개심술을 위한 저체온시 P_{50} 치의 변화

고신의학대 마취과학교실

김준선 · 장태호 · 감성희 · 김경한 · 김세환

= Abstract =

Changes of P_{50} during Hypothermia for Cardiopulmonary Bypass Surgery

Joon Sun Kim, M.D., Tae Ho Chang, M.D., Sung Hee Kang, M.D.

Kyung Han Kim, M.D. and Se Hwan Kim, M.D.

Department of Anesthesiology, Kosin Medical College, Pusan, Korea

Hemodilution and hypothermia during extracorporeal circulation for open heart surgery affect the oxygen-carrying capacity to the tissue and hemoglobin affinity for oxygen. P_{50} , as an indicator of alteration of hemoglobin affinity, is dependent on the temperature, pH, PCO_2 , concentration of 2, 3-DPG and type of hemoglobin, and thus it changes with the shift of the oxyhemoglobin dissociation curve to the right or left.

We took the blood samples during 3-different stages of cardiopulmonary bypass in 23 patients who underwent open heart surgery: stage I(before chest incision), stage II(during hypothermia), stage III(after chest closure) and measured the level of arterial blood gas and the value of P_{50} .

The results were as follows:

1) At the uncorrected temperature, the value of the P_{50} in stage II(24.80 ± 2.06 mmHg) showed a significant decrease compared to the stage I(28.23 ± 2.56 mmHg) ($p < 0.05$), but this value was almost in the normal range.

2) At the corrected temperature, the value of the P_{50} in stage II(18.59 ± 1.88 mmHg) showed also a significant decrease compared to the stage I(26.71 ± 2.92 mmHg) ($p < 0.01$), and increased to the normal range after rewarming.

3) At the uncorrected temperature, arterial PO_2 in stage II(380.18 ± 48.86 mmHg) showed a significant increase compared to stage I(237.62 ± 29.20 mmHg), which suggested that the increase of the PO_2 was resulted from the effect of the increased FiO_2 despite lowered body temperature, while PCO_2 was decreased due to lowered body temperature.

Key Words: Hypothermia, P_{50}

서 론

체외순환을 이용한 개심술 마취는 다른 일반 마취와는 달리 환자의 생리적, 대사적 변화에 상당한 영향을

끼치는 요소들이 이용되고 있다. 이 중에서 특히 조직의 산소운반이나 $Hb-O_2$ 친화력에 많은 영향을 끼치는 요소로 혈액회석법과 저체온법을 들 수 있다. 충전액(priming solution)을 이용한 혈액회석 시는 Hb 및 Ht의 감소로 혈액의 점액성을 줄여 조직의 관류를 용

이하게 해줄 수 있으나 산소함량의 감소로 산소운반력이 떨어진다¹⁾. 또한, 저체온법은 마취 중 대사량이나 산소 소모량을 줄여줌으로서 뇌, 심장, 기타 장기등을 다소 보호해 줄 수 있으나 체온하강으로 일어나는 pH 상승 및 PO₂와 같은 혈액가스치의 감소는 Hb-O₂ 친화력에 영향을 미침으로서 Hb-O₂ 해리곡선(hemoglobin-oxygen dissociation curve)을 좌측으로 이동시킨다²⁾.

Hb-O₂ 해리곡선에서 O₂가 Hb과 결합 또는 해리되는 정도는 산소분압(PO₂)과 산소포화도(SO₂)에 의해 결정되며, 혈액에서 일정한 포화도를 얻는데 필요한 PO₂와 상대적관계에 있는 이 곡선의 위치는 O₂에 대한 Hb친화력 정도에 따라 변하게 된다. Bohr나 Hasselbalch등³⁾이 Hb 친화력에 대한 pH의 영향을 처음 기술한 이래 지금까지 이 곡선의 이동에 미치는 요소에 대해 많은 연구가 되어 왔다⁴⁾.

