

저체온 체외순환시 혈액가스분석의 판독과 체온과의 상관관계*

영남대학교 의과대학 마취과학교실

송 선 옥

서 론

1953년 Gibbon이 체외순환을 이용한 개심술에 처음 성공한 이후¹⁾ 심장수술에 대한 수술수기 및 마취의 발달과 체외순환에 관련된 기술이 발전됨에 따라 이제 개심술은 보편화되고 있다. 그러나 좋은 임상성적을 얻기 위해서는 체외순환중 각종 장기들의 보호가 중요한 관건이 되고 있으며 따라서 체외순환시에는 대부분 저체온법을 병용하게 되는데 저체온상태는 기초대사량의 저하로 산소소모율을 크게 감소시켜 각종 장기들을 보호할 수 있게 된다.

체외순환의 관류량은 체표면적과 체온에 따라 달라지며 혈액가스분압은 산소화기의 가스유량과 가스성분의 조절에 의하여 적정수준으로 유지된다. 그러나 체온이 하강되면 혈중가스용해도가 증가됨으로 이산화탄소분압과 산소분압은 감소하게 되고 pH는 증가하게 된다. 이러한 저체온상태의 혈액을 채취하여 37°C에서의 가스분압을 측정하면 그결과치는 저체온상태인 실제환자의 혈액가스분압치와는 상당한 차이를 나타낼 것이며 실제 임상에서도 저체온상태의 혈액가스분압치 판독에 있어서 온도교정 여부에 관해서는 많은

논란²⁻¹¹⁾이 제기되고 있다.

이에 본저자는 개심술을 위한 저체온 체외순환시 저체온상태의 혈액을 채혈하여 통상적 방법인 37°C의 혈액가스분석기로 측정된 비보정치와 이 값을 환자의 실제 저체온상태의 온도로 환산한 보정치를 얻어 이들을 각각 비교, 검토하고 그 결과를 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

대상 및 방법

1987년 3월 1일부터 동년 12월 30일까지 10개월간 영남대학교 의과대학 부속병원에서 시행된 개심술마취 40례를 대상으로 하였으며 이들의 나이와 성별 및 질환별분포는 Table 1 및 2와 같다.

수술전일 환자를 방문하여 환자가 받을 마취의 전반적 사항과 슬후 호흡관리에 관하여 충분히 설명하였고 환자의 마취전투약으로는 morphine 0.1mg/kg, hydroxyzine 1mg/kg와 glycopyrrolate 0.01mg/kg (최고용량 0.2mg)을 마취유도 1시간전에 혼합근주하였다. 마취유도는 산소전치치와 동시에 질환에 따라 Valium[®] 0.2mg/kg와 morphine 0.2mg/kg, 또는 ketamine 2mg/kg나 pentothal sodium 3-5mg/kg을 정주하고 Norcuron[®] 0.1mg/kg를 정주하고 3분간 용수조절호흡을 시행한 후

*본 논문은 1987년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 이루어 졌음.

Table 1. Distribution of age and sex (No. of cases)

Age \ Sex	Male	Female	Total
0-9	14	6	20
10-9	1	2	3
20-29	1	0	1
30-39	1	6	7
40-49	1	3	4
50-59	2	3	5
Total	20	20	40

기관내 삽관하였고 마취용호흡기를 이용한 조절 호흡하에 선택된 흡입마취제, 정맥마취제와 근이완제등을 사용하여 마취를 유지하였다.

환자의 혈액확상태를 감시하는 침습적 감시장치는 modified Allen's test로 척골 동맥의 측부 혈류를 확인한 후 요골동맥에 22G 카테터를 삽입하여 직접동맥로를 확보하고 이 카테터를 pressure transducer (Model P23, Gould Inc., Oxnard, California, USA)를 통하여 Life scope 11(Model OMP-7201, Nihon Kohden, Tokyo, Japan)에 연결한 후 직접동맥압을 계속 감시하였고 중심정맥로는 우측쇄골하정맥이나 우측내경정맥에 중심정맥압용 카테터를 삽입하여 직접동맥압과 동시에 pressure transducer로 중심정맥압을 측정하였으며 체온은 직장온도와 비인두온도를 동시에 temperature monitor (DP23-0103, Shiley, Irvine, California, USA)로 관찰하였고 마취유도 후 blanketrol (Model RK600, American Hamilton, Muddy Creek, Cincinnati, USA)를 이용하여 체표면냉각법으로 환자의 체온을 서서히 하강시키면서 수술을 시작하였다.

심폐기내 충전액의 총량은 체중 25kg 미만의 환자는 1,200ml로, 25kg이상의 환자는 1,700ml로 하였고 충전액의 성분은 혈액희석법으로 체외순환시의 적혈구용적이 25%가 되도록 계산하여

Table 2. Distribution of disease of the patients

Disease	No. of cases
VSD	12
ASD	5
TOF	4
ECD* + PS	2
MS	4
MS + MR	6
MSR + TR	2
MS + ASR	2
AS + AR	1
Aortic aneurysm c AR	1
LA Myxoma	1
Total	40

ECD* : Endocardial cushion defect

저장기간이 48시간이내의 저장전혈을 혼합하였고 저장전혈 1 pint당 sodium bicarbonate 10mEq, heparin 10mg과 calcium chloride 360mg을 첨가하고 또 충전액에 albumin 2.5gm과 mannitol 1.0 gm/kg을 추가하고 나머지 용량은 Hartmann씨 용액으로 보충하였으며 저장전혈에 따른 충전액 내의 혈당량을 계산한 후 충전액의 혈당치가 200 mg%가 되도록 50% 포도당용액을 첨가하였으며 이 충전액의 pH는 7.4정도로, 삼투압은 340-360 mOsm/L이 되도록 하였다.

