

체위 변화시의 혈액 pH, Pco₂ 및 Po₂의 변화

경북대학교 의과대학 생리학교실

全 相 年 · 蔡 義 業

= Abstract =

Changes in Blood pH, Pco₂ and Po₂ During Passive Tilt

Sang Yun Jun, M.D. and E. Up. Chae, M.D.

Department of Physiology, Kyungpook National University School of Medicine
Taegu, Korea

To evaluate orthostatic brain hypoxia from the passive tilt, anesthetized dogs were tilted from supine to 90° upright and 90° head down position.

Blood pH, Pco₂ and Po₂ changes during tilt were measured on 8 dogs.

Respiratory rate was decreased in upright position and increased in head down position comparing to that in the horizontal position. pH in arterial blood was increased in upright position and decreased in venous blood comparing to that in the horizontal position. No significant changes were found in the head down position.

Pco₂ of arterial and venous blood was decreased both in upright and head down position. A significant decrease was found in the head down position.

Po₂ in arterial blood was increased both in the upright and head down position. However, it was decreased in the venous blood.

The cause of increased Po₂ in arterial blood seemed to be due to hyperventilation and the cause of decreased Po₂ in venous blood was thought to be due to increased O₂ consumption of animals during the tilt.

서 론

일상생활에서 기립, 좌위 및 와위등 체위변화시 우리몸의 혈액은 중력의 방향으로 소위 Hydrostatic pressure가 형성되고 신체내부의 가동성장기는 중력의 방향으로 현수 또는 견인되는데 이와같은 현상은 사소한 변화이지만 생체의 심폐기능은 생리적범위내에서 약간의 변화를 초래하게 된다. 예를들면 호흡면에서 폐의 부위별 Ventilation perfusion ratio 변화에 의한 호흡중추의 반응과 혈액순환에서 Baroreceptor에 의한 혈관중추의 반사적조절반응을 볼 수 있다. 호흡중추의 호흡운동조절은 pH, PCO₂, PO₂의 변화에 대해서 예민한 반응이 일어난다. 한예로서 근육운동시와 같이 체내의 대사기능이 왕성할때는 호흡운동이 증가되고 따

라서 각조직의 세포는 그만큼 더 많은 O₂를 소비하게 되고 혈액내 PO₂는 더욱 감소할 것이고 CO₂ 및 수소이온 농도 즉 [H⁺]가 증가되며 결국은 혈액내에서 화학적변화를 초래하게 된다. PO₂ 저하에 대한 호흡반응은 비교적 예민치는 못하나 asphyxia의 경우와 같이 PCO₂가 동시에 증가하였을때에는 예민한 반응이 나타난다. 그러므로 PCO₂의 증가는 PO₂저하에 관한 호흡반응에 상승적인 효과를 주게되는데 보통 PO₂가 약 50mmHg 정도 하강하면 비로소 호흡이 증가하게 된다. CO₂는 가장 효과적인 호흡중추자극물질로 혈액 pH 조절에 중심역활을 한다. pH, PCO₂ 및 중탄산이온의 농도 즉 [HCO₃⁻]간의 상호관계는 Henderson-Hasselbalch 방정식에 의해서 규정되어지는데 pH-[HCO₃⁻] diagram에 의하면 PCO₂가 증가하면 pH는 감소되며 상관적으로 [HCO₃⁻]도 증가된다. 반대로 PCO₂가 감소하면 pH

및 [HCO₃⁻]는 완충선을 따라 변화한다. 폐 및 신장의 기능이 정상적으로 수행될 때는 PCO₂는 폐가, [HCO₃⁻]는 신장이 적당히 조절하여 그 비 즉 HCO₃⁻]/αPCO₂를 20으로 유지하여 혈액의 pH를 거의 일정하게 7.4로 유지되지만 이들의 기능이 정상적으로 수행되지 못하거나 폐의 산이나 염기를 섭취함으로써 [HCO₃⁻]/αPCO₂의 비가 20보다 증가 혹은 감소됨으로 pH가 현저하게 변동되는데 pH의 변화를 일으키는 원인에 따라 호흡성 및 대사성 과산증, 과염기증으로 구분된다.

