

## 두부하위 ( $-6^\circ$ ) 로의 체위변동이 말초혈류에 미치는 영향

계명대학교 의과대학 생리학교실

채의업 · 양선영 · 배재훈 · 송대규

(1990년 4월 20일 접수)

= Abstract =

### Effects of Head-down Tilt ( $-6^\circ$ ) on Peripheral Blood Flow in Dogs

E Up Chae, Seon Young Yang, Jae Hoon Bae and Dae Kyu Song

*Department of Physiology, Keimyung University School of Medicine, Taegu, Korea*

The purpose of the present study was to examine the hemodynamic responses, especially in arterial and skin blood flows, in conjunction with the changes of plasma catecholamine levels as an indirect marker of adrenergic tone during the early stage of head-down tilt (HDT), and to evaluate the early physiological regulatory mechanism in simulated weightlessness.

Ten mongrel dogs, weighing 8~14 kg, were intravenously anesthetized with nembutal, and postural changes were performed by using the tilting table. The postural changes were performed in the following order: supine, prone, HDT ( $-6^\circ$ ) and lastly recovery prone position. The duration of each position was 30 minutes. The measurements were made before, during and after each postural change. The arterial blood flow ( $\dot{Q}$ ) at the left common carotid and right brachial arteries was measured by the electromagnetic flowmeter. Blood pressure (BP) was directly measured by pressure transducer in the left brachial artery. To evaluate the peripheral blood flow, skin blood flow ( $\dot{q}$ ) was calculated by the percent changes of photoelectric pulse amplitude on the forepaw, and skin temperature was recorded. The peripheral vascular resistance (PR) was calculated by dividing respective mean BP values by  $\dot{Q}$  of both sides of common carotid and brachial arteries. Heart rate (HR), respiratory rate (f), and pH,  $P_{O_2}$ ,  $P_{CO_2}$  and hematocrit of arterial and venous blood were also measured. The concentration of plasma epinephrine and norepinephrine was measured by radioenzymatic method. The results are summarized as follows:

Tilting to head-down position from prone position, HR was initially increased ( $p < 0.05$ ) and BP was not significantly changed. While  $\dot{Q}$  of the common carotid artery was decreased ( $p < 0.05$ ) and PR through the head was increased,  $\dot{Q}$  of the brachial artery was increased ( $p < 0.05$ ) and PR through forelimbs was decreased.  $\dot{q}$  of the forepaw was initially increased ( $p < 0.05$ ) and then slightly decreased, on the whole revealing an increasing trend. Plasma norepinephrine was slightly decreased and the epinephrine was slightly increased. f was increased and arterial pH was increased ( $p < 0.05$ ).

In conclusion, the central blood pooling during HDT shows an increased HR via Bainbridge reflex and an increased  $\dot{q}$  of the forepaw and brachial  $\dot{Q}$ , due to decreased PR which may be originated from the depressor reflex of cardiopulmonary baroreceptors. It is suggested that the blood flow to the brain was adequately regulated throughout HDT ( $-6^\circ$ ) in spite of central blood pooling. And it is apparent

\*본 연구는 1989년도 계명대학교 울종연구비 및 동산의료원 조사연구비로 이루어 졌음.

that the changes of plasma norepinephrine level are inversely proportional to those of  $\dot{q}$  of the forepaw, and the changes of epinephrine level are paralleled with those of the brachial  $\dot{Q}$ .

**Key Words:** Head-down tilt, Weightlessness, Carotid blood flow, Plasma catecholamines, Skin blood flow

## 서 론

두부하위(-6°)는 혈액을 두부 및 흉곽 등 체중심부로 이동시키며(Blomqvist & Stone, 1983), 우주 비행시 무중력의 상태와 거의 유사한 생체내 심장혈관계의 혈력학적 변동을 초래하므로 무중력의 모의 실험으로 실험실내에서 자주 이용되고 있다(Nixon et al, 1979). 현재까지 모의무중력 상태에서의 연구는 주로 동맥혈압, 심박수 및 심박출량 등의 심장혈관계의 혈력학적 변동(London et al, 1983; Löllgen et al, 1984; Tomaselli et al, 1987; Chae et al, 1989)과 폐용적의 변동(Loepky et al, 1987; Chae et al, 1989) 등 주로 심폐기능의 변동에 관해 많은 연구가 진행되어 왔으나, 조기변동을 관찰한 연구 보고서 그 결과는 체위변동의 각도, 관찰기간에 따라 보 고자들마다 차이가 있다.

