혈관을 실험하면서 1 ℓ/min에

Table 1. Sizes and Models, Performance of 20 perfusion Cannulas

No.	Figure	Type	Model	OD	ID	Pressure gradient*
1	G	aortic arch	Sarns 6672	8.0mm	5.4 mm	13.2/ 11.4 mmHg
2	C	angled ao. perfusion	Argyle 591081	24 F	5.3	12.0/ 42.2
3	T	femoral perfusion	USCI 1858	24 F	5.7	16.4/ 50.0
4	I	arterial perfusion	TMP 211-118	24 F	5.2	20.8/ 58.4
5	E	straight ao. perf.	Argyle 591099	24 F	4.8	43./ 62.2
6	L	aortic perfusion	USCI 1961	24 F	4.2	33.8/ 82.0
7	B	angled ao. perfusion	Argyle 591065	21 F	4.4	48.4/ 85.0
8	S	femoral perfusion	USCI 1858	20 F	4.8	38.4/ 88.2
9	F	aortic arch	Sarns 6642	6.5 mm	4.2	76.4/ 90.2
10	R	aortic perfusion	USCI 1966	22 F	4.1	47.8/101.4
11	H	arterial perfusion	TMP 211-024	18 F	4.3	65.4/104.5
12	D	straight ao. perf.	Argyle 591047	18 F	4.1	73.0/108.2
13	K	aortic perfusion	USCI 1961	22 F	4.0	57.6/125.4
14	A	angled ao. perfusion	Argyle 591040	18 F	3.9	94.4/142.0
15	Q	aortic perfusion	USCI 1966	20 F	3.4	104.8/160.2
16	M	aortic perfusion	USCI 1962	20 F	3.1	112.2/180.4
17	N	aortic perfusion	USCI 1966	18 F	3.3	157.6/212.2
18	J	aortic perfusion	USCI 1961	20 F	3.6	103.0/213.2
19	P	aortic perfusion	USCI 1966	18 F	3.8	120.2/218.4
20	O	aortic perfusion	USCI 1965	18 F	3.3	149.6/227.2

\* pressure gradient across cannulas at a flow rate of 3L/min (resistance - /resistance +) OD(Outside diameter) ID(Inside diameter)

서 5 l/min 까지 각각의 관류량당 5 번씩 펌프를 1 분 간 작동시켰다. 관류액은 혈액과 비슷한 점도를 가지도록 실온 20 °C에서 0.9% 생리적 식염수액과 100% 글리세린을 6.72 : 13.28의 비율로 섞은 것을 사용하여 혈액과 비슷한 점도를 유지하도록 하였다<sup>1)</sup>. 송혈관을 관류할 때의 관류압차를 송혈관 말초에 저항이 있을 때와 없을 때 2 가지 상태에서 측정하였다. 저항이 없을 때는 Brodman 등<sup>2)</sup>이 실험한 방법을 사용하여 pump head와 transducer, 송혈관의 말단을 같은 수위로 유지하여, 송혈관 끝을 그대로 대기중에 방치하여 송혈관 끝의 압력을 0으로 하여 송혈관 중추부에서의 관류압이 관류압차가 되도록 하였다(Fig. 2). 저항이 있는 경우는 송혈관 말초부에 인위적으로 막히지 않도록 저

류조를 하나 만들고 저류조에 튜브를 연결하였다. 저류조는 송혈관에 접속시키지 않은 상태에서 관류량 3L/min에서 20mmHg가 되도록 유출부 튜브에 압박을 가하여 일정한 저항을 유지하여 송혈관을 통과하기 직전과 직후의 관류압을 측정하여 그 차이를 구하였다(Fig. 3). 20개의 송혈관을 관류시 나타나는 평균 관류압차를 각각의 관류량하에서 구한 다음, 이들을 분산분석표로 요약 정리한 후 Tukey's Studentized range test를 5% 및 1%의 유의수준에서 사용하여 검정하였고<sup>2, 3)</sup>, 2L/min, 3L/min의 관류량에서의 각종 송혈관간의 통계학적인 비교를 하였다(Table 2).