혈액순환에서 심장에 미치는 미주신경의 흥분 정도는 이 Baroreceptor에 전달된 정보에 의하여 영향을 받는데 정상보다 동맥혈압이 높아지면 receptor로부터 많은 동작전위가 발생되어 연수로서 혈관운동중추를 억제하여 미주신경으로 하여금 심장의 박동수를 적게 하고 혈관을 확장시켜 말초저항을 감소시킴으로 혈압이 내려간다. 화학적 조절도 일종의 반사기능이라고 할 수 있는데 고농도 수소 ion, PO₂ 저하 및 PCO₂가 증가되면 중경동맥의 분기점에 있는 경동맥혈관구와 대동맥중에 있는 대동맥혈관구는 Chemoreceptor로 작용하여 호흡운동을 증가시키는 한편 혈관중추에서는 교감신경을 흥분시켜 심박수가 증가되고 혈압이 상승하게 된다. 따라서 저산소증의 초기증상이 나타나게 되고 비교적 심한 저산소증에서는 호흡운동중추의 기능저하가 초래된다. 인체에 있어서 수동적 체위변화에 의한 순환성저산소증에 대한 전신반응이 비교적 빠르던 실신이나 기절을 볼 수 있는데 이때는 대뇌하부에 위치한 호흡중추도 저산소증에 놓이게 되며 호흡운동의 기능은 초기의 미약한 저산소증에서는 오히려 항진되나 결국은 그 기능이 저하된다. 수동적 체위변화시와 중력에 의한 실험동물 및 사람의 혈액순환변화에 대해서는 Liu¹⁾, Newberry²⁾ 및 Musgrave³⁾ 등 많은 연구^{4),5),6)}자의 보고가 있다.

이와 같이 체위변화에 따른 재생리적변화는 중력이 가중되는 경우, 즉 가속도가 작용될 때는 그 변화가 심하게 될것은 수긍되는 일이다. 경사대에 의해 체위변화가 수동적(受動的)으로 이루어지면 우선 수의근육 특히 사지근육의 반사적수축이 둔해지고^{7),8)} 지구중력방향에 일치하여 소화관, 간장 및 횡경막등 내부장기의 위치변화가 야기되고 순환혈액의 심장박출과 말초에서 심장의 환류가 지구중력방향과 평행 혹은 역행하는 경우 그만큼 속도가 가속내지 감소되며⁹⁾ 혈행이 중력에 의하여 간섭을 받을때 2차적으로 중력방향으로 유행의 경향과 정맥혈의 환류장소가 동시에 초래되고 내부장기의 중력에 따른 이동은 심장맥관계에 압박을 주게 되고 혈액순환의 저항으로서도 작용될수 있다.^{10),11)} 그의

에 체하부방향의 혈액간류를 인위적으로 조정하기 위하여 복부부터 하지까지 저압으로 유지하면 혈액이 체위하부에 체류를 일으키고 순환혈량의 감소와 이에 따른 저혈압을 보게 된다. 이것은 중력에 의하지 않고 혈액을 하지방향으로 이동시키는데 도움이 된다.¹²⁾ 이것을 하체 음압실험(Lower body negative pressure, LBNP)라고 한다. 또 Trendelenburg 위치는 두부에 대한 혈류증가를 도모하지만 중력에 의한 횡경막의 흉곽내부방향 이동은 호흡운동을 장애할 가능성이 있다.^{10),13)}

저자는 우선 1지구중력하에서 심폐기능의 일부를 관찰하기 위하여 실험동물에 대해서 경사대(傾斜台)를 쓰고 체측과 중력의 방향변화를 임의로 바꾸었을 때 야기되는 호흡수의 변화와 혈액중 pH, PCO₂, 및 PO₂를 측정하고 본교실에서 기히 보고한바 있는 재생리적 변화와 비교, 고찰하여 이것을 보고하는 바이다.

실험 방법

외견상 건강하다고 생각되는 체중 12kg 내지 15kg의 잠중성견(成犬)을 자웅 구별없이 쓰고 5%의 nembutal 용액을 체중 1kg 당 30mg씩 하지의 복재정맥(Saphenous vein)에 주사하고 필요에 따라 소량적을 추가하고 동시에 혈액응고를 방지하기 위해 1kg 당 500 unit의 Heparin을 동시에 정맥내에 주사하였다.