그 중에서도 pH외에 체온, PCO₂, 2,3-DPG, Hb 종류 등은 너무도 잘 알려진 요소들이다. 그러나 이 곡선의 sigmoid 모양으로는 곡선이동의 양적 측정이 어렵기 때문에 Hill plot⁵⁾를 이용하면 직선모양으로 변형시킬 수 있어 이 직선상에 한점을 이루는 P₅₀(Hb이 50% 포화될 때 산소 분압)치 하나만으로도 이 곡선의 모양을 추정하고, 이동 상태를 간편하게 파악할 수 있는 이점이 있다.

저자들은 혈액회석법 및 저체온법을 이용하는 개심술시 Hill's 식⁵⁾을 이용하여 Hb친화력을 나타내는 P₅₀치를 측정하므로써 Hb-O₂ 해리곡선의 이동정도를 파악하고자 본 연구에 임하였다.

관찰 대상 및 방법

1) 관찰대상

1990년 1월부터 1990년 8월까지 본 고신의료원 수술실에서 전신마취하에 개심술을 시행한 환자 중에서 23예를 선택하여 비교 관찰하였다.

성별 및 연령별로는 남성이 14예, 여성이 9예 였으며, 10세 미만이 13예로 가장 많았다(Table 1).

질환별 분포에서는 TOF 2예, ASD 2예, VSD 10예, MS 2예등으로 VSD가 가장 많았다(Table 2).

Table 1. Age and Sex Distribution

Age/Sex	M	F	Total
0~10	9	4	13
11~20	1	3	4
21~30	1	0	1
31~40	2	0	2
41~50	1	2	3
Total	14	9	23

Table 2. Types of Disease

Diseases	M	F	Total
TOF	2	0	2
ASD	2	0	2
VSD	5	5	10
MS	2	0	2
VSD.MS	1	0	1
VSD.TR	0	1	1
MI.AI	0	2	2
AR.MR	1	0	1
Others	1	1	2
Total	14	9	23

TOF: Tetralogy of Fallot
 ASD: Atrial Septal Defect
 VSD: Ventricular Septal Defect
 MS: Mitral Stenosis
 TR: Tricuspid Regurgitation
 MI: Mitral Insufficiency
 AI: Aortic Insufficiency
 AR: Aortic Regurgitation
 MR: Mitral Regurgitation

2) 마취방법

각 대상환자에 대한 마취전투약제로는 수술실 도착 1시간 전에 Glycopyrrolate 0.01 mg/kg과 Meperidine 1 mg/kg을 근주하였다. 마취유도는 대부분의 경우에서 100% 산소를 흡입시키면서 2.5% thiopental sodium과 succinylcholine chloride를 정주하고 근이완이 충분해질 때 기관내 삽관하였다. 마취유지는 흡입마취제인 isoflurane을 대부분 사용하였으며, 때로는 enflurane을 사용하여 N₂O-O₂의 비율을 1:1로 유지하고 간헐적으로 morphine 0.1 mg/kg

주입과 필요에 따라 pancuronium을 주입하였다.

환자 감시장치로서 좌측 요골동맥에 도관을 삽입하여 평균동맥압과 혈중가스분석치를 측정하고 손등과 발등에서 정맥혈을 채혈하여 가스분압치와 Hb, Ht를 측정하였다. 체온은 비인후강 또는 직장온도로 측정하였으며, 중심정맥압을 항상 측정할 수 있도록 하였다.

인공심폐기는 Sans 5000, roller pump를 사용하였고 산화기는 Cobe Membrane Lung을 사용하였다. 혈액회석을 위한 충전액은 heparin을 첨가한 신선혈액, 5% 포도당액과 Hartmann용액(1:1 비율), 15% mannitol 6 ml/kg, sodium bicarbonate 1.2 mEq/kg, potassium chloride 1 mEq/kg 등을 혼합하여 만들었다.