인체에서 혈액을 말초에서 체중심부로 이동하거나 혹은 체중심부에서 말초로 이동시켜서 상지의 말초혈류의 변동을 관찰한 연구에서, 말초혈관 반응이 경동맥동 및 대동맥궁의 동맥압력수용체와 좌우 심방, 좌심실 및 폐정맥동의 심폐압력수용체에 따

라 차이가 있으며, 말초혈류의 변동은 신체부위에 따라서 차이가 있다(Roddie & Shepherd, 1958; Greenfield, 1964; Rowell, 1986). 그리고 모의무중력 상태인 두부하위에서 동맥혈류와 피부미세순환을 동시에 측정하여 비교한 보고는 희소한 실정이다.

본 실험에서는 개를 대상으로 복와위에서 -6° 두부하위로 체위변동시 동맥혈압 및 심박수 등의 심장혈관계의 혈력학적 변동과 함께 침습적인 방법을 통해 동맥혈류를 직접 측정하여 피부미세혈류의 변동과 비교하며, 동시에 혈장 catecholamine 농도를 측정함으로써 모의무중력 상태에서 비교적 조기에 야기되는 말초혈관의 동태 및 생리적 조절기전을 규명하고자 하였다.

## 실 험 방 법

실험은 체중 8~14 kg의 성견 10마리를 대상으로 암수 구별없이 실시하였고, thiopental sodium을 15 mg/kg로 하지의 복제정맥에 주사하고 경사대에 먼저 양와위로 고정시킨 후 nembutal을 30 mg/kg로 정주하여 마취시켰다. 체위변동은 동물 경사대를

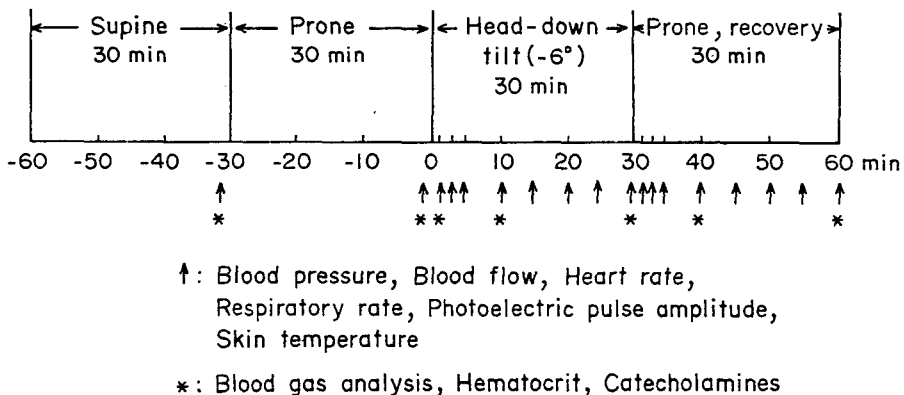


Fig. 1. Experimental protocol for the time of measurements before, during and after head-down tilt at -6° in anesthetized dogs.

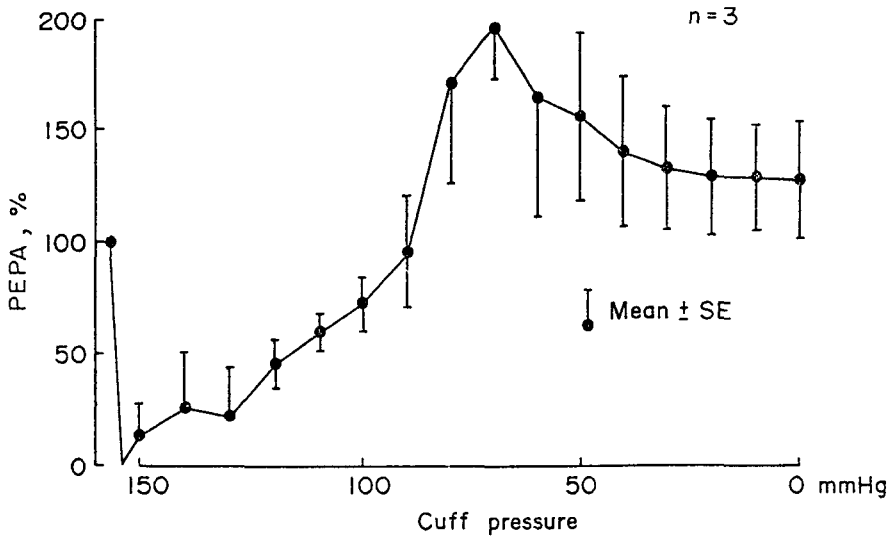


Fig. 2. Calibration of percent changes of photoelectric pulse amplitude (PEPA) on the forepaw according to graded external compression pressure by using the blood pressure cuff over the brachium of dogs.