인공심폐기의 산소화기는 Bentley BOS-10™ 또는 BOS-5™ (Bentley Lab., Irvine, California, USA)의 기포형산화기나 VPCML 또는 IFCML (Cobe Lab., Lakewood, USA)의 막형산화기를 사용하였으며 산화기의 가스유량은 관류량과 환자체온에 따라 결정하였고 흡입산소농도는 산소와 공기의 혼합비율로 조절하였으며 이산화탄소는 첨가하지 않았다. pump는 roller pump (Model

Polystan A/S, Polystan, Copenhagen, Denmark)를 사용하여 체표면적과 체온에 따라 Cardiac Index를 1.8-2.5L/min/m²에서 관류량을 조절하여 평균동맥을 50-70mmHg로 유지하였다.

환자의 체온은 마취유도후 체표면냉각법으로 서서히 하강시키고 체외순환시작시 열교환기 (Model O5CTCVM, Conair Churchill, Riverside, Middlesex, England)로 냉각된 충전액을 환자순환계로 관류시켜서 환자의 직장온도가 질환에 따라 27℃-33℃정도가 될때까지 급격히 하강시켰으며 심내수술이 끝날무렵 열교환기로 충전액을 가온하여 관류시키고 체표면가온법을 병용하여 재가온하였으며 직장온도가 35.5℃이상이고 생명징후 (vital sign)가 안정되면 체외순환을 정지하였다.

혈액가스분석을 위한 채혈시기는 전체외순환후, 대동맥차단 및 심정지역의 관상동맥내 주입후, 심장이 정지된 상태에서 심내수술 중 직장온도가 충분히 하강되어 직장온도와 비인두온도가 비슷할때 동맥혈과 정맥혈을 각각 무기적으로 채혈하여 검사실로 보냈고 5분 이내에 전자동 혈액가스분석기(Model Corning 178, Corning, Medfield, Massachusetts, USA)를 사용하여 동맥혈과 정맥혈의 pH, 이산화탄소분압(PCO₂), 산소분압(PO₂), HCO₃⁻, 염기과잉(B.E.), 이산화탄소합량(CO₂ content)및 산소포화도(SO₂)를 측정하였다. 이때 혈액가스분석의 결과치는 37℃기준으로 측정된 비보정치와 이값을 전자동 혈액가스분석기로 Kelman과 Nunn의 계산식을 이용하여 환자의 실제 저체온상태의 직장온도로 보정한 보정치를 각각 얻었으며 얻어진 비보정치와 보정치는 평균 ± 표준편차로 표시하였고 결과간 차이의 유의성 검정은 SPSS 통계 Package를 사용하여 paired t-test로 P값이 0.05이하일때 유의성이 있는 것으로 인정하였다.

성 적

체외순환중 평균 혈색소치는 8.1±1.2g/dℓ, 적

혈구용적은 24.0±3.8%이었고 총체외순환기간은 평균 99.8±40.6분(최단 32분, 최장 188분), 대동맥차단기간은 평균 72.7±35.5분(최단 19분, 최장 152분)이었으며 체외순환중 최저직장온도는 27.2℃~33.0℃사이로 평균 30.1±1.4℃이었다.

동맥혈과 정맥혈의 혈액가스분석에서 얻어진 비보정치와 보정치의 각각의 결과는 Table 3과 4와 같다.

pH는 동맥혈의 비보정치가 7.38±0.07, 보정치가 7.48±0.08로 보정치가 비보정치에 비하여 유의있게 높았고, 정맥혈도 보정치가 비보정치에 비하여 유의있게 높은 pH값을 보였으며 (P<0.01) (Table 3), pH의 비보정치와 보정치의 상관관계는 ΔpH=-0.015 ΔTemp+0.005로 온도가 1℃하강함에 따라 pH는 0.015씩 증가됨을 나타냈다 (r=0.81, P<0.01) (Fig. 1).

이산화탄소분압은 동맥혈의 비보정치가 36.9±6.1mmHg, 보정치가 27.4±4.9mmHg로 보정치가 비보정치보다 유의하게 낮았고 정맥혈의 보정치도 비보정치보다 낮았으며(P<0.01) (Table 3), 이산화탄소분압의 비보정치와 보정치의 상관관계는 ΔPCO₂=1.11 ΔTemp+1.81로 온도가 1℃하강함에 따라 이산화탄소분압이 1.11mmHg씩 감소됨을 보였다(r=0.50, P<0.01) (Fig. 2).

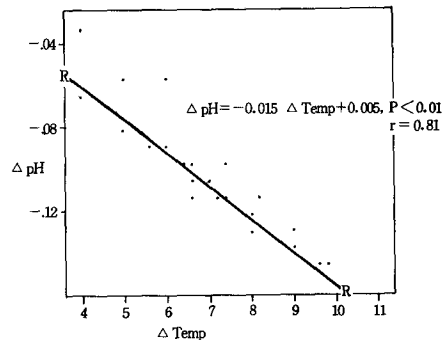


Fig. 1. The difference between uncorrected and corrected value of arterial blood pH. ΔpH : uncorrected value minus corrected value of pH ΔTemp : 37℃ minus actual patient temperature

산소분압은 동맥혈의 비보정치가 294.2 ± 118.8 mmHg, 보정치가 252.7 ± 116.8 mmHg로 보정치가 비보정치보다 낮았고, 정맥혈산소분압의 비보정치는 41.5 ± 9.6 mmHg, 보정치는 25.2 ± 5.7 mmHg로 보정치가 비보정치보다 낮았으며 ($P < 0.01$) (Table 3), 산소분압의 비보정치와 보정치의 상관관계는 $\Delta PO_2 = 5.21 \Delta \text{Temp} - 1.45$ 로 표시할 수 있으나 상관관계의 의의는 적었다 ($r = 0.32$, $P < 0.01$) (Fig. 3).