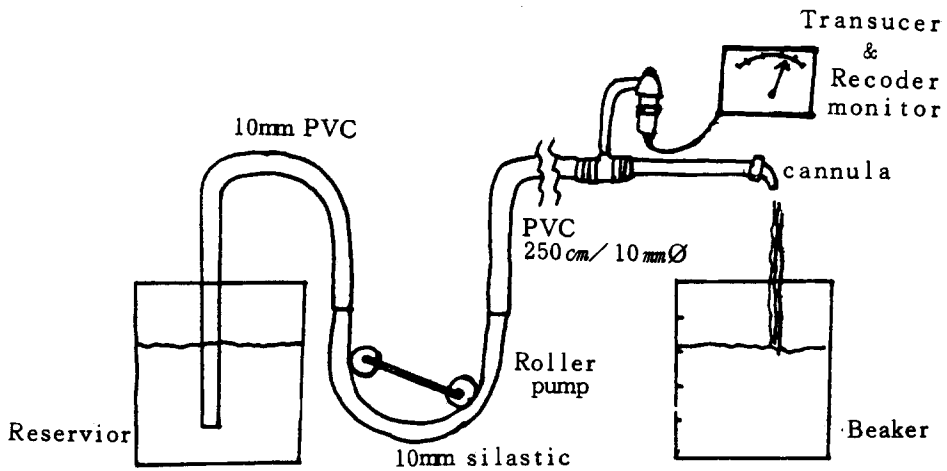


Fig. 2. Test system used to determine line pressure at 1 to 5L/min for 20 cannulas. (PVC=polyvinyl chloride)

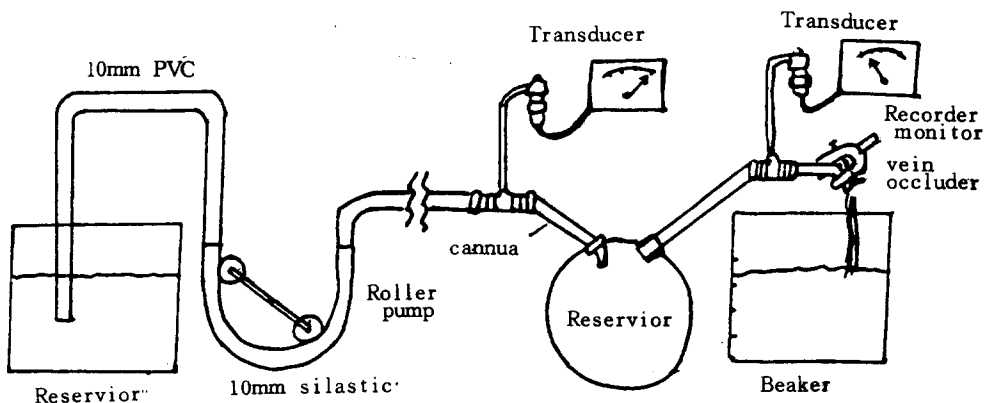
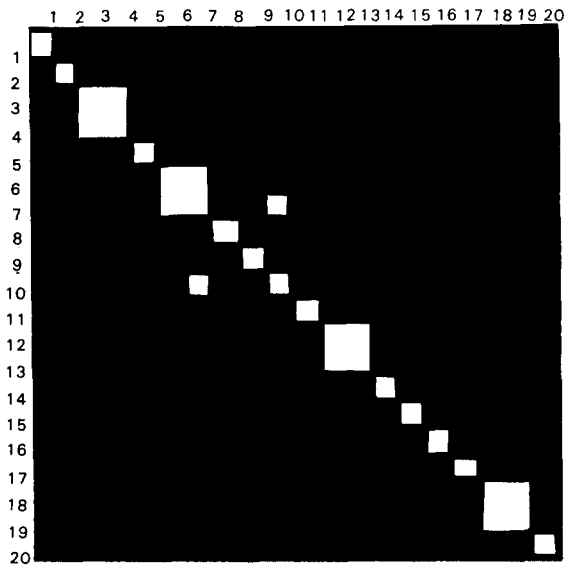


Fig. 3. Test system used to determine line pressure at 1 to 5L/min for 20 cannulas. (In the case of presence of resistance distal to the cannula tip)