이용하여 Fig. 1에서와 같이 양와위에서 시작해서 복와위, -6° 두부하위 그리고 두부하위후 복와위로 하였으며, 각 체위에서 30분간 유지하였다. 동맥혈류량은 수술로써 좌측 총경동맥 및 우측 상완동맥을 노출시킨 후 각 혈관의 직경에 맞는 2~2.5 mm의 electromagnetic flow transducer를 장치하여 측정하였다. 동맥혈압은 좌측 상완동맥에 카테테르를 삽입하여 Narco Bio-Systems사의 pressure transducer로, 심박수 및 호흡수는 각각 심전도 및 impedance pneumograph로 측정하였다.

피부미세혈류량은 Narco Bio-Systems사의 physiograph를 사용하여 forelimb(전지)의 paw(족척부)에 광전맥박측정계를 부착시켜 광전맥박과교를 계산하여 복와위에 대한 백분율로 표시하였으며, 피부온도는 광전맥박측정계가 부착된 부위와 인접한 부위에 thermistor probe를 장치하여 측정하였다. 그리고 동·정맥혈을 상완동맥과 외경정맥에서 각각 채혈하여 pH, Po<sub>2</sub> 및 Pco<sub>2</sub>는 Instrumentation Laboratory사의 혈액가스분석기(IL 813)로, 적혈구용적(hematocrit)은 Clay Adams사의 microhematocrit centrifuge로 측정하였다. 혈장 catecholamine 농도는 상완동맥에서 채혈하여 혈장을 분리한 후 4주 이내에 Peuler 및 Johnson(1978)의

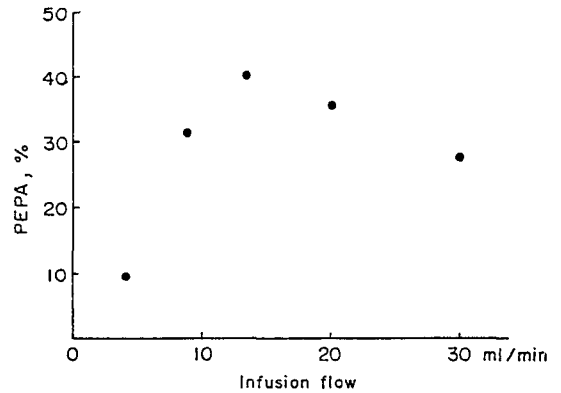


Fig. 3. Calibration of percent changes of photoelectric pulse amplitude (PEPA) on the forepaw according to the changes of infusion blood flow of brachial artery by using the infusion pump.

방사성효소측정법으로 측정하였으며, 측정시까지 혈장을 -70°C에 보관하였다.

양와위에서 복와위로 그리고 복와위에서 -6° 두부하위로 체위를 변동시키기 직전에 각각 양와위 안정치 및 복와위 안정치를 측정하였고, 두부하위 및 두부하위후 복와위에서 1분, 3분 및 5분 그리고 이후 5분 간격으로 수축기 및 확장기동맥압, 동맥혈류

