

## 開心術後의 Physiological Shunt의 추이

金圭太\* · 李吉魯\* · 金松明\* · 李光淑\* · 蔡鍾旭\* · 李成久\* · 李聖行\*

= Abstract =

### Physiological Shunt Following Open Heart Surgery

Kyu Tae Kim, M.D., \* Kihl Rho Lee, M.D., \* Song Myung Kim, M.D., \*  
Kwang Sook Lee, M.D., \* Jong Wook Chae, M.D., \* Sung Haing Lee, M.D., ACCP.\*

As a major cause for postoperative hypoxia, the importance of increased physiological shunting is increasingly emphasized.

This study is a review and analysis of postoperative physiological shunting following open heart surgery with the aid of extracorporeal circulation. Sixteen patients were selected from among 21 patients who underwent elective open heart surgery at the Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Kyungpook National University, School of Medicine, from December, 1975 to September, 1977.

The results were as follows:

1. The degree of postoperative physiological shunt was progressively increased from 18.8% mean value one hour after surgery to 22.7% mean value, reaching a peak on the second postoperative days.
2. For up to one week, large physiological shunt(15%) was persisted in one patient.
3. Comparing long(more than 90 minutes) with short(less than 90 minutes) perfusion time group using pump oxygenator, it was found that the physiological shunt increased about 3% in the long as compared with the short perfusion time group.
4. The mean blood pressure was 70-80 mmHg without a remarkable causal relationship between physiological shunt and mean blood pressure.
5. On elevated PaO<sub>2</sub>(>200 torr), the physiological shunt was decreased less than 20% of cardiac output, but on diminished PaO<sub>2</sub>(102 torr) after two days, it was 22.7% of cardiac output. From above results, a contrary causal relationship between PaO<sub>2</sub> and physiological shunt was obtained.
6. Reviewing chest X-rays postperfusion, it was demonstrated that no remarkable causal relationship between roentgen-ray evidence and physiological shunt could be obtained.

\*경북대학교 의과대학 흉부외과학교실

\*Department Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Kyungpook National University.

## 서 론

임상적으로 다발성 외상이나 대수술 후 특히 개흉 및 심장수술 후의 합병증으로서 동맥혈의 산소분압 및 산소포화도의 감소로 나타나는 동맥혈의 저산소증은, 1943년 Maier 와 Cournand<sup>13)</sup>의 보고 이후 많은 연구의 대상이 되어 왔고, 이 동맥혈 저산소증의 원인으로서는 physiological shunt의 중요성이 대두, 점차 인정을 받게 되었다<sup>3, 10, 12, 16)</sup>.

Physiological shunt는 정맥혈이 폐포와 혈액 가스 교환을 하지 않고 동맥혈중으로 유입되는 심박출량의 일부이며, 그 원인으로서는 해부학적 shunt<sup>7)</sup>, diffusing gradient, 환기관류불균형 및 무기폐 등의 4요소가 있다.<sup>1, 3, 6, 9, 20)</sup>.

최근 널리 시행되고 있는 체외순환을 이용한 개심술 후에는 관류후 폐중후군과 더불어 술 후 폐기능을 저하시키는 여러 가지 복합적인 요소로 인하여 술 후 physiological shunt는 현저히 증가될 것으로 예견되며<sup>16, 19)</sup>, 이 경우 혈액가스를 분석하여 physiological shunt를 측정하는 것은 폐의 기능상태 파악과 술 후 환자의 호흡관리에 있어서 좋은 척도가 될 수 있다<sup>18)</sup>.

저자들은 경북대학교 의과대학 흉부의과학교실에서 1975년 12월부터 1977년 9월까지 체외순환하 개심술을 시행한 21예의 환자 중 16예에 대하여 혈액가스를 분석하여 술 후 physiological shunt를 관찰하였기에 문헌 고찰과 아울러 보고한다.

## 대상 및 방법

### 1. 대 상

경북대학교 의과대학 부속병원 흉부의과학교실에서 1975년 12월부터 1977년 9월까지 1년 10개월에 걸쳐 체외순환하 개심술을 시행하였던 21예의 환자 중 16예를 선택하여 술 후의 physiological shunt를 관찰하였다.