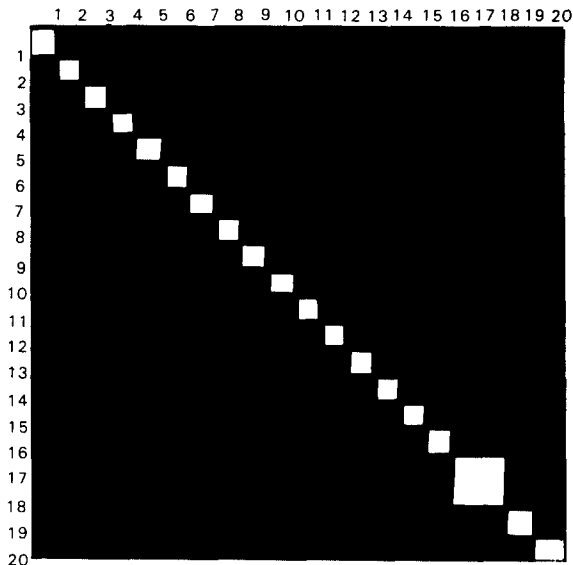
**Table 2.** Summary of statistical analysis of mean line pressure for each of the 20 cannulas tested at a flow rate of (A) 2L/min (B) 3L/min (RESISTANCE+), (C) 2L/min (D) 3L/min (RESISTANCE-)

P<0.05  
  P<0.01  
  not significant

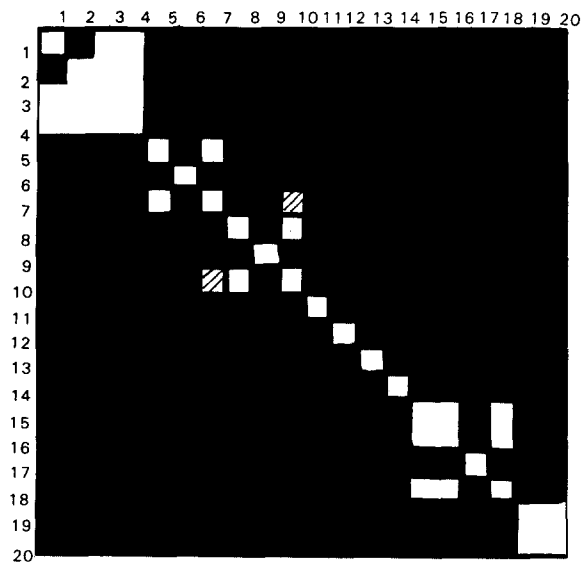


AVOVA TADLE

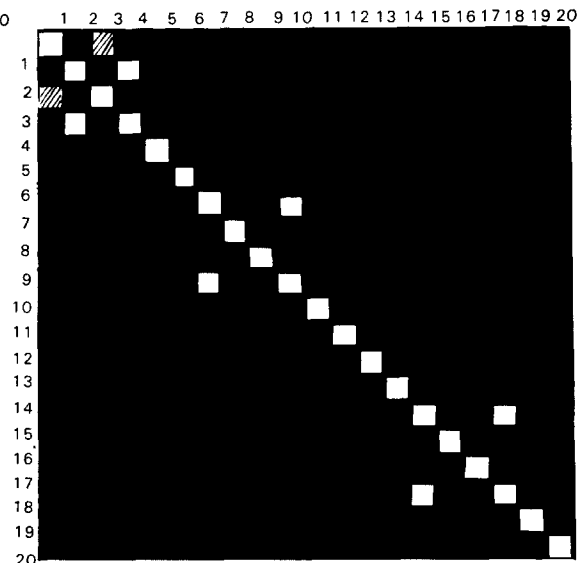
Among: SS=66597.6401 DF=19 MS=3505.13895  
 F=11683.8262\*  
 Within: SS=23.999939 DF=80 MS=0.299999237  
 Total: SS=66621.64 DF=99



(B) Among: SS=395994.51 DF=19 MS=20841.8163  
 F=45308.5368\*\*  
 Within: SS=36.7998047 DF=80 MS=0.459997559  
 Total: SS=396031.31 DF=99



(C) Among: SS=35540.36 DF=19 MS=1870.54526  
 F=1908.71981\*\*  
 Within: SS=78.3999 DF=80 MS=0.979999124  
 Total: SS=35618.76 DF=99



(D) Among: SS=181584.96 DF=19 MS=9557.10327  
 F=6287.57545\*\*  
 Within: SS=121.599854 DF=80 MS=1.51999817  
 Total: SS=181706.56 DF=99