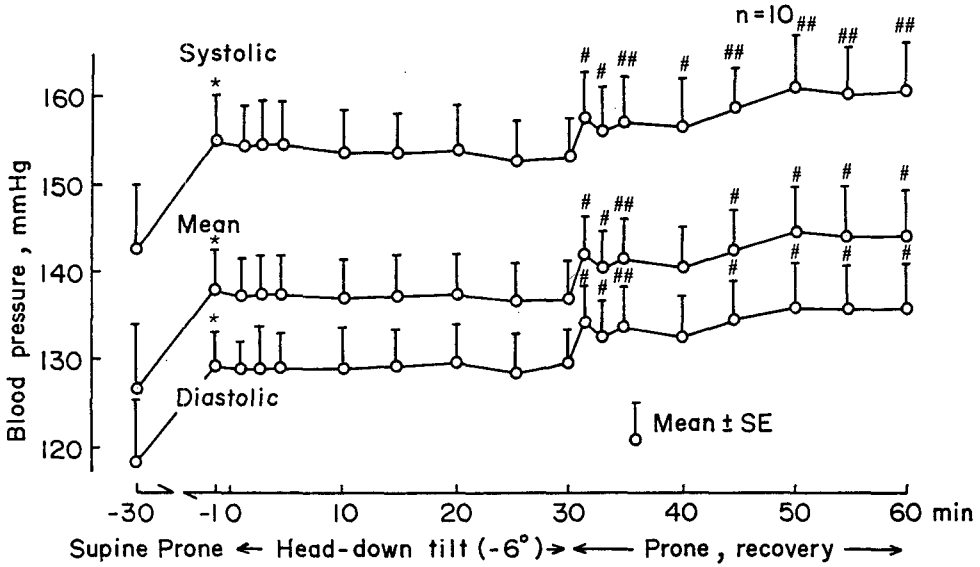


Fig. 4. Changes of systolic, mean and diastolic blood pressure before, during and after head-down tilt (HDT) at  $-6^\circ$  in anesthetized dogs. \* $p < 0.05$  compared to the value of supine; # $p < 0.05$ , ## $p < 0.01$  compared to the value at 30 min of HDT ( $-6^\circ$ ).

량, 심박수, 호흡수 및 피부미세혈류량을 측정하였다. 평균동맥압은 확장기동맥압에 맥압의 1/3을 더하여 계산하였으며, 두부 및 전지의 말초혈관저항은 평균동맥압에서 총경동맥 및 상완동맥의 혈류량을 각각 나누어 계산(Chae et al, 1973)하였다. 또한 양와위 및 복와위 그리고 두부하위 1분, 10분 및 30분, 두부하위후 복와위 10분 및 30분에 pH,  $P_{O_2}$ ,  $P_{CO_2}$ , hematocrit 및 혈장 catecholamine 농도를 측정하였다.

광전맥박파고의 미세혈류량과의 비례관계를 알아보기 위하여 실시한 족척부의 광전맥박파고의 백분율변화와 상완동맥폐쇄압력(Renkin, 1984)의 상관관계는 Fig. 2와 같으며, 또한 infusion pump에 의한 실지 상완동맥의 자가혈액주입량과 광전맥박파고의 상관관계는 Fig. 3과 같다(Turner et al, 1937). 즉 상완동맥의 정상혈류량인 17 ml/min에서는 비례관계가 있었다.

이상의 실험에서 얻은 성적은 통계 처리하여 평균과 표준오차로 표시하였고, 양와위에 대한 복와위, 복와위에 대한 두부하위, 그리고 두부하위 30분에 대한 두부하위후 복와위의 평균치 차이의 유의성을 paired Student t-test로 표시하였다.

### 실험 성적

양와위에서 복와위 그리고 두부하위 및 두부하위 후 복와위로 체위변동시 수축기, 확장기 및 평균동맥압의 변동은 Fig. 4에서와 같다. 양와위에서 복와위로 체위변동시 평균동맥압은  $126.5 \pm 7.3$  mmHg에서  $137.9 \pm 4.7$  mmHg로 유의하게 ( $p < 0.05$ ) 증가하였으며 두부하위로 체위변동시 복와위에 비해 유의한 변동은 없었다. 두부하위후 복와위에는 두부하위 30분의  $137.0 \pm 4.4$  mmHg에 비해  $141.9 \pm 4.3$  mmHg로 유의하게 ( $p < 0.01$ ) 증가하였으며 그 이후 계속 증가되어 유지되었다. 또한 두부하위로 체위변동시 수축기 동맥압은 약간 감소하는 경향은 있었으나 유의한 변동은 아니었다. 양와위에서 복와위, 두부하위 그리고 두부하위후 복와위로 체위변동시 수축기 및 확장기동맥압의 변동은 평균동맥압의 변동과 동일한 양상을 보였다.