HCO_3^- 는 동맥혈의 비보정치가 21.6 ± 2.8 , 보정치가 21.5 ± 2.8 로 보정치와 비보정치 사이의 차이는 없었으며 정맥혈의 HCO_3^- 는 동맥혈보다 조금 높았으나

온도 보정에 따른 차이는 없었다. (Table 4)

염기과잉은 동맥혈의 비보정치가 -2.7 ± 3.2 , 정맥혈은 -2.5 ± 3.1 로 동맥혈과 정맥혈 모두 보정치와 비보정치 사이의 차이는 없었다 (Table 4).

이산화탄소함량은 정맥혈이 동맥혈보다 조금 높았으나 온도보정에 따른 차이는 없었고 산소포화도도 동맥혈의 비보정치가 $99.5 \pm 0.6\%$, 정맥혈비보정치가 $71.4 \pm 14.4\%$ 로 보정치와 비보정치 사이의 온도 보정에 따른 차이는 없었다 (Table 4).

이상의 본 연구에서 얻어진 결과는 저체온상태인 환자의 혈액가스분석시 환자의 실제 저체온상태로 보정한 보정치는 37°C 에서의 비보정치

Table 3. Blood gas analysis

Blood	Value	pH	PCO ₂	PO ₂
Arterial	Uncorrected	7.38 ± 0.07	36.9 ± 6.1	294.2 ± 118.8
	Corrected	$7.48 \pm 0.08^*$	$27.4 \pm 4.9^*$	$252.7 \pm 116.8^*$
Venous	Uncorrected	7.34 ± 0.07	42.6 ± 6.0	41.5 ± 9.6
	Corrected	$7.44 \pm 0.08^*$	$31.9 \pm 5.7^*$	$25.2 \pm 5.7^*$

- Values are mean \pm S.D.
- Uncorrected : value at 37°C
- Corrected : value at actual patient temperature (mean \pm S.D. : $30.1 \pm 1.4^\circ\text{C}$)
- * $P < 0.01$
- Corrected values of pH, PCO₂ & PO₂ are significantly different from uncorrected values.

Table 4. Blood gas analysis

Blood	Value	HCO ₃ ⁻	B.E	CO ₂ content	SO ₂
Arterial	Uncorrected	21.6 ± 2.8	-2.7 ± 3.2	21.8 ± 2.7	99.5 ± 0.6
	Corrected	21.5 ± 2.8	-2.7 ± 3.2	21.7 ± 2.7	99.5 ± 0.6
Venous	Uncorrected	22.8 ± 2.5	-2.5 ± 3.1	23.5 ± 2.5	71.4 ± 14.4
	Corrected	22.7 ± 2.5	-2.5 ± 3.1	23.5 ± 2.5	71.3 ± 14.2

- Values are mean \pm S.D.
- Uncorrected : value at 37°C
- Corrected : value at actual patient temperature (mean \pm S.D. : $30.1 \pm 1.4^\circ\text{C}$)
- Corrected values of HCO₃⁻, BE, CO₂ content & SO₂ are same as uncorrected values.

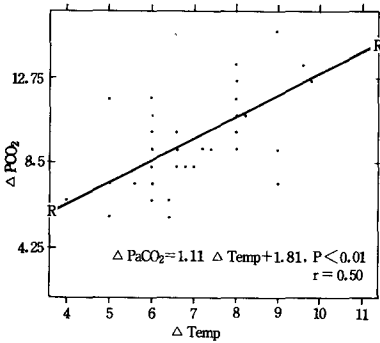


Fig. 2. The difference between uncorrected and corrected value of PaCO₂
 Δ PaCO₂ : uncorrected value minus corrected value of PaCO₂
 Δ Temp : 37°C minus actual patient temperature

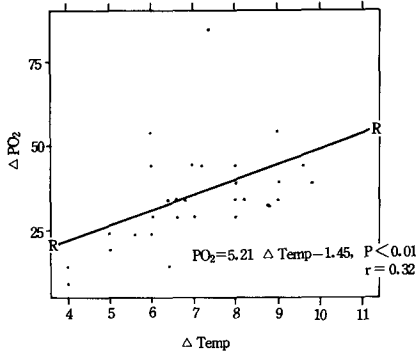


Fig. 3. The difference between uncorrected and corrected value of arterial blood PO₂
 Δ PO₂ = uncorrected value minus corrected value of PO₂
 Δ Temp = 37°C minus actual patient temperature

보다 pH는 높고 이산화탄소분압과 산소분압은 낮으며, HCO₃⁻, 염기과잉, 이산화탄소함량 및 산소포화도는 온도보정에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

고 찰

중등도의 저체온법은 1950년대초부터 심장수술에 이용되기 시작했는데 이러한 저체온상태의 유지는 산소소모량을 감소시켜 각종 장기를 보호할 수 있고 체외순환시 관류량을 줄일 수 있

으므로 이에 따른 적혈구 파괴 및 혈액성분의 변성을 감소시킬 수 있고 그의 많은 합병증의 감소로 심장수술시간을 연장할 수 있어서 복잡기형의 심장수술도 가능하게 하였다. 체외순환시 환자상태는 평균동맥압, 관류량, 체온, 뇨량 및 혈액가스분석치등으로 상태를 평가하고 있다.