저체온방법은 열교환기(heat exchanger)로 냉각된 관류액을 인공심폐기를 통하여 순환시키고, K-thermia를 이용하여 체온이 29°C 전 후가 되도록 유지시켰다.

3) 관찰방법

마취 중 관찰방법의 시기를 3-stage로 나누어 stage I은 마취유도 후 흉부절개 전, stage II는 체외순환 중의 저체온 시, stage III는 흉부봉합 후로 나누었으며 각 stage의 시행 20분 후에 요골동맥과 손, 발등의 말초정맥에서 혈액을 각각 채취하였다. 채혈된 혈액은 온도 비보정하에서 혈액가스 분석기를 이용하여 pH 및 PO₂, PCO₂, SO₂, Hb, Ht등을 측정하였으며, 또한 체온도 비인후강과 직장을 통해 측정하였다. P₅₀치의 측정은 Hill's factor가 SO₂ 30~70%내에서 가장 유효하기 때문에 말초 정맥혈에서 얻은 혈액가스 분석치를 Hill's식에 대입하여 온도비보정(37°C)하에서는 식 1, 2를 온도보정(실제 환자 체온)하에서는 식 1, 3을 이용하였다.

이들 가스분석평균치와 P₅₀치는 측정된 모든 혈액가스치와 Hill's식을 컴퓨터(data-base)에 입력시켜 계산해낸 수치이다.

Hill's 식

<식 1>

$$\log P_{50} = \log PO_2 - \frac{\log [SO_2 / (1 - SO_2)]}{2.7}$$

<식 2>

$$\log P_{50}(7.4, 40, 37) = \log P_{50} - 0.38(pH - 7.4) + 0.10(\log PCO_2 - \log 40)$$

<식 3>

$$\log P_{50}(7.4, 40, \text{temp}) = \log P_{50} - 0.38(pH - 7.4) + 0.10(\log PCO_2 - \log 40) + 0.024(\text{temp} - 37)$$

관찰 성적

1) 동맥혈 기체분압 및 pH의 변화(Table 3)

(1) 산소분압(PaO₂): 온도비보정 시 산소분압의 변화는 stage I에서 237.62±29.20 mmHg, stage II에서 380.18±48.86 mmHg, stage III에서 244.14±45.63 mmHg로 저체온 시에 유의있는 증가를 보였으나(p<0.05), 이는 저체온 시 FiO₂ 증가와 체온의 하강에 따른 조직의 산소소모량 감소가 합쳐진 결과라 하겠다.

(2) 이산화탄소분압(PaCO₂): PaCO₂의 변화는 stage I에서 45.37±7.15 mmHg, stage II에서 38.25±5.73 mmHg, stage III에서 44.57±6.10 mmHg로 저체온 시 가장 많은 감소를 볼 수 있었다.

(3) pH: stage I에서 pH는 7.40±0.08, stage II

Table 3. Arterial Blood Gas Analysis at Uncorrected Body Temp

	Stage I	Stage II	Stage III
pH	7.40 ± 0.08	7.46 ± 0.07	7.42 ± 0.04
PaO ₂	237.62 ± 29.20	380.18 ± 48.86*	244.14 ± 45.63
PaCO ₂	45.37 ± 7.15	38.25 ± 5.73	44.57 ± 6.10
B.E	-0.37 ± 3.41	-1.62 ± 3.00	1.85 ± 2.75

*: p<0.05: Stage I vs Stage II(at uncorrected body temp.)