남녀비는 남자가 13예, 여자가 3예 였고, 연령분포는 최소 4세에서 최고 41세까지이며 평균 연령은 15.4세였다.

질병분포는 선천성 심장질환 15예, 후천성 심장질환 1예로서, 선천성 심방중격결손증 1예, 심실중격결손증 6예, valsalva 洞 동맥류파열이 심실중격결손증을 동반한 경우가 2예, Fallot 氏 4중후군이 4예였으며 그 중 1예는 Pink tetralogy였다. 또 선천성 승모판폐쇄부전증 1예와 후천성 승모판협착 및 폐쇄부전증을 갖는 환

Table 1. Clinical Materials and Total Perfusion Time

Case	Age	Sex	Diagnosis	Perfusion time	ACC time
1	21	M	VSD	98	30
2	20	M	VSD & C. Sinus R.	112	37
3	12	M	VSD & MI	134	34
4	5	M	VSD	209	56
5	17	M	PS, PFO, PDA	157	32
6	29	M	VSD & C. Sinus R.	101	35
7	14	F	ASD	74	16
8	11	M	TOF	198	65
9	12	M	TOF	180	85
10	10	M	TOF (pink)	140	51
11	24	M	VSD	117	42
12	5	M	TOF	103	38
13	12	M	VSD	54	17
14	10	M	VSD	72	32
15	4	F	MI (cong.)	109	31
16	41	F	MS & MI	105	32
Mean	15.4			122.69	39.56

ACC: aortic corss clamping

C. Sinus R.: coronary sinus rupture

VSD: ventricular septal defect

TOF: tetralogy of fallot

PFO: patent foramen ovale

자 1예가 있었다(제 1 표).

수술 중 전신관류방법은 이미 본 교실에서 자세하게 발표한 바와 같으며<sup>23)</sup>, 그 요점을 기술하면, 전 예에서 Hartman 용액, 5% 포도당용액 및 15% mannitol 용액을 사용하여 25~30%의 혈액회석을 시켰고, 인공심 폐기는 Sarns Model 2000의 Roller pump와 Bentley Temptrol의 기포형 산화기를 사용하였으며, 관류율은 2.0~2.4 L/M<sup>2</sup>/min 로 유지하였다.

전신관류 시간은 최단 54분에서 최장 209분으로 평균 관류시간은 122분이었고 대동맥차단 시간은 최단 16분에서 최장 85분으로 평균 39.5분이 소요되었다. 또한 전 예에서 중등도 저체온하에 anoxic arrest로서 심장 정지를 유발시켰다.

환자의 호흡관리는 전 예에서 수술 후 평균 약 12시간 동안은 기관내삽관 혹은 기관절개관을 통해서 100% 산소로 보조호흡을 시켰으며, 환자의 상태에 따라 IPPB, CPPB 및 5~10cmH<sub>2</sub>O의 PEEP를 사용하였다.<sup>2, 5, 12, 21)</sup>. 보조호흡으로부터의 Weaning은 호흡수 35/min 이하, F<sub>1</sub>O<sub>2</sub>=0.5 때 PaO<sub>2</sub>가 80~90 torr 이상이고 PaCO<sub>2</sub>는

50 torr 이하일 때 적용하였고, Weaning 후에는 산소 tent 하에 두고 cool mist 를 공급하였다.

## II. 방 법

Physiological shunt 계산을 위한 혈액채취는 수술 직후에는 매 시간마다 채혈하되, 3시간 경과 후에는 4~5시간 사이와 7시간째에 혈액채취를 하였으며, 술 후 제 1일과 2일에 또한 각각 채혈하여 혈액가스를 분석하여 physiological shunt 를 산출하였다. 특히 1예에 있어서는 술 후 제 7일째에 전신상태는 양호하였으나 마취하 기관내삽관술을 시행한 뒤 shunt study 를 시행하였었다.