저체온상태에서는 기체가스의 혈중용해도가 증가되므로 온도가 하강할수록 기체분압은 감소되고 H⁺의 완충상태는 달라지게 된다. 수술중 환자의 혈액가스분압은 측정장치의 온도를 혈액표본채취시의 저체온상태와 동일하게 하여 혈액가스분압을 측정하는 것이 이론적으로는 가장 이상적이겠으나 측정장치의 온도를 저체온상태의 온도로 변화시키는 데는 상당한 시간이 요구되므로 실제로는 거의 불가능하다. 따라서 37°C로 고정유지된 측정장치에서 측정된 값, 즉 비보정치를 환자 실제 저체온상태의 값으로 환산하여 저체온상태에서의 혈액가스분압치를 측정하게 된다. 이러한 과정을 혈액가스측정치의 온도보정이하고 그 결과치를 보정치라 한다.

온도보정의 기본은 환자의 실제 저체온 상태에서 혈액표본을 채취하여 밀봉한 상태로 측정장치의 온도로 바꾸는 것이므로 O₂와 CO₂함량은 변화하지 않고 화학적으로 결합된 상태와 용해된 상태의 양적인 관계가 변한다는 것이다.

pH는 온도가 하강하게 되면 H₂O \rightleftharpoons H⁺ + OH⁻에서 H⁺와 OH⁻의 용해된 상태가 감소되며 이에 따른 H⁺ 감소로 혈액의 pH는 증가하게 된다. pH의 온도보정에 대하여 Rosenthal¹²⁾은 환산식 Δ pH/ Δ Temp=0.015 unit/°C로 교정인자가 pH에 영향이 없다고 하였고 Adamsons¹³⁾은 적혈구평균용적에는 영향이 없고 pH와 혈중 이산화탄소함량과는 관계가 있다고 하였으며 Severinghaus¹⁴⁾는 Adamsons 환산식을 변형하여 Δ pH/ Δ Temp=0.0146-0.0065(7.4-pHm) (pHm : 37°C 측정장치에서 측정된 pH)로 Kelman과 Nunn¹⁵⁾에 의한 교정인자와 같이 산염기변화에 따른 교정인자의 변화를 시사하였다. 본 연구에서

얻어진 결과치도 Kelman과 Nunn식을 적용한 것으로 비보정치는 7.38 ± 0.07 , 보정치는 7.48 ± 0.08 이었고 온도하강시 $\Delta \text{pH} = -0.015 \Delta \text{Temp} + 0.005$ 의 상관관계로 pH는 증가했으며 체외순환 중의 혈액가스분석을 보정치를 기준으로 판독한다면 호흡성 알칼리증을 나타내고 있다.

이산화탄소분압의 온도보정은 Bradley등¹⁶⁾, Kelman과 Nunn¹⁵⁾의 방법이 있으나 Bradley등¹⁶⁾의 환산식이 온도에 관계없이 일반적으로 받아들여지고 있으며 이산화탄소분압은 HCO_3^- 값에 관계없이 일정하게 변화된다. 본 연구에서는 비보정치 $36.9 \pm 6.1 \text{mmHg}$, 보정치 $27.4 \pm 4.9 \text{mmHg}$ 로 온도하강시 $\Delta \text{PCO}_2 = -1.11 \Delta \text{Temp} + 1.81$ 의 상관관계로 이산화탄소분압이 낮아지고 있으며, 체외순환시 이산화탄소분압을 보정치를 기준으로 판독하면 상당한 호흡성알칼리증이 초래되었음을 나타내고 있다.

산소분압의 온도교정은 온도변화가 혈중산소기체용해도 뿐만 아니라 혈액소의 산소친화도를 변화시키므로 좀 더 복잡하다. 온도교정에 사용되는 방법은 Kelman과 Nunn¹⁵⁾, Severinghaus¹⁴⁾, Burnett등¹⁸⁾ 및 Bradley등¹⁶⁾의 환산식이 적용되나 교정인자는 산소포화도에 따라 달라진다. 산소분압이 250mmHg 이상인 경우는 온도와 관계없이 혈액소의 완전산소포화도를 가정할 수 있어¹⁹⁾, 이런 경우에는 환산식 $\text{PO}_2 = \text{PmO}_2 \times 10^{f(\Delta \text{Temp})}$ 에서 교정인자(f)는 0.0052를 사용할 수 있고²⁰⁾, 산소포화도가 감소되면 교정인자는 점차 증가되어 83% 산소포화도에서는 0.031¹⁴⁾ 또는 0.032²⁰⁾ 등으로 산소포화도가 낮은 상태일수록 온도하강에 따른 산소분압의 감소는 더욱 심하게 나타나고 산소포화도 85% 이하에서는 산소용해도와 산소-헤모글로빈해리곡선의 영향이 상쇄되어 교정인자가 비교적 일정한 것으로 나타난다. 따라서 고농도의 산소를 흡입시키는 경우에서는 Kelmann과 Nunn¹⁵⁾의 실험식에 의해 작성된 계산자를 사용하고 산소포화도가 85% 이하인 경우에는 Severinghaus¹⁴⁾의 계산도표나 계산자를 이