Table 4. Venous Blood Gas Analysis at Uncorrected Body Temp

	Stage I	Stage II	Stage III
pH	7.40±0.06	7.47±0.08	7.45± 0.06
PvO ₂	49.71±9.84	38.75±7.81	45.95±11.01
SvO ₂	80.84±8.04	75.97±8.67	79.06± 9.47
PvCO ₂	47.32±5.72	42.81±7.61	45.34± 5.68
B.T	36.40±0.22	28.64±1.94	35.65± 1.10
Hb	12.44±1.88	9.62±0.91	11.57± 1.41
Ht	38.68±5.84	27.39±9.20	35.72± 1.10
P ₅₀ (37°C)	28.23±2.56	24.80±2.06*	27.90± 1.96
P ₅₀ (ABT)	26.71±2.92	18.59±1.88**	26.14± 2.89

Stage I: before chest incision after induction

Stage II: during hypothermia

Stage III: after chest closure

ABT: actual body temp.

* p<0.05: Stage I vs Stage II(at uncorrected body temp.)

** p<0.01: Stage I vs Stage II(at corrected body temp.)

에서 7.46 ± 0.07 , stage III에서 7.42 ± 0.04 로 저체온 시에 가장 증가하였으나, 체온상승 후 감소하는 양상을 보였다.

(4) base excess: stage I에서 -0.37 ± 3.41 , stage II에서 -1.62 ± 3.00 , stage III에서 1.85 ± 2.75 로 저체온 시에 감소하였으나 상호간에 유의있는 차이는 관찰할 수 없었다.

2) P₅₀치 및 체온의 변화(Table 4)

(1) 온도 비보정 시 P₅₀치는 stage I에서 28.23 ± 2.56 mmHg, stage II에서 24.80 ± 2.06 mmHg, stage III에서 27.90 ± 1.96 mmHg로 저체온 시 유의있는 감소를 보였으나(p<0.05) 임상적으로 볼 때 정상치의 범주내에 속하였다.

(2) 온도 보정 시 P₅₀치는 stage I에서 26.71 ± 2.92 mmHg, stage II에서 18.59 ± 1.88 mmHg, stage III에서 26.14 ± 2.89 mmHg로 저체온 시 유의있는 감소를 보였다(p<0.01).

(3) 체온순환 중 체온변화는 최저 26°C에서 최고 31°C로 유지되었으며 평균 28.64 ± 1.94 °C였다.

고 안

Hb-O₂ 해리곡선에서 O₂가 Hb과 결합 또는 해리되는 정도는 산소분압(PO₂)과 산소포화도(SO₂)에 의해 결정되며, 혈액에서 일정한 포화도를 얻는데 필요한 PO₂와 상대적관계에 있는 이 곡선의 위치는 O₂에 대한 Hb친화력 정도에 따라 변하게 된다. Bohr나 Hasselbalch등³⁾이 Hb 친화력에 대한 pH의 영향을 처음 기술한 이래 지금까지 이 곡선의 이동에 미치는 요소에 대해 많은 연구가 되어 왔다⁴⁾.

그 중에서도 pH외에 체온, PCO₂, 2,3-DPG, Hb 종류 등은 너무도 잘 알려진 요소들이다. 그러나 이 곡선의 sigmoid 모양으로는 곡선이동의 양적 측정이 어렵기 때문에 Hill plot⁵⁾를 이용하면 직선모양으로 변형시킬 수 있어 이 직선상에 한점을 이루는 P₅₀치 하나만으로도 이 곡선의 모양을 추정하고, 이동 상태를 간편하게 파악할 수 있는 이점이 있다.

P₅₀이란 pH 7.40, PCO₂ 40 mmHg, 37°C에서 Hb이 50% 포화될 때의 산소분압이라 규정하고 있으며^{6,7)} 각 개체 또는 종류에 따라 다르나⁸⁾ 보통 성인에서 24~29 mmHg이며 신생아에서는 14~23 mmHg로 낮다⁵⁾.

P_{50} 측정방법⁵⁾에는 Hill's 식을 이용하는 방법, Normogram이나 Tonometer를 이용하는 방법, 또는 혈액표본에서 PO_2 와 산소함량, 포화도를 동시에 측정하면서 기록지에 이 곡선을 그리는 Dissociation Curve Analyzer 등이 있다. Michele등⁹⁾은 Tonometry flasks를 이용한 P_{50} 치와 Normogram 또는 Hill's 식을 이용한 P_{50} 치와의 관계에서 PO_2 의 오차는 0.37 ± 0.80 torr로 극히 미세하다고 한 바 있다.