혈액채취방법은 원칙적으로 기관내삽관 혹은 기관절개관술 통하여 100% 산소를 최소한 30분간 흡입시킨 후 요동맥 혹은 고동맥에서 채혈하였으며, 또한 채혈은 적어도 3분 이상을 소요하면서 시행하였고, 채혈즉시 Radiometer PHM 72 MK 2 Digital acidbase analyzer 를 사용하여 PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>, pH 및 SaO<sub>2</sub>를 측정하였고, Siggaard Andersen Nomogram에서 Base excess, Buffer Base, Actual bicarbonate, Standard bicarbonate 치를 산출하였다.

아울러 전 예에서 혈액채취를 전후하여 혈압과 흉부 X-선 사진을 점검하여 혈액가스 성적과 비교 검토하였다.

Physiological shunt 를 계산하는 공식은 다음과 같다<sup>2)</sup>.

$$\frac{Q_S}{Q_T} = \frac{(P_{A_{O_2}} - P_{a_{O_2}}) \cdot 0.0031}{(C_{a_{O_2}} - C_{v_{O_2}}) + (P_{A_{O_2}} - P_{a_{O_2}}) \cdot 0.0031}$$

위의 공식에서, 저자들의 경우, 폐포산소분압 계산을 위한 P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>는 혈액채취시의 환자체온(환자의 체온은 평온 또는 저체온하에 있는 경우가 있었음)에 따라 교정하여 주었으며, A-V O<sub>2</sub> difference는 폐동맥에서 혼합정맥혈을 일일이 구할 수 없는 임상적 애로 때문에 학자들간에 아직 이론이 있지만 Bendixen 등<sup>3)</sup>이 주장하는 6.0 vol%를 택하였다.

## 결 과

수술 후 환자들의 평균 동맥압은 70~90 mmHg였으며, PaO<sub>2</sub>는 평균치가 200 torr 이상으로 유지되다가 술 후 1일 및 2일째는 146~102 torr 까지 떨어졌다. PaCO<sub>2</sub>는 대부분 35~40 torr 사이였고, pH는 7.39~7.45로 정상수준이었다. A-aDO<sub>2</sub>는 350~581mmHg였는데 술 후 제 2일에 최대치를 나타냈다.

physiological shunt는 술 후 1시간에 18.8%, 2시간에 16.9%, 3시간에 17.4%, 4~5시간 사이에 17.5%,

Table 2. Changes of Physiological Shunts of the Cardiac Surgery Patients.

Parameters	1hr	2hr	3hr	4-5 hr	7hr	Day1	Day2
Mean B. P. (mmHg)	78 *20	79 14	72 16	82 9	86 7	74 13	80 2
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	227.4 130.7	275.6 107.6	259.3 107.6	252.2 90.8	191.2 134.9	146.7 109.1	102.8 82.6
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	38.7 *14.3	39.7 9.7	36.7 10.2	39.8 8.1	33.4 5.6	36.4 14.2	37.8 9.9
pH	7.393 0.11	7.417 0.11	7.447 0.10	7.450 0.12	7.430 0.08	7.444 0.09	7.415 0.02
SaO <sub>2</sub> (%)	96.8 *8.1	99.5 1.0	99.0 3.2	99.1 1.3	98.6 2.4	96.5 5.0	97.4 2.2
A-aDO <sub>2</sub> (mmHg)	450.2 127.9	351.7 145.9	385.4 124.0	420.7 129.9	465.8 146.3	503.7 126.3	581.2 45.2
Q <sub>S</sub> /Q <sub>T</sub> (%)	18.8 *4.2	16.9 3.6	17.4 3.4	17.5 4.5	20.0 3.6	21.3 2.3	22.7 1.0

\* Standard deviation

7시간에 20.0%였고, 술 후 제 1일에 21.3%, 술 후 제 2일에 22.7%로서 역시 술 후 제 2일에 최대치를 나타냈다(제 2표).

### a) Physiological shunt와 체외관류시간

체외관류시간이 90분 이상인 군과 그 이하인 군으로 나누어 관찰하였는데 체외관류를 90분 이상 시행한 군에서는 90분 이하 군보다 술 후 3시간까지 관찰한 성적에서 평균 약 3.5% 정도 높은 physiological shunt 치를 나타냈다.