체위변동시 총경동맥 및 상완동맥혈류의 변동은 Fig. 5에서와 같다. 총경동맥혈류는 양와위에서 복와위로 체위변동시  $68.0 \pm 11.5$  ml/min에서  $105.7 \pm 19.9$  ml/min로 유의하게 ( $p < 0.05$ ) 증가하였고, 두부하

-체의엽 의 3인 : 두부하위(-6°)로의 체위변동이 말초혈류에 미치는 영향-

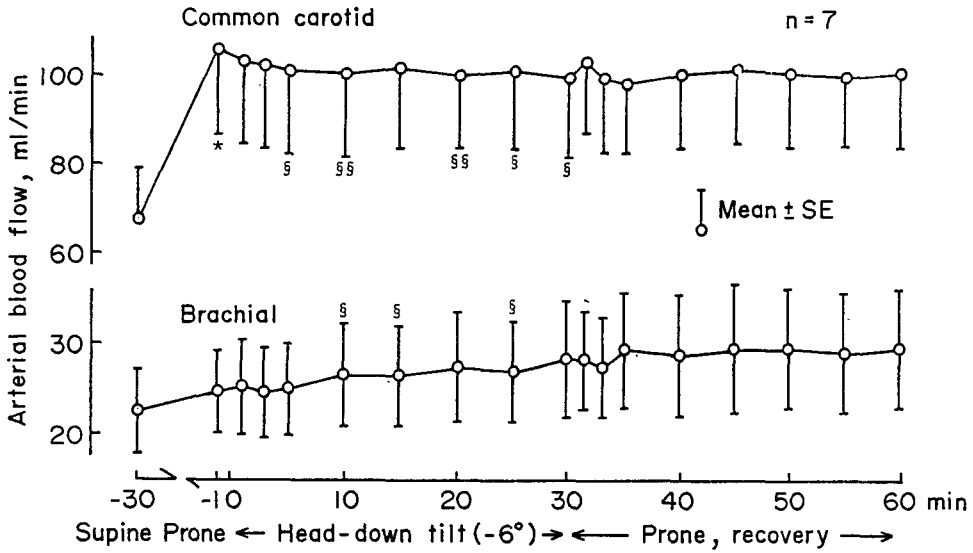


Fig. 5. Changes of arterial blood flow through common carotid and brachial artery before, during and after head-down tilt at  $-6^\circ$  in anesthetized dogs. \* $p < 0.05$  compared to the value of supine: § $p < 0.05$ , §§ $p < 0.01$  compared to the value of prone.

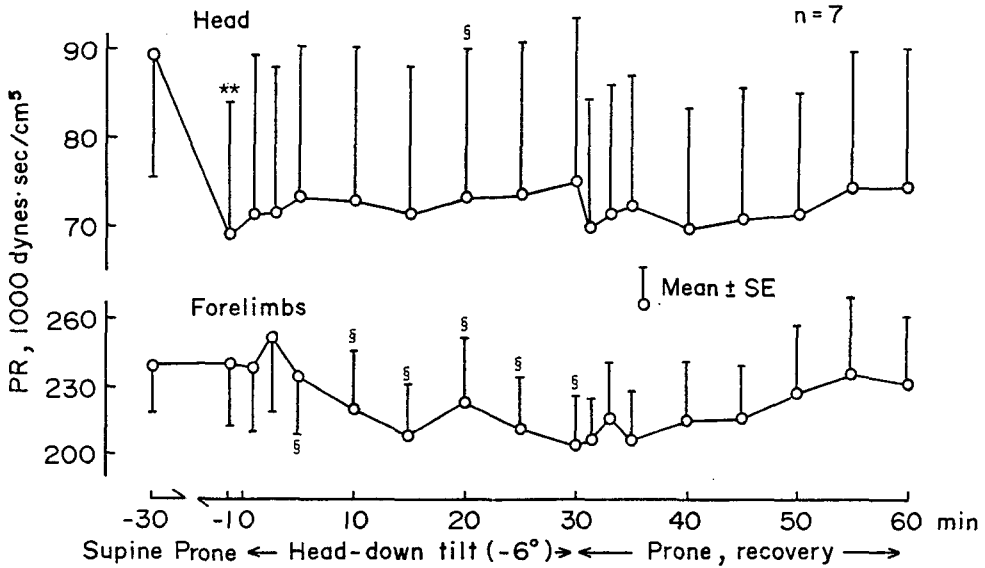


Fig. 6. Changes of peripheral vascular resistance (PR) of head and forelimbs before, during and after head-down tilt at  $-6^\circ$  in anesthetized dogs. \*\* $p < 0.01$  compared to the value of supine: § $p < 0.05$  compared to the value of prone.