마취후에 실험동물을 양와위로 길이 90cm, 폭 45cm, 높이 101cm의 수동식(手動式) 경사대에 수평위로 고정하였다. 정맥혈과 동맥혈을 채혈하기 위하여 동맥 cannule를 우측고동맥에 연결하고 정맥혈은 우측경정맥을 절제하여 catheter를 깊이 삽입하여 우선실험을 거쳐 폐동맥으로 유도한 다음생리적 변화를 관찰하고 체위변화후에는 비교적 호흡 및 혈압이 일정하게 되는 4분후에 1분간의 호흡수를 측정하고 Heparin을 바른 주사기로 정, 동맥혈을 채혈한 다음 이것을 37°C 체온하에서 2회 측정하여 평균해서 정상대초치로 하고 다시 경사대를 10°/sec의 속도로 90° 회전하여 기립위에 두고 5분후 채혈하고 다시 수평위로 옮겨 10분 경과후 대로 90° 회전시켜 도립위에 두고 5분후에 채혈하여 각각의 호흡수를 측정하였다. 특히 채혈시에 주사기 내에 air bubble이 들어가지 않게 채혈하고 대기 gas가 스며들지 않도록 주사기 끝을 마개로 완전히 밀봉하였고 즉시 측정하였다. 측정기구는 Instrumentation Laboratory 회사의 혈액 pH, PCO₂ 및 PO₂ 분석기를 사용하였고 호흡수의 산정은 pneumograph와 Grass 회사의 Volumetric pressure transducer PT5-A에 연

결한 Beckman 의 RS-Dynograph 로서 기록한 호흡곡선으로 계산하였다.

실험 성적

1. 분시호흡수(Breathing rate)

1분간의 호흡수는 제 1도와 같다.

수평대조치의 호흡수는 15.5/min 이고 기립위에서는 2회정도로 호흡수가 늘어졌고 도립위에서는 24.5/min 로 수평대조치에 비해 9회정도 호흡수가 증가되었다.

2. 동맥혈 및 정맥혈의 pH 변화

수평대조치의 동, 정맥혈의 pH 는 각각 7.268, 7.222 로 나타났으며 기립위에서는 동맥혈이 7.280으로 0.2% 가 증가되고 정맥혈은 7.202로 0.3%가 감소되었다. 도

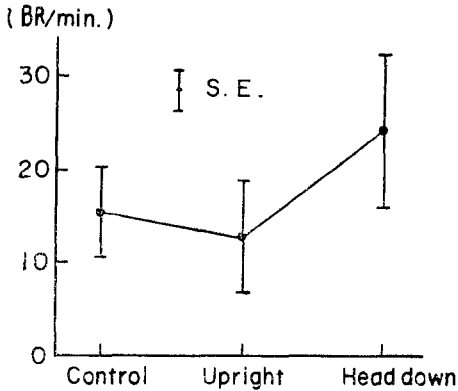


Fig. 1. Breathing rate.

Table 1. pH in arterial blood and venous blood

| | | Artery | vein |
|-----------|-----------------|--------|-------|
| control | Mean | 7.268 | 7.222 |
| | SE | 0.029 | 0.035 |
| upright | Mean | 7.280 | 7.202 |
| | SE | 0.047 | 0.030 |
| | per cent change | +0.2 | -0.3 |
| | | p>0.7 | p>0.6 |
| Head down | Mean | 7.269 | 7.220 |
| | SE | 0.035 | 0.033 |
| | per cent change | 0 | 0 |
| | | p>0.9 | p>0.9 |

N:8

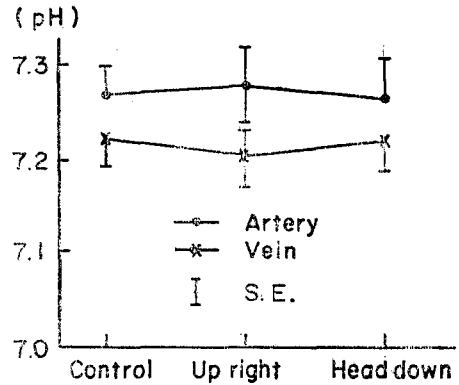


Fig. 2. Blood pH.

립위에서는 동맥혈이 7.269이고 정맥혈은 7.220으로 수평대조와 거의 같은 값을 가졌으며 모두가 통계적으로 유의있는 변화는 볼 수 없었다(표 1, 도 2).

3. 동맥 및 정맥혈의 PCO₂ 변화

수평대조치에서 동맥혈은 42.66mmHg 정맥혈은 47.70mmHg 로 나타났으며 기립위에서 동맥혈은 39.14 mmHg 로 수평대조치에 비해 8.3%가 감소되었고 정맥혈은 47.54mmHg 로 0.3%가 감소되었다. 도립위에서는 동맥혈이 34.08mmHg 로 20.1%가 감소되어 통계적으로 유의있는 변화를 나타내었고 정맥혈은 44.34 mmHg 로 7%가 감소되었다(표 2, 도 3).