식 1에서 Hill's factor 2.7이란 산소해리곡선의 횡축(PO_2)과 종축(SO_2)을 대수계로 변환할 때 이 곡선이 일직선상으로 되며, 이 때의 곡선 기울기를 말한다. 이는 또 pH나 PCO_2 , 2,3-DPG의 변화에는 관계없이 일정하며 SO_2 가 30~70% 내에서 가장 유효하다고 한다⁵⁾. 또한 Hill's식 1은 체온이 37°C가 아닌 경우나 Bohr 혹은 Hill's factor에 어떤 변화를 일으키지 않는 상황, 비정상 Hb이 있는 경우는 적절치 않으며 pH 또는 PCO_2 , 체온변화를 전혀 고려치 않은 것이므로 곡선의 모양이나 위치변동을 정확히 파악할 수 없기 때문에 이들 변화에 대한 효과가 고려된 식 2, 3을 이용하여야 한다⁹⁾.

혈액표본도 상온에서 채혈한 정맥혈액은 혼합정맥혈보다 낮은 포화도를 갖고 있기 때문에 대수계로 변환된 Hill식의 직선 범위내에 있다¹⁰⁾.

체의순환시 체온의 변화가 있을 때는 pH 및 혈액 가스치가 실제 대사의 변화에 따른 것과 체온변화에 따른 가스치의 변동이 합쳐진 것이므로 저체온 시의 이상적인 가스치를 정하기는 어렵다. 그래서 저체온 시의 환자관리를 온도 비보정으로 하느냐 온도 보정으로 하느냐는 아직 논란의 대상이 되고 있으나 대체적으로 기체의 용해도는 온도가 하강할수록 증가되고 분압은 감소되며 pH는 H⁺이온의 완충상황이 달라지기 때문에 기체분압과 pH측정은 실제 환자체온으로 보정시키는 것이 이상적이며^{11,12)} HCO_3^- 와 base excess는 이들에 무관하다는 것으로 보고 있다^{13,14)}.

또 PCO_2 가 30 mmHg 이상에서는 온도보정의 필요성이 없으며¹⁵⁾ PO_2 는 100 mmHg 이상일 때는 체온에 관계없이 Hb이 거의 포화되지만 60 mmHg 이하에서는 체온변동에 따라 포화도가 많이 변하기 때문에 온도 보정시키는 것으로 보고있다¹⁶⁾. 그러나 이것은 온도차가 10°C 이상인 경우나 A-aDO₂와 같은 PO_2 의 엄밀한 수치가 문제되는 경우에서만 필요하다

는 점과 온도보정의 기본이 환자 체온에서 채취하여 밀봉한 혈액표본을 측정장치의 온도로 바꾸는 것이기 때문에 O₂ 및 CO₂의 함유량은 변하지 않고 화학적으로 결합되어 있는 부분과 용해되어 있는 부분과의 양적관계만이 바뀐다는 점, 또 측정장치의 온도를 변화시키는 데는 상당한 시간이 소요되며, 단시간 내에 생체에서 일어나는 기체분압의 변동, 체온의 변화, 각 조직간의 온도차, 측정시의 오차, 보정계수가 어디까지나 상당한 폭이 있는 근사치에 불과하다는 점등을 고려해 볼 때 37°C에서 측정된 비보정치를 그대로 평가하여 환자를 관리하는 것이 편리하다고 하겠다¹⁷⁾. 여기에서 이용된 식 2는 pH와 PCO_2 변화에 따른 P_{50} 치를 온도 비보정 상태에서 나타낸 것이며, 식 3은 체온변화에 따른 P_{50} 변화를 고려하여 각각의 보정계수(correction coefficient)를 이용하여 환산한 공식이다.