위에서는 복와위에 비해 감소( $p < 0.05$ )하였으며 두부하위후 복와위에서는 두부하위 30분에 비해 유의한 변동은 없었다. 상완동맥혈류는 양와위에서 복와위로 체위변동시  $22.9 \pm 4.5$  ml/min서  $24.7 \pm 4.5$

ml/min로 유의한 변동은 없었고, 두부하위에서는 10분, 15분 및 25분에 복와위에 비해 유의하게( $p < 0.05$ ) 증가하였다. 두부하위후 복와위에서는 두부하위 30분에 비해 유의한 변동은 없었다.

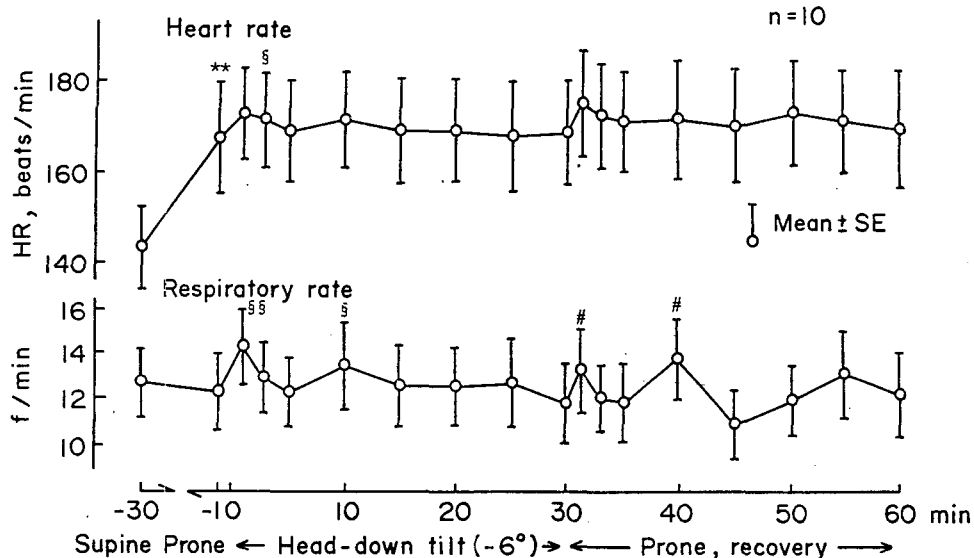


Fig. 7. Changes of heart rate (HR) and respiratory rate (f) before, during and head-down tilt (HDT) at  $-6^\circ$  in anesthetized dogs.  $**p < 0.01$  compared to the value of supine;  $§p < 0.05$ ,  $§§p < 0.01$  compared to the value of prone;  $\#p < 0.05$  compared to the value at 30 min of HDT ( $-6^\circ$ ).

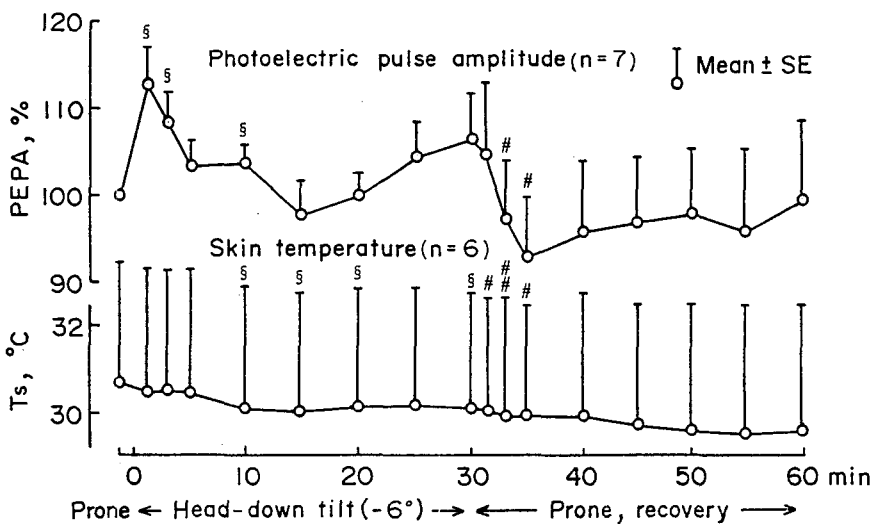


Fig. 8. Changes of photoelectric pulse amplitude (PEPA) and skin temperature ( $T_s$ ) of the forepaw before, during and after head-down tilt (HDT) at  $-6^\circ$  in anesthetized dogs.  $§p < 0.05$  compared to the value of prone;  $\#p < 0.05$ ,  $##p < 0.01$  compared to the value at 30 min of HDT ( $-6^\circ$ ).