90분 이상 관류군 10예에 대한 술 후 첫 1시간 Shunt 치는 20.3%였으나, 2시간에 17.6%, 3시간에 16.9%로

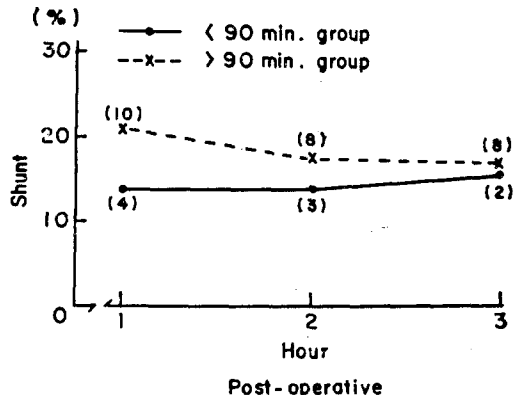


Fig. 1. The relation of the magnitude of physiological shunt to the perfusion time in immediate postoperative periods. ( ): No. of patients.

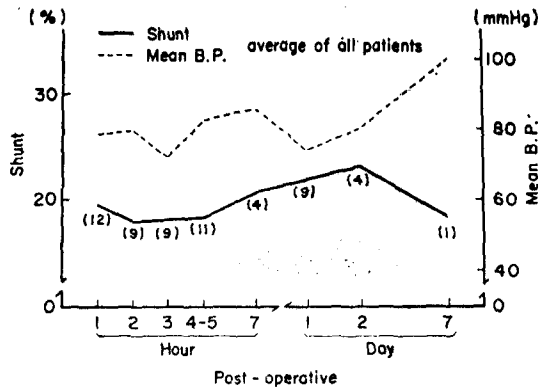


Fig. 2. The relationship between the physiological shunt and mean arterial pressure in postoperative periods.

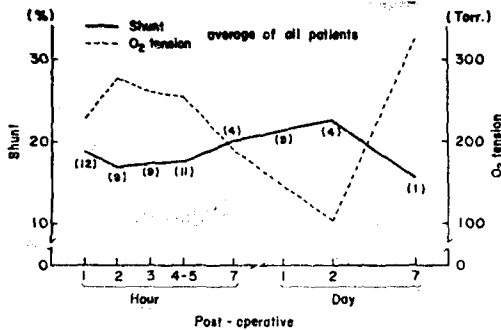


Fig. 3. The relation of the physiological shunts to the arterial PO<sub>2</sub> in the postoperative periods. ( ): No. of patients.

시간이 경과함에 따라 점차 감소하였으나, 90분 이하군에서는 첫 1시간 shunt 치 13.9%, 2시간에 14.5%, 3시간에 16.0%로 큰 변화를 발견할 수 없었다(도 1).

#### b) Physiological shunt와 동맥평균압

술 후 2일째까지는 유의한 상관관계를 인정할 수 없었으나, 술 후 제 7일에 마취하 100% 산소흡입 후에 조사한 1예의 경우에는 비록 환자의 임상적 경과는 좋았으나 shunt 치는 15%로서 높았다(도 2).

#### c) Physiological shunt와 PaO<sub>2</sub>

PaO<sub>2</sub>가 200 torr 이상일 때는 physiological shunt는 20% 이하로 떨어졌고, 술 후 2일째 PaO<sub>2</sub>가 102 torr 일 때는 shunt는 22.7%까지 증가하였다. 술 후 제 7일째 시행한 1예는 PaO<sub>2</sub>가 320 torr 이었고 shunt 치는 15%이었다(도 3).

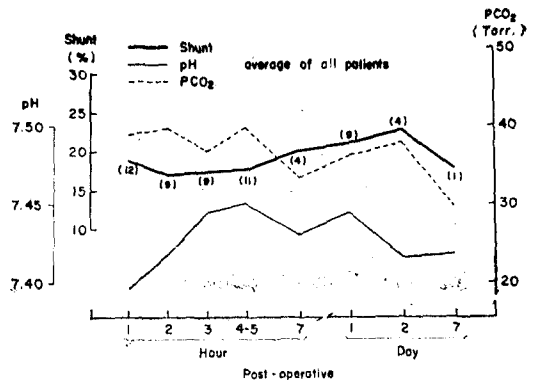


Fig. 4. The relation of the physiological shunts to arterial pH and PCO<sub>2</sub> during postoperative course. ( ): No. of patients.