용할 수 있다. 본 연구에서 동맥혈의 산소분압은 비보정치 $294.2 \pm 118.8 \text{mmHg}$, 보정치 $255.2 \pm 113.1 \text{mmHg}$ 로 통계학적으로는 차이가 있으나 “동맥혈 산소분압이 높다”라고 판독되는 데는 큰 의의가 없는 것 같다. 정맥혈 산소분압은 비보정치 $41.5 \pm 9.6 \text{mmHg}$, 보정치 $25.2 \pm 6.1 \text{mmHg}$ 로 산소포화도가 낮은 경우 온도하강에 따른 산소분압의 감소가 더 뚜렷하게 나타났는데, 비보정치로 나타난 정맥혈산소분압은 체외순환중 관류량 및 조직혈류공급이 적당하다고 판독될 수 있고 보정치로 나타난 정맥혈 산소분압은 관류량 및 조직혈류공급이 부족하다고 판독될 수 있다.

이와같이 혈액가스분석의 온도기준에 따라 pH, 이산화탄소분압 및 산소분압에 대한 임상적 평가가 상당한 차이를 나타낼 수 있다.

HCO_3^- 농도는 측정된 pH 및 이산화탄소분압과 주어진 온도에서의 이산화탄소용해도에 따라 Handerson-Hasselbalch 환산식에서 계산되므로 온도에 관계없이 일정하고 이산화탄소함량도 $[\text{HCO}_3^-] + [0.0307 + \text{PaCO}_2]$ 로 계산되어 온도에 따라 변화되지 않는다. 염기과잉에 관하여 Alexander²²⁾는 비보정치를 기준으로 평가하는 것은 타당하지 않다고 하였고 Siggard-Anderson²³⁾은 고정산양은 일정하므로 비보정치를 그대로 사용해도 된다고 하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 Siggard-Anderson식으로 구해진 것으로 보정치와 비보정치의 차이가 없으므로 염기과잉은 저체온상태에서도 비보정치를 그대로 사용해도 무방한 것 같다. 산소포화도는 Severinghaus¹⁷⁾가 Hill-equation을 변형하여 이용하나 보정치와 비보정치가 거의 동일하므로 저온상태에서도 비보정치를 그대로 사용할 수 있다.

저온상태의 체외순환시 혈액가스분석치를 판독하는 데에는 두가지 방법이 있다. 첫째는 절대적 H^+ 농도를 일정하게 유지해야 한다는 pH stat 조절²⁴⁾로서 저체온 환자상태로 보정한 pH를 7.4 그리고 이산화탄소분압을 40mmHg 로 유지하는 방법이며 이값을 유지하기 위해서는 체외순환시

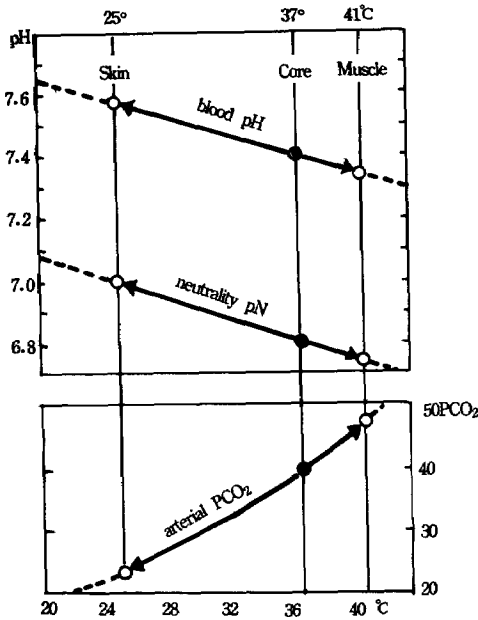


Fig. 4. The typical changes in blood pH and PCO₂ in the arterioles of skin at 25°C and working muscle at 41°C of normal man with a core temperature of 37°C. Neutrality of water, pN, changes in parallel with the changes in blood pH. Thus the relative alkalinity of the blood, or the ratio between [OH⁻] and [H⁺] ion remains constant (reproduced from reference 26).

산소화기에 흔히 이산화탄소를 첨가하기도 한다. 둘째는 절대적 H⁺ 농도를 일정하게 유지하는 것이 아니라 OH⁻/H⁺ 비율을 일정하게 하여 이상 상태에서는 histidine의 α-imidazol군의 부하기능이 유지되어 세포기능을 적절히 한다는 α-stat 조절²⁴⁾로 저체온 환자상태와는 관계없이 혈액 표본을 37°C로 하여 측정된 pH를 7.4, 이산화탄소분압을 40mmHg로 유지하는 방법이다.

α-stat조절을 주장하는 근거는 생명체의 생존을 위한 적절한 상태는 세포외액이 세포내액보다 일정하게 알칼리성을 유지하고 있고²⁵⁾, 세포내액의 pH는 온도변화에 따라 변화한다²⁶⁾는 이론을 반영한 것으로 체온이 하강되면 물의 중심점(neutrality : pH=pOH)은 증가하고 이와 동등하

게 혈액의 pH도 증가한다고 한다²⁶⁾. 따라서 온도변화에 따른 중심점이동의 변화와 혈액의 pH 변화가 거의 동등하므로(Fig. 4)²⁶⁾, 저체온상태의 혈액가스분석치는 체온과 관계없이 37°C에서의 값으로 평가해야 한다는 이론이다.