4. 동맥혈 및 정맥혈의 PO₂ 변화

수평대조치는 동맥혈이 71.12mmHg, 정맥혈이 38.50mmHg 로 나타났고 기립위에서는 동맥혈이 72.56

Table 2. PCO₂ in arterial blood and venous blood

| | | Artery | vein |
|-----------|-----------------|--------|-------|
| control | Mean(mmHg) | 42.66 | 47.70 |
| | SE | 1.62 | 2.99 |
| Upright | Mean(mmHg) | 39.14 | 47.54 |
| | SE | 5.88 | 3.40 |
| | Per cent change | -8.3 | -0.3 |
| | | p>0.3 | p>0.9 |
| Head down | Mean(mmHg) | 34.08 | 44.34 |
| | SE | 2.98 | 3.48 |
| | Per cent change | -20.1 | -7.0 |
| | | p<0.05 | p>0.4 |

N:8

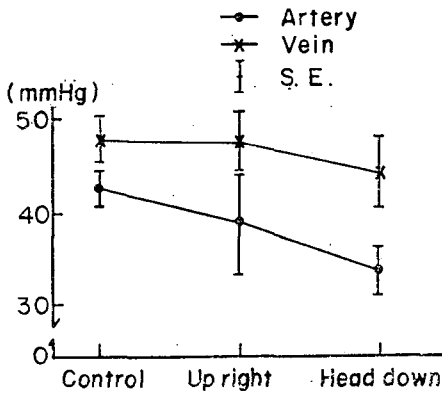


Fig. 3. Blood PCO₂.

mmHg로 수평대조치에 비해 2%가 증가되었고 정맥혈은 30.13mmHg로 21.7%가 감소되어 통계적으로 의의 있는 변화를 보였다. 도립위에서는 동맥혈이 79.23 mmHg로 수평대조치에 비해 11.4%가 증가되고 정맥혈은 33.08mmHg로 14.1%가 감소되었다(표 3, 도 4).

고 찰

경사대에서 수동적으로 체위변화를 일으킬 경우 수의 근육의 중력에 의한 반사적 긴장수축 특히 팔다리 또는 몸통의 여러 근육의 수의적 운동은 둔해지며 중력의 방향으로 장기내부의 위치변화가 일어나고 근육의 수축으로 혈액순환계에 장애를 초래하게 된다. 본 실험에 있어서 체위변화에 따른 호흡수의 변화는 개체의 차가 많았으며 수평대조치에 비해 기립위에서 약간 감소하고 도립위에서는 많은 증가를 보였는데 이것은 복강내 장기가 흉곽내부로 횡경막을 압박하고 또 압박하는 자세가 되어서 호흡기능을 저하내지 촉진시킨다는 견해도 있다.^{10,19,20} Liu¹²의 보고에 의하면 기립시 분시호흡수가 감소한다고 하였으며 간혹 무호흡이 관찰되었다고 하며 Armstrong¹⁸은 체위변화 초기에 복부 근육이 수축하고 이것이 무호흡의 원인이라고 하였는데 제¹³는 체위 변화에 의하여 기립초기와 도립에서 수평으로 돌아간 직후 무호흡이 약 20초 이내 계속되는 것을 관찰하였으나 Liu는 미주신경을 절단한 후에는, 무호흡은 볼 수 없었다.

동맥혈의 pH는 본 실험에서 정상대조치가 7.268로 나타났으며 Hackel²¹의 측정치인 7.20±0.02보다 높고 Kim, et al²²의 측정치인 7.401±0.01보다 낮은 값을 나타내었다. 정맥혈의 pH는 본 실험에서 7.222로 Kim, et al의 측정치인 7.365±0.01, Moinar²³의 측

Table 3. PO₂ in arterial blood and venous blood

| | | Artery | Vein |
|-----------|-----------------|--------|--------|
| Control | Mean(mmHg) | 71.12 | 38.50 |
| | SE | 3.07 | 1.70 |
| Upright | Mean(mmHg) | 72.56 | 30.13 |
| | SE | 4.79 | 2.57 |
| | per cent change | +2.0 | -21.7 |
| | | p>0.7 | p<0.05 |
| Head down | Mean(mmHg) | 79.23 | 33.08 |
| | SE | 4.30 | 4.14 |
| | per cent change | +11.4 | -14.1 |
| | | p>0.1 | p>0.2 |