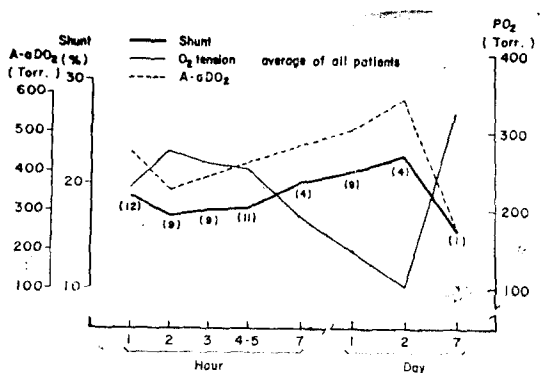


Fig. 5. The relation of the physiological shunts to the arterial PO<sub>2</sub> and alveolar-arterial O<sub>2</sub> difference. ( ): No. of patients.

#### d) Physiological shunt와 동맥혈 pH와 CO<sub>2</sub>분압

pH는 7.4~7.45였고, PaCO<sub>2</sub>는 30~40 torr였으며 physiological shunt와의 상관관계에서는 특별한 유의성을 발견할 수 없었다(도 4).

#### e) Physiological shunt와 PaO<sub>2</sub> 및 A-aDO<sub>2</sub>

계산공식에서 예측할 수 있는 바와 같이 PaO<sub>2</sub>가 상승하면 A-aDO<sub>2</sub>는 감소하였으며 shunt와 A-aDO<sub>2</sub>는 대체로 평행적인 상관관계를 나타냈다(도 5).

#### f) Physiological shunt와 흉부 X-선 사진

전체 16예 중 술후 정경한 흉부 X-선 사진상 이상 소견을 나타낸 경우가 단 2예 있었으며 그 중 첫 사진(도 6)에는 17세 남아로서 개준동맥판과 폐동맥판협착증을 갖은 환자인데 술 후 2일째에 촬영한 사진이며 이 환자

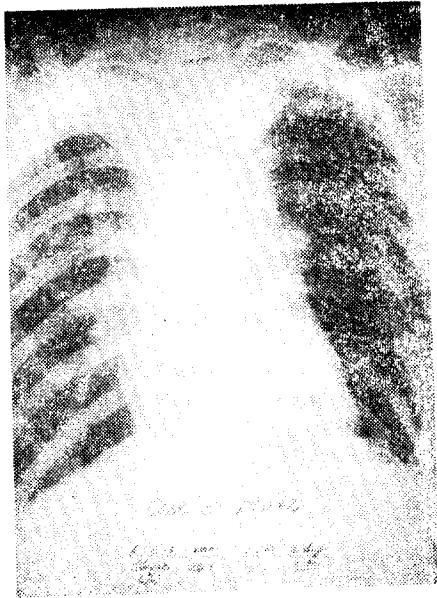


Fig. 6. Radiograph showed atelectasis of the right upper lobe with trachea deviation and a chest tube in the left chest.

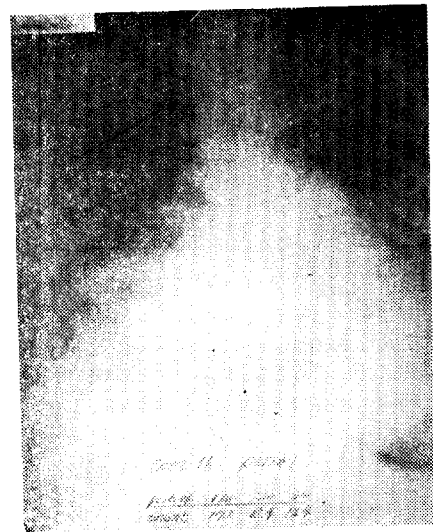


Fig. 7. Radiograph showed great enlargement of the heart with pulmonary edema.