저체온상태에서의 pH와 이산화탄소분압의 적정수치에 관해서는 많은 보고가 있다. 이산화탄소는 강력한 뇌혈관확장작용이 있으며²⁷⁾ 체외순환중 심한 이산화탄소분압의 감소는 뇌혈관수축과 산소-헤모글로빈해리곡선의 좌측이동으로 조직의 저산소증을 초래할 수 있기 때문에^{28,29)} 보정치 이산화탄소분압을 정상으로 유지하기 위해서 산소화기에 이산화탄소를 첨가해야한다는 주장이 많다^{6,7,29)}. 그러나 최근 Murkin 등³⁰⁾은 이산화탄소분압을 보정치로 40mmHg를 하는 것보다 이산화탄소 투여없이 비보정치로 40mmHg를 유지하는 경우에서 뇌혈류가 뇌산소소비량과 산소합량에 비례하였고 또 뇌관류압 20~100mmHg 사이에서는 뇌혈류의 자기조절(autoregulation)이 유지되며 뇌혈류당량(CBF/CMRO₂)이 적절하여 더 생리적이라 하였으며 오히려 이산화탄소분압을 보정치로 40mmHg를 유지하는 것은 뇌혈류 자기조절이 손상되며^{24,30)} 뇌혈류당량이 증가하여 과다한 뇌혈류로 미세한 색전의 운반을 증가시켜 신경학적 후유증을 초래할 수도 있다고 하였다³¹⁾. 또한 Ream 등¹⁰⁾도 보정치를 기준으로 체외순환중 발생된 뇌부종 환자에서 이산화탄소분압을 감소시켜 유지하였던 바 치유되었다고 하였고, Mohri 등³²⁾도 이산화탄소분압이 10-15 mmHg에서도 뇌기능에 이상이 없었다고 하였다. 체외순환중에는 저체온상태로 인해 뇌대사율이 감소될 뿐만 아니라 체외순환 자체가 뇌산소소비량을 감소시키고 뇌혈류 자기조절의 하단(lower limit)이 낮아지기 때문에 적절한 뇌혈류 공급을 위해 훨씬 적은 양의 뇌혈류량이 필요하게 되므로 체외순환중에는 뇌관류압이 20mmHg 이상이고 비보정치의 이산화탄소분압이 극단적인 저이산화탄소증이 아니면, 적절한 뇌혈류가 유지

되게 된다고 한다^{27,30)}.

저체온시의 pH를 어느정도 유지하는 것이 이상적인가에 대해서는 아직도 뚜렷한 결론이 없다. 저체온상태에서의 pH상승은 산소-헤모글로빈 해리곡선의 좌측이동을 더욱 가중시켜 조직에서의 산소수수를 저해하므로 Venugopal등³³⁾은 저체온상태유도 및 유지시 이산화탄소를 투여하여 보정치 pH를 7.3~7.4로, 이산화탄소분압을 40 mmHg정도로 유지하는 것이 냉각과정이 안정되고 가온시 산염기 균형이 잘 유지된다고 하였다. 그러나 Mohri등³²⁾은 과환기에 의한 호흡성알칼리증이 저체온상태유도시 심실세동을 방지하고 가온 및 심소생시 순환상태를 양호하게 하였고 Rittenhouse등³⁴⁾도 체표면각각 중 중등도의 호흡성알칼리증유지로 심실세동을 피할 수 있었다고 하였다. Becker등³⁵⁾은 비보정치 pH를 7.4로 유지한 경우보다 보정치 pH를 7.4로 유지한 경우에서 심한 심근손상이 있었고 오히려 의도적으로 이산화탄소분압을 감소시켜 비보정치로 호흡성알칼리증을 유도한 상태에서 심기능이 더욱 좋았다고 하였으며 이외에도 많은 보고에서 의도적 호흡성알칼리증상태에서는 호기성 대사를 위한 효소작용이 더 이상적이었으며^{24,26,35)} 호흡성알칼리증 그 자체가 변력작용(inotropic effect)이 있기 때문에 심기능이 더 잘 유지된다고 한다³⁶⁾. 반대로 저체온상태유지시 보정치 pH를 7.4로 유지하는 것은 상대적인 산혈증으로서 이러한 호흡성산증은 심한 음성변력작용(negative inotropic effect)을 유발시키기 때문에 심기능이 억제된다고 한다³⁷⁾.

이와같이 저체온상태에서의 pH와 이산화탄소분압에 대한 이상적인 값은 아직 설정되어 있지 않지만 혈액가스분석시 온도기준점에 대한 견해는 점차 변화되어 가고 있다. 초기의 체외순환시에는 대부분 산소화기에 이산화탄소를 첨가하여 보정치 pH를 7.4, 이산화탄소분압을 40mmHg로 유지하려 하였고, 최근 수년전부터는 37℃ 값으로 혈액가스분석치를 판독하여 환자를 관리하

는 경우가 점차 증가되고 있지만 아직도 보정치로 환자를 관리하는 경향이 좀더 많다고 한다.³⁰⁾ 본 교실에서는 비보정치를 기준으로 환자를 관리한 결과 비보정치 pH 7.38 ± 0.07 , 이산화탄소분압 36.9 ± 6.1 mmHg로 유지되었으며 본 연구에서는 일반적으로 시행되고 있는 중등도의 저체온상태를 유지하였기 때문에 보정치도 pH 7.48 ± 0.08 , 이산화탄소분압 27.4 ± 4.9 mmHg로써 극단적인 결과는 아니었다.