저자들의 연구에서 온도비보정 시 pH와 PCO_2 의 변화에 따른 P_{50} 치는 stage I에서 28.23 ± 2.56 mmHg, stage II에서 24.80 ± 2.06 mmHg, stage III에서 27.90 ± 1.96 mmHg으로 저체온 시 의의있는 감소($p < 0.05$)를 보였으나 임상적으로 볼 때 정상범주(24~29 mmHg) 내에 속한 수치였으며 체온을 29°C로 보정시 P_{50} 치도 stage I에서 26.71 ± 2.92 mmHg, stage II에서 18.59 ± 1.88 mmHg, stage III에서 26.14 ± 2.89 mmHg로 저체온 시 가장 의의있는 감소를 보였다($p < 0.01$). 이것은 Hb친화력에 미치는 생리적 요소중 체온변동이 없을 때는 pH나 PCO_2 변화가 많은 영향을 미치나⁴⁾ 체온변동이 있을 때에는 체온이 가장 큰 영향을 미치는 요소로 작용한 것임을 알 수 있다.

이와같이 저체온 시에는 P_{50} 치의 감소로 Hb친화력은 증가되고 PCO_2 감소로 호흡성 염기증을 야기할 수 있으며 산소 해리곡선의 좌측이동을 더욱 조장하여 조직의 저산증을 초래한다고 한다¹⁸⁾. 그러나 이 때 체내에선 호흡성 염기증의 보상작용으로 신장을 통한 HCO_3^- 의 배설과 체의 순환 시 일어나는 조직관류의 불균등, 불균등 냉각, 말초혈관 부전등으로 인한 대사성 산중독 어느정도 일어난다. 본 연구의 동맥혈 가스 분석에서도 base excess는 stage I에서 -0.37 ± 3.41 , stage II에서 -1.62 ± 3.00 , stage III는 1.85 ± 2.75 로 저체온 시에 다소 감소하였으나 후에는 증가하는 양상을 보였다.

또한 체외순환 시나 후에 출혈에 대한 보상 및 혈압 증가 목적으로 주어지는 수혈은 Hb치를 높임으로서 조직의 산소운반을 증가시키나 4°C로 저장된 전혈 자체의 P₅₀치는 낮기 때문에 이 곡선을 좌측으로 이동시키기에 충분하다고 본다¹⁹⁾. Shah 등²⁰⁾은 손상된 환자 에게 술 중 적혈구를 2-units 주입결과 P₅₀치 감소를 경험했으나 혼합정맥혈의 PO₂치는 변화가 없었다고 하였다. 이는 수혈로 인한 산소함량의 증가와 P₅₀치의 감소와의 혼합효과로 추측된다고 하였다. 본 연구에서는 체외순환 중, 후에 주입된 수혈량과 2,3-DPG치를 측정하지 않았으나 틀림없이 이들도 P₅₀치에 영향을 끼친 요인의 하나로 볼 때 측정된 P₅₀치에 어느 정도 오차가 있었을 것으로 생각된다.

결 론

1990년 1월 부터 1990년 8월 까지 고신의료원 수술실에서 전신마취하에 개심술을 시행한 환자 23예를 대상으로 저체온 전 및 중, 후 동맥과 정맥혈을 각각 채혈하여 혈액가스 분석치 변화와 P₅₀치의 변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 온도 비보정하에서 P₅₀치는 저체온 시 24.80±2.06 mmHg로 저체온 전의 28.23±2.56 mmHg보다 감소하였으나(p<0.05) 임상적으로 정상 범주내에 속 하였다.

2) 온도 보정하에서 P₅₀치는 저체온 시 18.59±1.88 mmHg로 저체온 전의 26.71±2.92 mmHg보다 감소하였으나(p<0.01), 다시 체온 상승 후 26.14±2.89 mmHg로 증가하였다.