### III. 실험 결과

20개의 송혈관을 이용한 비교실험으로 각 관류량당의 관류압차를 기록한 결과 관류량의 증가에 따라 관류압차도 증가함을 볼 수 있었고, 저항이 있는 경우 관류압차의 폭이 더 커짐을 관찰하였다(Fig. 5). 송혈관들의 관류압차는 저항이 없을 때 3L/min에서  $13.2 \pm 4.47$  mmHg에서  $157.6 \pm 1.34$  mmHg까지로 다양하였고, 4L/min에서는 250 mmHg를 넘어 실험시 사용한 압력계로 측정할 수 있는 범위를 넘었던 경우가 2개에서 있었고, 관류량을 5L/min로 늘렸을 때 7개에서 관류압차가 250 mmHg를 넘었다. 저항이 있는 경우에는 3L/min에서  $11.4 \pm 1.14$ 에서  $227.2 \pm 4.47$  mmHg까지였고, 4L/min, 5L/min에서는 압차가 지나쳐서 통계처리가 불가능하였다. 송혈관 말초에 저항이 없는 경우 관류압차가 100 mmHg 이하인 경우가 3L/min에서 14개, 4L/min에서 9개, 5L/min에서 5개였다(Fig. 5-A). 저항이 없고 관류량이 많지 않을 때(2L ~ 3L/min)에는 송혈관의 끝이 만곡된 것과 직선인 것과의 관류압의 유의한 차이는 없었다. 관류량이 증가하거나 저항이 있을 때에는 유의한 수준의 차이를 보이는데 이는 그 내경의 차이에 기인한 것으로 보인다(Fig. 1-C, I). 송혈관 말단 측면에 구멍이 있는 것은 없는 것

보다 높은 관류압차를 나타냈다(Fig. 1-Q, M). 관류량이 적을 때 끝이 긴 송혈관의 경우에는 측면의 구멍의 존재여부가 관류압차에 큰 영향을 주지는 않는다(Fig. 1-O, P). 3L/min의 관류량에서 송혈관 끝의

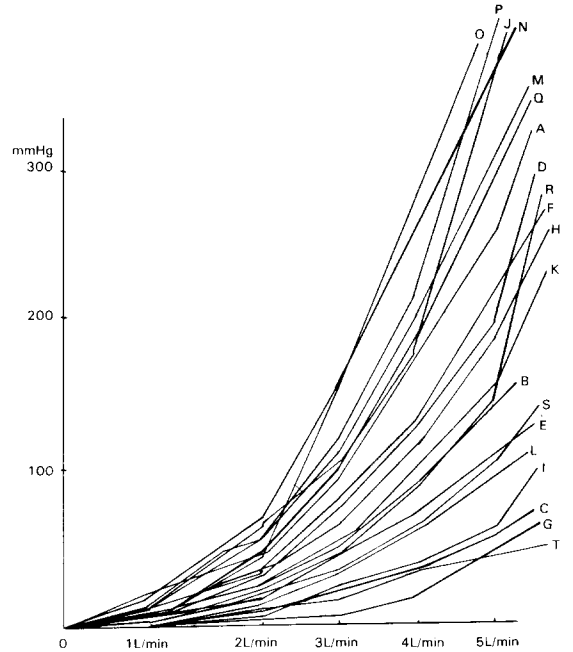


Fig. 5-A. Mean line pressure versus flow rate for 20 cannulas tested (resistance -)

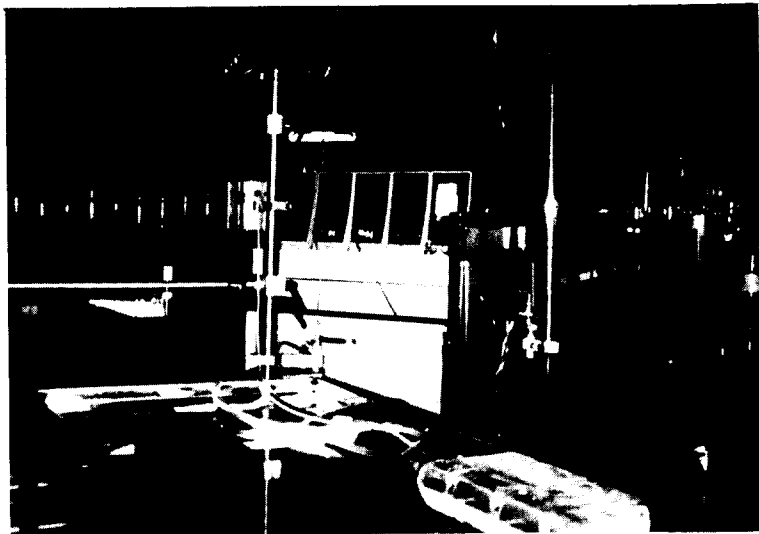


Fig. 4. Test system used to determine line pressure at 1 to 5L/min for 20 cannulas. (In the case of presence of resistance distal to the cannula tip)