최근의 여러보고들에서 저체온 체외순환유지시 혈액가스분석치를 비보정치로 판독할 경우 보정치로 판독할 경우보다 낮게 유지되는 이산화탄소분압이 뇌혈류에 미치는 영향과 증가된 pH가 심기능에 미치는 영향이 많이 밝혀진 상태에서 보정치에 의한 pH 7.4, 이산화탄소분압 40 mmHg의 유지는 분명한 호흡성산증으로 이에 따른 뇌혈류과다 및 심장기능억제등의 부작용을 초래할 수 있으므로, 저체온 체외순환시에는 저온상태에서의 혈액가스분압치의 온도기준에 따른 차이를 이해하고, 혈액가스분석은 비보정치로 판독하여 환자를 관리하는 것이 술후 임상성적을 증진시킬 수 있는 방법이라 생각되며 의도적인 호흡성알칼리증이 심기능과 뇌혈류보존에 미치는 영향에 관하여는 앞으로 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

1987년 3월부터 동년 12월까지 영남대학교 의과대학 부속병원에서 시행된 개심술마취 40례를 대상으로 저체온 체외순환시 저체온상태의 동맥혈과 정맥혈을 동시에 각각 채혈하여 37℃혈액 가스분석기로 측정한 비보정치와 환자의 실제 저체온으로 보정한 보정치를 각각 얻어 이를 비교하여 보았던 바 보정치가 비보정치에 비하여 pH는 높았고 이산화탄소분압과 산소분압은 낮았으며 HCO_3^- , 염기과잉, 이산화탄소분압 및 산소포화도는 온도보정에 영향을 받지 않았다.

이상의 결과로 미루어 보아 저체온상태의 혈액가스분석시 pH와 이산화탄소분압에 대한 온도보정의 영향은 크며, 저온상태에서의 pH중심점이동과 산염기가 환자상태에 미치는 영향을 고려한다면 환자실제 저체온으로의 온도보정은 필요치 않을 것 같으며 오히려 37°C 비보정치로 판독하여 환자상태를 판정하는 것이 임상적으로는 더 타당한 방법이라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Gibbon, J.H., Miller, B.T., and Fineberg, C. : An improved mechanical heart-lung apparatus. *Med. Clin. Nor. Ame.*, 31 : 1603, 1953.
2. Miller, R.D. : Anesthesia. Churchill Livingstone, New York, 1986, P.1995, P.2000.
3. Churchill-Davidson, H.C. : A practice of anaesthesia. 5th ed., Year Book Medical Publishers, Chicago, 1984, P.538, P.559.
4. Smith, G., and Aitkenhead, A.R. : Textbook of anaesthesia. Churchill Livingstone, Edinburgh, 1985, P.389.
5. Tarhan, S. : Cardiovascular anesthesia and postoperative care. Year Book Medical Publishers, Chicago, 1982, P.109.
6. Barash, P.G., Cullen, B.F., and Stoelting, R. K. : Clinical anesthesia. J.B. Lippincott Company, Philadelphia, 1989, P.685, P.999.
7. Ionescu, M.I., and Wooler, G.H. : Current techniques in extracorporeal circulation. Butterworths, Sydney, 1976, P.157, P.154, P.155.
8. Andritsch, R.F., Muravchick, S., and Gold, M.I. : Temperature correction of arterial blood gas parameters. *Anesthesiology*, 55 : 311, 1981.
9. Kaplan, J.A. : Cardiac anesthesia. Grune & Stratton, Orlando, 1987, P.912.
10. Ream, A.K., Reitz, B.A., and Silverberg, G. : Temperature correction of PCO₂ and pH in estimating acid-base status : An example of the emperor's new clothes? *Anesthesiology*, 56 : 41, 1982.
11. Hickey, P.R., and Anderson, M.P. : Deep hypothermic circulatory arrest : A review of pathophysiological and clinical experience as a basis for anesthetic management. *J. Cardiothorac. Anes.*, 1 : 137, 1987.
12. Rosenthal, T.B. : Effect of temperature on pH of blood and plasma in vitro. *J. Biol. Chem.*, 173 : 25, 1948.
13. Adamsons, K.J., Daniel, S.S., and Gandy, G. : Influence of temperature on blood pH of the human adult and newborn. *J. Appl. Physiol.*, 19 : 897, 1964.
14. Severinghaus, J.W. : Blood gas calculator. *J. Appl. Physiol.*, 21 : 1108, 1966.
15. Kelman, G.R., and Nunn, J.F. : Normograms for correction of blood PO₂, PCO₂, pH and base excess for time and temperature. *J. Appl. Physiol.*, 21 : 1484, 1966.
16. Bradley, A.F., Stupfel, M., and Severinghaus, J.W. : Effect of temperature on PCO₂ and PO₂ of blood in vitro. *J. Appl. Physiol.*, 9 : 201, 1956.
17. Severinghaus, J.W. : Simple, accurate equations for human blood O₂ dissociation computations. *J. Appl. Physiol.*, 46 : 599, 1979.
18. Burnett, R.W., and Noonan, D.C. : Calculation and correction factors used in determination of blood pH and blood gases. *Clin. Chem.*, 20 : 1499, 1974.
19. Hedley-Whyte, J., and Lever, M.B. : O₂ solubility in blood and temperature correction factors for PO₂. *J. Appl. Physiol.*, 19 : 901,