의 shunt 치는 술 후 직후 24.1%, 제 1일에 24.4%, 2일에 23.5%로서 다른 환자의 측정치 보다는 높았다.

두번째 사진에 (도 7)는 41세 이력으로서 유혈성 증포막 협착 및 폐쇄부전증을 갖은 환자이며 술 후 1일에 촬영한 이 사진에서 양측에 하야에 심한 patch density를 나타냈다. 이 예의 shunt 치는 술 후 첫 1시간에 17%, 2시간에 15.9%, 3시간에는 14.4%로서 평상시 보다 약간 낮았다.

## 고 찰

인공심폐기를 이용한 체외순환과 폐절수술 후에 흔한 합병증으로 나타나는 폐백반 증후군을 유발인은 physiological shunt 이다. 이 폐백반증의 shunt 는 100% 산소를 흡입시킬 경우에도 많은 양으로 나타나는데 이를 True shunt 라고 하며, 이 작용은 폐혈액, 심근 및 Thebesian 정맥을 통하여 폐혈관으로 유입되는 약 2%의 비호학적 shunt 와 술 후 부피에 폐쇄된 폐혈관이다. 만약 폐기 중의 폐기 흐름을 차단 경우에는 심대한 True shunt 에 비하여 폐혈관 폐쇄에 의해 기인하는 Venous-atrial admixture 가 가장적인 전체 shunt 량을 증가하게 된다. Clarke

와 Jackson<sup>1)</sup>에 의하면 true shunt 량의 계산 술 후 첫 2일 동안 9~22.4%로 기록하고 이 종류의 shunt

가 술 후 1주일까지 지속하였고, venous admixture 는 15.5~28%를 정하였다고 한다. 또한 Geha 등<sup>2)</sup>은 술 후 제 2일에 shunt 치가 최대값을 정한다고 하였다. 선진성 심정진환의 개심술 후 true shunt 치를 보고한 Sykes 등<sup>3)</sup>에 의하면 수술 직후에 15%, 술 후 1일에 21.7%, 2일에 24.2%였다.

저자들의 경우, 100% 산소를 30분간 흡입시켜 측정 한 true shunt 치는 술 후 첫 1시간에 18.8%, 2시간에 16.9%, 3시간에 17.4%이고, 술 후 제 1일에 21.3%, 2일에 22.7%로서 심대한 Geha 및 Sykes 등의 성적과 유사하였다. 특히 1에 뿐이지만 술 후 1주일체에 조사한 경우에는 의외상 전진상태가 양호하였으나 shunt 치가 15%로서 높았고, 이는 Clarke의 경우와 일치하며, 폐혈관폐쇄는 예견치 않았던 결과였다.

폐백반은 폐의 팽창 환기가 이루어지지 않는 생리학적인 관점으로서는 무거폐는 아마 폐쇄에 광범하게 분포되어 발생하므로 이 때 촬영한 동상적인 흉부 X-선사진상의 소견에는 일치하지 않는다고 하며<sup>4)</sup>, 저자들의 경우에서도 술 후에 흉부 X-선사진을 촬영하였지만 2에서 이상을 갖아 불 밝이었으며, 또한 X-선 소견과 shunt 치 사이에 유의한 상관관계를 인정할 수 없었다.

폐혈관폐쇄 이외의 심정진증후군과 이를 사용하지 않은 폐백반 증후군 사이의 술 후의 physiological shunt 를 비교할 경우에는 각각들간에 의견이 구구한 것 같다.

Hedley-white 등<sup>1)</sup>은 양군 사이에 유의한 차이점을 볼 수 없었으나, open mitral operation 후에는 closed operation 한 경우에 비하여 venous admixture 치만 11% 더 증가하였다고 보고했다. 그러나 McClenahan, Young 및 Sykes<sup>14)</sup>의 경우에서는 true shunt 치가 체외관류를 시행한 군에서 2배 증가하였다고 보고하였다. 저자들의 경우에는, 관류하 개신술을 시행한 데 밖에 없으므로 비관류 대개흉 수술군과의 직접적인 비교는 할 수 없지만, 관류시간에 대한 술 후 physiological shunt의 변화를 관찰하였을 때는, 90분 이상 관류군에서, 그 이하 관류군 보다 술 후 physiological shunt 치가 평균 2.5% 높았다. 즉 체외관류시간이 길수록 술 후의 physiological shunt 치가 높아지는 경향이 있었다.