3) 온도 비보정하의 동맥혈 가스분석치에서 PO₂와 PCO₂는 저체온 시 각각 380.18±48.86 mmHg, 38.25±5.73 mmHg로 저체온 전의 237.62±29.20 mmHg, 45.37±7.15 mmHg에 비해 PO₂는 유의있는 증가를 보였으나(p<0.05), 이는 체온 하강으로 인한 PO₂의 감소에도 불구하고 FiO₂를 1.0으로 높임으로서 증가한 것으로 보이며, PCO₂는 이와 반대로 유의 있는 감소를 보였다(p<0.05).

참 고 문 헌

1) Gump FE, Butler H, Kinney JM: *Oxygen transport*

and consumption during acute hemodilution. *Ann Surg* 168: 54, 1968

2) Allen KR, Bruce AR, Gerald S: *Temperature correction of P₅₀ and pH in estimating acid-base status. Anesthesiology* 56: 41, 1982

3) Bohr C, Hasselbalch K, Krogh A: *Über einen in biologischer Beziehung wichtigen Einfluss, den die Kohlen saurespannung des Blutes auf dessen Sauerstoff bindung hat. Skand Arch Physiol* 16: 402, 1904

4) Stephen DS, Claude JM: *Adaptive, genetic, and iatrogenic alteration of oxyhemoglobin dissociation curve. Anesthesiology* 38: 127, 1972

5) Norbert WT: *Textbook of clinical chemistry. W.B. Saunders Company, 1986, p 1204*

6) Shapiro BA, Harrison RA, Kacmarck RM, et al: *Clinical application of respiratory care. 3rd ed, Year Book Medical Publisher, Inc, Chicago, p 169, 1985*

7) Snyder JV, Pinsky MR: *Oxygen transport in the critically ill. Year Book Medical Publishers, Inc, Chicago, 1987, p 315*

8) 김광우, 김성덕, 오용석: 한국산 잠건의 P₅₀에 관한 연구. 대한마취과학회지 20: 841, 1987

9) Michele S, Andrea M, Maaimo L, et al: *Equations and Normogram for the relationship of blood P₅₀ to 2,3-DPG, CO₂, and p⁺. Clinical chemistry* 27: 1856, 1981

10) Hill DW: *Physics applied to anesthesia. 2nd ed. Butterworths, London, 1972*

11) Severinghaus SW: *Blood gas calculator. J Appl Physiol* 21: 1108, 1966

12) Bradley AF, Stupfel M, Severinghaus SW: *Effect of temperature on PO₂ and PCO₂ blood in vitro. J Appl Physiol* 9: 201, 1956

13) Rosenthal SB: *The effect of temperature on the pH on blood and plasma in vitro. J Biochem* 173: 2S, 1948

14) Kelman GR, Nunn JF: *Normograms for correction of blood PO₂, PCO₂, pH and base excess for time and temperature. J Appl Physiol* 21: 1484, 1966

15) Barry A. Shapiro MD: *Fundamental of acid-base balance and blood gas analysis. ASA Refresher Course Lectures. 1983, p 126*

16) Sivarajan M: *Temperature correction of arterial blood-gas values. Anesthesiology* 56-329, 1982

17) 김인세: 개심술시 저체온법에 관한 임상적 연구. 대한 마취과학회지 10: 27, 1977

- 18) 백운이, 고준석, 김병권: 개심술 마취시 환자 동태 변화. 대한마취과학회지 12: 52, 1979
- 19) Plewes JL, Fari LE: *Cardiovascular response to hemodilution and controlled hypotension in the dog. Anesthesiology* 62: 149, 1985
- 20) Shah DM, Prichard MN, Newell JC, et al: *Increased cardiac output and oxygen transport after intraoperative isovolemic hemodilution. Arch Surg* 115: 597, 1980
-