- 1964.
20. Nunn, J.F., Bergman, N.A., and Benatyan, A. : Temperature corrections for PCO_2 and PO_2 of blood in vitro. *J. Appl. Physiol.*, 20 : 23, 1965.
 21. Severinghaus, J.W., Stupfel, M., and Bradley, A.F. : Accuracy of blood pH and PCO_2 determination. *J. Appl. Physiol.*, 9 : 189, 1956.
 22. Alexander, S.C. : Controlled acid-base status with cardiopulmonary bypass and hypothermia. *Anesthesiology*, 24 : 400, 1963.
 23. Siggard, A.O. : The acid-base status of the blood. Munksgaard, Copenhagen, 1963, P. 83.
 24. Swan, H. : The importance of acid-base management for cardiac and cerebral preservation during open heart operations. *Surg. Gynecol. Obstet.*, 158 : 391, 1984.
 25. Peters, J.P., and Van Slyke, D.D. : Quantitative clinical chemistry. Williams & Wilkins Company, Baltimore, 1932, P.868.
 26. Rahn, H., Reeves, R.B., and Howell, B.J. : Hydrogen ion regulation, temperature, and evolution. *Am. Rev. Resp. Dis.*, 112 : 165, 1975.
 27. Prough, D.S., Stump, D.A., Roy, R.C., Gravelle, G.P., Williams, T., Mills, S.A., Hinshelwood, H., and Howard, G. : Response of cerebral blood flow to change in carbon dioxide tension during hypothermic cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology*, 64 : 576, 1986.
 28. Collaghan, P.B. : Effect of varying carbon dioxide tensions of the oxyhemoglobin dissociation curves under hypothermic condition. *Ann. Surg.*, 154 : 903, 1961.
 29. Hasbrouck, J.D., Rigor, B.M., and Ky, L. : The oxygen tension of cerebrospinal fluid during cardiopulmonary bypass. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 58 : 754, 1969.
 30. Murkin, J.M., Keith, F.J., Arnold, T.W, Neil, M.F., and Guiraudon, G. : Cerebral autoregulation and flow/metabolism coupling during cardiopulmonary bypass : The influence of PaCO_2 . *Anesth. Analg.*, 66 : 825, 1987.
 31. Nussmeier, N.A., Arlund, C., and Slogoff, S. : Neuropsychiatric complication after cardiopulmonary bypass : cerebral protection by a barbiturate. *Anesthesiology*, 64 : 165, 1986.
 32. Mohri, H., Dillard, D.H., Crawford, E.W., Martin, W.E., and Merendino, K.W. : Method of surface-induced deep hypothermia for open-heart surgery in infants. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 58 : 262, 1969.
 33. Venugopal, P., Olszowka, J., Wagner, H., Vlad, P., Lambert, E., and Subramanian, S. : Early correction of congenital heart disease with surface-induced deep hypothermia and circulatory arrest. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 66 : 375, 1973.
 34. Rittenhouse, E.A., Ito, C.S., Mohri, H., and Merendino, K.A. : Circulatory dynamics during surface-induced deep hypothermia and after cardiac arrest for one hour. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 61 : 359, 1971.
 35. Becker, H., Vinten-Johansen, J., Buckberg, G.D., Robertson, J.M., Leaf, J.D., Lazar, H.L., and Manganaro, A.J. : Myocardial damage caused by keeping pH 7.4 during systemic deep hypothermia. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 82 : 810, 1981.
 36. Streisand, R.L., Gourin, A., and Stuckey, J.H. : Respiratory and metabolic alkalosis and myocardial contractility. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 62 : 431, 1971.
 37. Poole-Wilson, P.A., and Langer, G.A. : Effect of pH on ionic exchange and function in rat and rabbit myocardium. *Am. J. Physiol.*, 229 : 570, 1975.

-Abstract-

Interpretation of Blood Gas Analysis During Hypothermic Cardiopulmonary Bypass

Sun Ok Song

*Department of Anesthesiology
College of Medicine, Yeungnam University
Daegu, Korea*

The temperature-corrected values of blood gas analysis were compared to uncorrected values in 40 cases of open heart surgery under moderate hypothermic cardiopulmonary bypass.

The results were as follows.

1. The corrected value of pH was significantly higher than uncorrected value, and it's relationship was $\Delta \text{pH} = -0.015 \Delta \text{Temp} + 0.005$ ($r=0.81$, $P<0.01$).
2. The corrected value of PCO_2 was lower than uncorrected value, and it's relationship was $\Delta \text{PCO}_2 = 1.11 \Delta \text{Temp} + 1.81$ ($r=0.50$, $P<0.01$).
3. The corrected value of PO_2 was lower than uncorrected value, and it's relationship was $\Delta \text{PO}_2 = 5.21 \Delta \text{Temp} - 1.45$ ($r=0.32$, $P<0.01$). But there was no clinical significance.
4. The corrected values of HCO_3^- , base excess, CO_2 content and oxygen saturation were similar with uncorrected values.

In summery, the values of pH and PCO_2 were significantly changed by temperature-correction.

Because of the neutral point of water ($\text{pH}=\text{pOH}$) rises as temperature falls and it change in parallel with the changes in blood pH, a corrected pH of 7.4, PaCO_2 of 40mmHg during deep hypothermia would reflect a profound respiratory acidosis.

Therefore, the use of the uncorrected value at 37°C is more preferable and valid means of assessing acid-base management regardless of actual patient temperature.