Trimble 등<sup>22)</sup>에 의하면 Hypocarbica가 기관지 축소를 유발하므로 환기의 분포이상을 초래케 하여 A-aDO<sub>2</sub>를 증가시킨다고 하였으나, 저자들의 경우에는, PaCO<sub>2</sub> 변화와 physiological shunt 사이에 유의한 상관관계를 발견할 수 없었다.

Rhilbin<sup>17)</sup>과 Modell 등<sup>19)</sup>에 따르면, 심박출량과 physiological shunt와 유의한 상관관계가 있다고 하지만, 저자들의 경우, physiological shunt와 심박출량의 지표가 되는 혈압과의 관련성을 조사한 예에서는 유의성을 인정할 수 없었다.

physiological shunt 측정과정에서 오차가 생길 수 있는 점은

1. PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> Content 측정과정에서의 검사실 error.
2. Bunsen solubility coefficient로서 0.0031의 부정확도
3. 우측심장 이외에서 오는 venous admixture
4. 폐포내 inert gas의 존재

등이 있겠으며, Hedley-White 등<sup>1)</sup>은 random error로서 ±5%를 보고했다. 저자들의 경우에서 A-VO<sub>2</sub> difference를 계산하기 위해 폐동맥에서 일일이 혼합정맥혈을 채취하지 못하고 Bendixen에 의한 6 vol%를 적용한 것을 다소 오차는 있겠으나, 임상적으로는 허용될 수 있는 것으로 생각된다.

## 요 약

경북의대 흉부외과학교실에서 1975년 12월부터 1977년 9월까지 체외순환하 개신술을 시행한 21예의 환자 중 선천성 심장질환 15예와 후천성 심장질환 1예에 대하여 physiological shunt를 관찰하여 다음과 같은 결과를

얻었다.

1. physiological shunt는 술 후 첫 1시간에 18.8%였던 것이, 시간이 경과함에 따라 점차 증가하였고, 술 후 제 2일째에 22.7%로서 최대치를 나타냈다.

2. 술 후 7일째, 마취하에 조사한 1예에서는 환자의 제반 임상적 경과는 좋았으나, shunt 치는 15%로서 높은치를 보였다.

3. 체외관류를 90분 이상 시행한 군에서는 술 후 3시간까지 관찰한 성적에서, 90분 이하 관류군 보다 physiological shunt 치가 평균 3.5% 높았다.

4. 평균 동맥압은 70~90 mmHg였으며, physiological shunt와 유의한 상관관계가 없었다.

5. 동맥혈 산소분압이 200 torr 이상일 때는 physiological shunt는 20% 이하로 떨어졌고, 술 후 2일째, PaO<sub>2</sub>가 102 torr일 때는 22.7%까지 증가함으로서, PaO<sub>2</sub>와 physiological shunt 사이에는 역행적 상관관계가 있음을 보였다.

6. 술 후 촬영한 흉부 X-선사진 소결과 physiological shunt 치 사이에 유의한 상관관계가 없었다.

## REFERENCES

1. Aviado, D.M., M. de Burgh Daly., Lee, C. Y., and Schmidt, C.F.: *The contribution of the bronchial circulation to the venous admixture in pulmonary venous blood.* J. Physiol., 155: 602, 1961.
2. Bendixen, H.H., Bullwinkel, B., Hedley-White, J., and Laver, M.B.: *Atelectasis and shunting during spontaneous ventilation in anesthetized patients.* Anesthesiology, 25:297, 1964.
3. Bendixen, H.H., Egbert, L.D., Hedley-White, J., Laver, M.B., and Penttopidan, H.: *Respiratory care.* The C. V. Mosby Company, 1974.
4. Clarke, A.D., and Jackson, P.W.: *postoperative care of patients under going cardiopulmonary bypass.* Brit. J. Anesth., 43:243, 1971.
5. Coeperman, L.H., Mann, P.E.G., and Bethesda.: *Postoperative respiratory care.* J. Thorac. Cardiovasc. Surg., 53:504, 1967.
6. Farhi, L.E., and Rahn, H.: *A theoretical analysis of the alveolar-arterial O<sub>2</sub> difference with special reference to the distribution effect.* J. Appl. Physiol., 7:699, 1955.
7. Finley, T.N., Lenfant, C., Haab, P., Piiper,