#### IV. 고 안

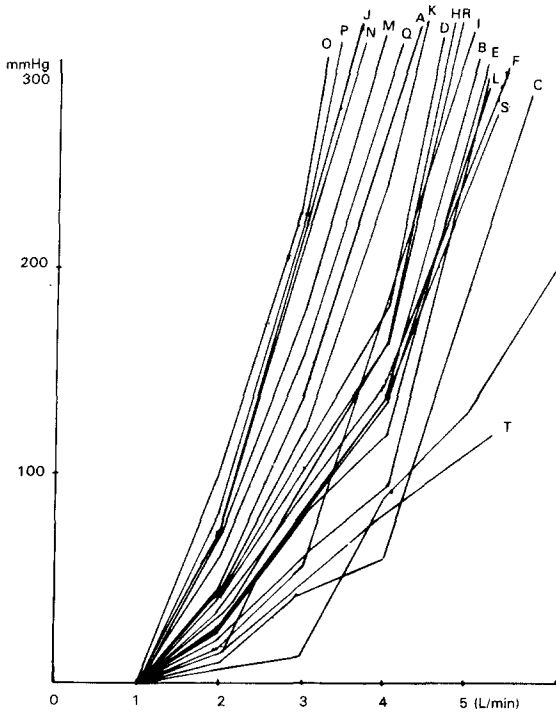


Fig. 5-B. Mean line pressure versus flow rate for 20-gauges tested (resistance +)

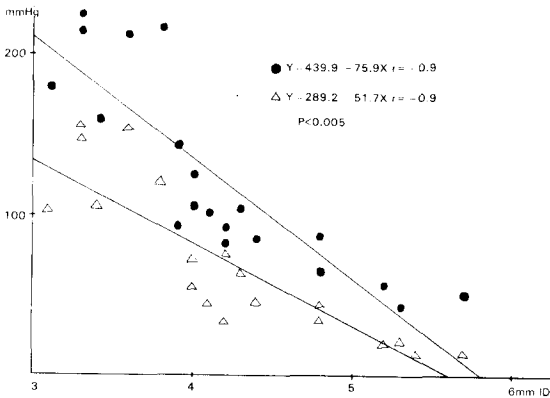


Fig. 6. Regression line for inside diameter (ID) and line pressure

내경과 관류압차의 관계를 도시한 결과 내경이 클수록 관류압차는 감소함을 보여주었다(Fig. 6).

개심수술시 인공심폐기를 지나는 동안 가압된 관류액은 동맥측 송혈관을 통해서 상행대동맥 혹은 대퇴동맥, 드물게는 액와동맥으로 들어가게 되나, 기술적으로 쉽고 합병증의 발생가능성이 적은 상행대동맥에 Cannulation을 하게 된다<sup>4-6</sup>. Brodman 등<sup>2)</sup>은 송혈관의 외경과 관류압차간의 관계에서 유의성은 있으나 약한 상관관계를 갖는다고 하였고, 본 실험에서 Fig. 6에서 보는 바와 같이 송혈관의 내경과 관류압차간의 관계는 저항이 있는 경우와 없는 경우 모두  $p < 0.005$ 에서 Pearson correlation coefficient - 0.9를 보여 높은 상관관계를 보인다. 따라서 관류압차는 송혈관의 내경에 직접적으로 연관이 있으며, 송혈관 말초에서의 송혈관의 두께 및 디자인이 관류압차를 유발하는 요소로 지적될 수 있다고 본다. 따라서 송혈관 삽입부가 견고하고 얇을수록, 송혈관의 말단에서 삽입부가 바로 가늘어지는 것일수록 적은 관류압차를 보여주었다. 실제 수술시에는 송혈관이 휘거나 비틀리거나 혹은 고정을 위해 흉벽에 봉합결찰을 하는 경우가 있으므로, 단면적이 작아져서 측정치보다 관류압차는 더욱 커질 수 있고, 송혈관의 길이가 너무 길어도 저항을 유발할 가능성이 있어 곤란하다. 송혈관이 가늘어질수록 또는 관류액에 대한 저항이 커질수록 큰 관류압차가 발생하여 송혈관이 받는 압력이 증가되므로, 관류를 유지하기 위해 송혈관을 통과하는 유속이 증가되어 눈-동에너지의 소실이 많아지면 송혈관 말단하부 유체내의 공동을 초래한다. 결과적으로 송혈관 말단하부에 와류(turbulence flow)가 더욱 심하게 되고, 이에 따른 용혈 및 혈장의 변성이 심하게 나타난다<sup>9-12</sup>. 100mmHg 이상의 관류압차가 발생하면 관류액속의 혈구 및 혈장성분에 심각한 손상을 초래한다고 하며<sup>10,12</sup>, 높은 관류압 그 자체만으로는 혈장내의 유리헤모글로빈치를 상승시키지는 않으나<sup>13</sup>, 관류회로 전체에 압력을 미쳐 튜브연결부위의 파열, 비틀림등을 초래할 수 있다. 본원 흉부의과학교실에서 개심수술을 시행한 18세 이상의 성인 50명의 체외순환기록을 검토하여 본 결과, 체표면적의 평균이 1.60 m<sup>2</sup>로서 체외순환시 평균 관류량은 3.5 L/min 이상의 관류량을 필요로 하였으므로, 한국인 성인에서 개심술시 체외순환에 사용되는 대동맥관류용 송혈관을 선택할 때는 3 L/min에서 100 mmHg 이하의 관류압차를 보이는 것을 선택하는 것이 바람직하다고 생각된다.