N:8

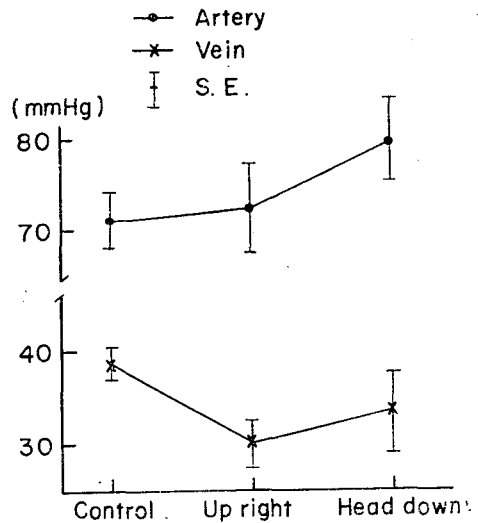


Fig. 4. Blood PO₂.

정치인 7.39에 비해 낮은 값을 나타내었다.

동맥혈의 PO₂는 수평대조치에 비해 기립위에서는 2% 증가 하고 도립위에서는 11.4%가 증가되었는데 이것은 Hyperventilation 과도호흡에 의한 것이라 사료해서 CO₂ 함량의 감소를 초래하였다. 정맥혈의 PO₂ 감소되며 따라는 산소소비량의 증가가 그 원인이라고 사료되는데 Liu의 보고에 의하면 개에서 기립시 산소소모량은 수평위에 비해 감소하고 도립위에서는 변화가 없었다고 하나 본 실험에서는 도립위에서 산소소모량의 많은 증가를 나타내었고 기립시에도 도립시보다는 산소소모량은 적으나 증가된 것을 볼 수 있다. 또 기립 및 도립위

에서 동맥혈과 혼합정맥혈의 산소함량의 차이가 증가되는데 체⁴⁾의 보고에 의하면 산소소모량의 증가와 분시심박출량의 감소 등 어느 하나 혹은 둘 다같이 그 원인이라 생각한다고 했다. 도립위의 산소소모량의 증가로 인해 대뇌의 산소공급은 더욱 부족하게 되며 유연(柔軟)한 폐의 혈액체류등은 순환혈량과 중력의 내력을 감소시킨다고 하였다. 따라서 화학수용기를 통한 반사에 의해 호흡운동이 증가되며 대사기능이 왕성해져 일부 조직세포는 더 많은 산소를 소비하게 되고 PO₂는 감소되는 반면에 대사물인 CO₂ 및 H⁺등의 생성도 많아져 결국 혈액내 PCO₂ 및 [H⁺]가 증가하게 된다. 이처럼 도립위에서 PCO₂가 감소하고 수소 ion의 감소가 예상됨에도 불구하고 pH가 거의 증가하지 않는 것은 산소소비량이 증가되고 정맥혈의 PO₂의 감소로 보아 혐기성해당(anaerobic glycolysis)으로 젖산이 증가된 것이 아닌가 생각된다.

요 약

경사대에 의한 수동적체위 변화시 분시 호흡수, 혈액 pH, PCO₂ 및 PO₂의 변화를 관찰하고 다음과 같은 성적을 얻었다.

체위변화시 호흡수는 기립위에서는 수평대조치에 비해 감소하고 도립위에서는 많은 증가를 보였다.

혈액 pH는 기립위에서 수평대조치에 비해 동맥혈은 0.2%가 증가되었고 정맥혈은 0.3%가 감소되었다. 도립위에서는 수평대조치와 거의 변화가 없는 값을 나타내었다.

PCO₂는 기립위에서 수평대조치에 비해 동맥혈은 8.3%, 정맥혈은 0.3%가 감소되었고 도립위에서는 동맥혈은 20.1%가 감소되고 이것은 통계적으로 유의있는 변화였다. 정맥혈은 7%가 감소되었다.

PO₂는 기립위에서 동맥혈은 2%가 증가, 정맥혈은 21.7%가 감소되었으며 이것은 통계적으로 유의있는 변화였다. 도립위에서는 동맥혈은 11.4%가 증가되고 정맥혈은 14.1%가 감소되었다.