- J., and Rahn, H.: *Venous admixture in the pulmonary circulation of anesthetized aogs.* *J. Appl. Physiol.*, 15:418, 1960.
8. Geha, A. S., Sessler, A. D., and Kirklin, J. W.: *Alveolar-arterial oxygen gradients after open intracardiac surgery.* *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 51:609, 1966.
  9. Hedley-White, J., Corning, H., and Laver, M. B., Austen, W. G., and Bendixen, H. H.: *Pulmonary ventilation-perfusion relation after heart valve replacement or repair in man.* *J. Clin. Invest.*, 44:406, 1965.
  10. Hedley-White, J., Laver, M. B., and Bendixen, H. H.: *Effect of changes in tidal ventilation on physiological shunting.* *Amer. J. Physiol.*, 206:891, 1964.
  11. Ionescu, M. I., and Wooler, G. H.: *Current techniques in extracorporeal circulation.* *Butterworths*, p. 268, 1976.
  12. Laver, M. B., Morgan, J., Bendixen, H. H., and Radford, E. P.: *Lung volume, compliance, and arterial oxygen tensions during controlled ventilation.* *J. Appl. Physiol.*, 19:725, 1964.
  13. Maier, H. C., and Cournand, A.: *Studies of arterial oxygen saturation in the postoperative period after pulmonary resection.* *Surgery*, 13:199, 1943.
  14. McClenahan, J. B., Young, W. E., and Sykes, M. E.: *Respiratory changes after open heart surgery.* *Thorax*, 20:545, 1965.
  15. Modell, H., and Milhorn, H. T.: *Quantitation of factors affecting in alveolararterial  $P_{O_2}$  difference in thoracotomy.* *Anesthesiology*, 37:592, 1972.
  16. Nunn, J. F., and Payne, J. P.: *Hypoxia after general anesthesia.* *Lancet*, 29:631, 1962.
  17. Philbin, D. M., Sullivan, S. F., Bowman, F. O., Malm, J. R., and Papper, E. M.: *Postoperative hypoxia.* *Anesthesiology*, 32:136, 1970.
  18. Røine, J. M., Bishop, J. M.: *A-a difference in  $O_2$  tension and physiological dead space in normal man.* *J. Appl. Physiol.*, 18:284, 1963.
  19. Rhodes, E. L., Kirsh, M. M., Howatt, W., O'Rourke, P. T., Straker, J., and Salm, H.: *A comparison of pulmonary function in puppies undergoing total car-diopulmonary bypass with bubble or membrane oxygenators.* *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 4:658, 1974.
  20. Riley, R. L., and Cournand, A.: *Analysis of factors affecting partial pressure of oxygen and carbon dioxide in gas and blood of lungs: Theory.* *J. Appl. Physiol.*, 4:77, 1951.
  21. Rudy, N. E., Crepeau, J., and Angels, W. L.: *Role of intermittent positive pressure breathing postoperatively.* *J. A. M. A.* 167:1093, 1958.
  22. Trimble, R. E., Smith, D. E., Rosenthal, M. H., and Fosburg, R. G.: *Pathophysiologic role of hypocarbia in post-traumatic pulmonary insufficiency.* *Am. J. Surg.*, 122:633, 1971.
  23. 李聖行, 李成久, 韓承世, 李吉魯, 金松明, 李光淑, 李鍾國: *先天性心臟病斗開心術 5例手術經驗*, 大韓胸部外科學會誌, 9:220, 1976.