## V. 결 론

1. 본 실험은 개심수술시 체외순환에 사용되는 상품화된 일회용 대동맥관류용 송혈관의 종류와 크기가 관류량 변화에 따라 나타나는 관류압차를 비교하였다.
2. 관류량의 증가에 따라 송혈관말단에 저항이 있는 경우 관류압차의 증가폭이 저항이 없는 경우보다 커짐을 볼 수 있었다.
3. 일정한 관류량에서는 내경과 관류압차의 관계가 유의한 수준에서 높은 상관관계를 갖는 것을 볼 수 있었다.
4. 송혈관의 끝이 견고하고 두께가 얇을수록 적은 관류압차를 보임을 알 수 있었다.
5. 이상의 결과를 통하여, 한국인 성인에서의 체외순환시 대동맥관류용 송혈관의 선택은 가능한 한 내경이 크고 말단부가 견고하고 얇으며 3L/min의 관류량에서 100mmHg 이하의 관류압차를 보이는 것을 선택하는 것이 무난할 것으로 보인다.

## REFERENCES

1. 김형목, 송요준, 손광현 : 생체 판의 제작 및 실험, 대한흉부외과학회지 12 : 83, 1979.
2. Brodman R, Siegel H, Lesser M, Frater R: *A comparison of flow gradients across disposable arterial perfusion cannulas*, *Ann. Thorac. Surg.* 39:225, 1985.
3. mendenhall W: *Introduction to probability and statistics*. North Scituate, Massachusetts, Duxdury Press pp. 335-356, 1975.
4. 채영암, 이영만, 구자욱 : 생물통계학, 정민사, pp. 100~115, pp. 223~240, 1985.
5. Taylor PC, Gravs LK, Loop FD, Effler DB: *Cannulation of the ascending aorta for cardiopulmonary bypass*, *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 71:225, 1976.
6. Roe BB, Kelly PB: *Perfusion through the ascending aorta: Experience with 410 case*, *Ann. Thorac. Surg.* 7:238, 1969.
7. Flick WF, Hallerman FJ, Feldt RH, Danielson GK: *Aneurysm of aortic cannulation site: Successful repair by means of peripheral cannulation, profound hypothermia, and circulatory arrest*, *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 61:419, 1971.
8. Bernstein EF, Castaneda AR, Blackshear PL, Varco RL: *Prolonged mechanical circulatory support: Analysis of certain physical and physiologic consideration*, *Surgery* 57:103, 1965.
9. Mckenna R, Bachman F, Whittaker B, Gilson JR, Weinberg M JR: *The hemostatic mechanism after open heart surgery*, *J. Thorac. Cardiovasc. surg.* 70:298, 1975.
10. Pfaender LM: *Hemodynamics in the extracorporeal aortic cannula: review of factors affecting choice of the appropriate size*. *J. Extra-Corp Technol* 13:224, 1981.
11. Yarborough KA, Mockros LF, Lewis FJ: *Hydrodynamic hemolysis in extracorporeal machines*, *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 52:550, 1966.
12. Hwang NHC, Boric S, Noon GP, Kennedy JH: *Hydraulic studies of aortic cannulation return nozzles*, *Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs.* 21:234, 1975.
13. Blackshear PL, Dorman FD, Steinback JH: *Some mechanical effects that influence hemolysis* *Trans. Am. Soc. Artif. Inter. Organs.* 11:112, 1965.