도립위에서 동맥혈의 PO₂가 증가 되는 원인은 도립중의 과도호흡하에 의한 것이라 사료되며 정맥혈의 PO₂의 감소는 도립중의 근육수축에 연유하는 산소소비량의 증가가 그 원인이라고 사료된다. 또 도립위에서 PCO₂가 감소하고 수소 ion의 감소가 예상됨에도 불구하고 pH가 증가하지 않는것은 산소소비가 증가되고 정맥혈의 PO₂가 감소되는 것으로 봐서 혐기성해당으로 젖산이 증가된것이 아닌가 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Liu, C. T., Huggins, R. A. and Hoff, H. E. : *Coronary hemodynamic responses to postural change in hemorrhaged dogs. Aerospace Medicine, 42:379, 1971.*
- 2) Newberry, P. D. and A. C. Bryan: *Effect on venous compliance and peripheral vascular resistance of head word (+Gz) accleration. J. Appl. physiol., 23:150-156, 1967.*
- 3) Musgrave, F. S., F. W. Zechman, and R. C. Mains: *Comparision of 70° tilt and several levels of lower body negative pressure on heart rate and blood pressure in man. Aerospace Med., 42:1065-1069, 1971.*
- 4) 채의업, 이석강, 배성호 : 체위변화에 수반되는 순환 및 호흡반응. 대한생리학회지, 7:13-21, 1973.
- 5) 서석완, 채의업 : 체위변화에 수반되는 심맥관계반응에 관한연구. 대한생리학회지, 5:13-21, 1971.
- 6) Comroe, J. H., R. E. Forster, Jr., A. B. Dubois, W. A. Brisocoe, and E. Carlsen: *The Lung. 2nd ed., Year Book Med. Pub., Chicago, 1968, pp. 65-72.*
- 7) Klein, K. E., H. Bruner D. Jovy, L. Vogt and H. M. Wegmann: *Influence of stature and physical fitness on tilt table and acceleration to tolerance. Aerospace Med. 40:293, 1969.*
- 8) Shvartz, E. : *Reliability of quantitative tilt table data Aerospace Med. 39:1094, 1968.*
- 9) Guyton, A. C. : *Venous return, Handbook of physiology, Washington, D. C., Amer, physiological Soc. Sec. 2, 11:1099, 1963.*
- 10) Taylor, J. and Well, M. H. : *Failure of the Trendelenburg position to improve circulation during clinical shock. Surg. Gynecol. Obstetrics, 124:1005, 1957.*
- 11) Houssay, B. A. : *Human physiology 2nd Ed., New York, McGraw-Hill Book Co., 1955, p. 17.*
- 12) Gilbert, C. A. and Stevens, P. : *Forearm vascular responses to lower body negative pressure and orthostasis. J. Appl Physiol., 21:1265, 1966.*

- 13) 金正金：체위변화가 폐내공기용량, 심전도 및 혈압에 미치는 경향. 경북의대잡지, 11:359, 1970
- 14) 本川弘一：醫學生物電氣의實驗法, 第5版 東京南山堂, 1961, p.170
- 15) Hobson, H.C., M. B. Welled, and A. Addleman: *The independence oculogram during induction of anesthesia, a Hand Book (Hales, Marey and chauveau) Ed. by Geddes, L.A. and H.E. Hoff, Baylor Medical Collage press, Houston, p. VI-1, 1969.*
- 16) Colling, V.J.: *Principles of Anesthesiology, Philadelphia, Leu & Febiger, p.69, 1966.*
- 17) Goodman L.S. and A Gilmon: *The pharmacological Basis of Therapeutics, 4th Ed, New York, Macmillan Co., p.51, 1970.*
- 18) Armstrong, H.C.: *Principle and Practice of Aviation Medicine, Baltimore, William and Wilkins Co., 1939, p.398.*
- 19) Coulam, C.M. and E.H. Wood: *Regional differences in pleural and esophageal pressures in head-up and head down position, J. Appl. physiol. 31:235-240, 1971.*
- 20) Marshall, B.E., R.L. Teichner, T. Kallos, H.T. Sugerman, M.Q. Wyche, Jr. and K. Tatum: *Effects of posture and exercise on the pulmonary extravascular water volume in man. J. Appl. physiol. 31:357-480., 1971.*
- 21) Hackel, D.B. and G.H.A. Clowes, Jr: *Coronary blood flow and myocardial metabolism during hypoxia in adrenalectomized-sympathectomized dogs. Am. J. physiol. 186:111, 1956.*
- 22) Kim, S.I. J.M. Desai, and shoemaker, W.C.: *Sequence of cardiorespiratory alterations after gradual prolonged hemorrhage in conscious dogs. Am. J. physiol. 216:1044, 1969.*
- 23) Molnar, J.I. J.B., Scott, E.D. Frohlich, and E.J.: Haddy, *Local effects of various anions and H⁺ on dog limb and coronary vascular resistance. Am. J. Physiol. 203:125, 1962.*