체위변동시 두부 및 전지의 말초혈관저항의 변동은 Fig. 6에서와 같이 두부의 말초혈관저항은 양와위에서 복와위로 체위변동시 감소 ( $p < 0.01$ )를 하였고, 두부하위시에는 복와위에 비해 증가되어 유지

되었으며, 두부하위후 복와위에서는 두부하위 30분에 비해 초기에 약간 감소되는 값을 보였으나 서서히 증가하는 경향이였다. 전지의 말초저항은 두부하위로 체위변동시 초기에 약간 증가하였으나 5분

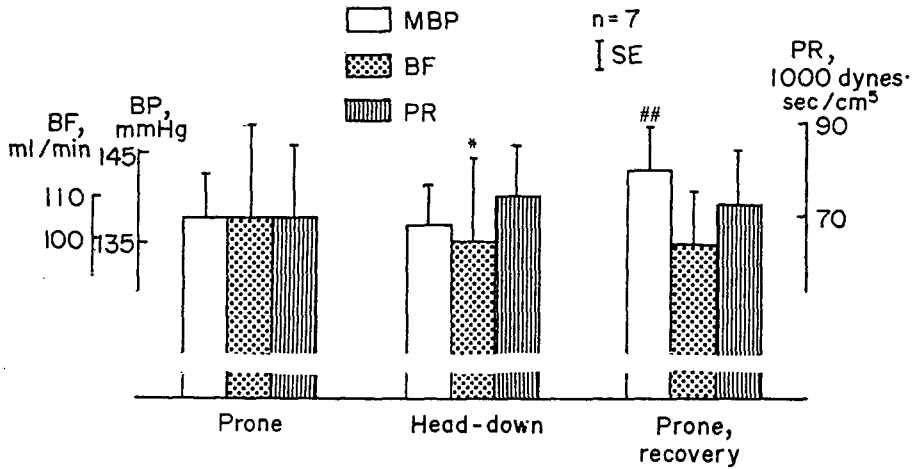


Fig. 9. Changes of mean blood pressure (MBP), and both blood flow (BF) and peripheral vascular resistance (PR) through the head in each position. These values represent the mean values obtained at every five minutes from 10 to 30 min of head-down and recovery prone position: \*p < 0.05 compared to the value of prone: ##p < 0.01 compared to the value of head-down position.

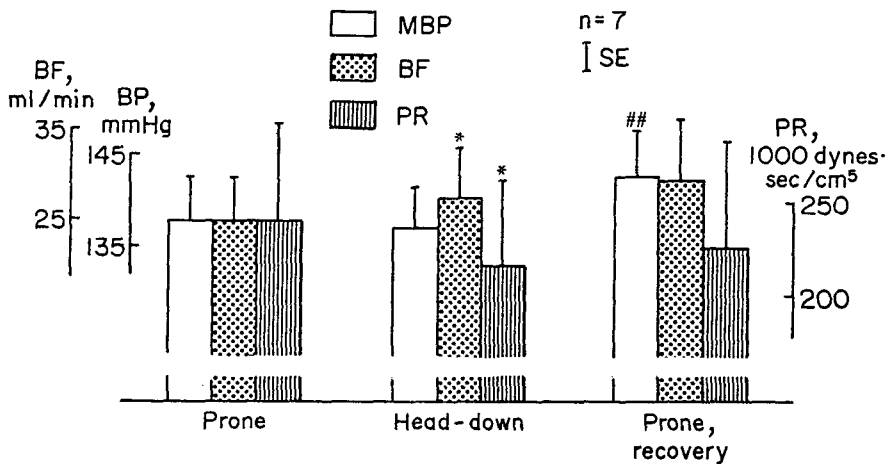


Fig. 10. Changes of mean blood pressure (MBP), and both blood flow (BF) and peripheral vascular resistance (PR) through the forelimbs in each position (See Fig. 9. for legend).

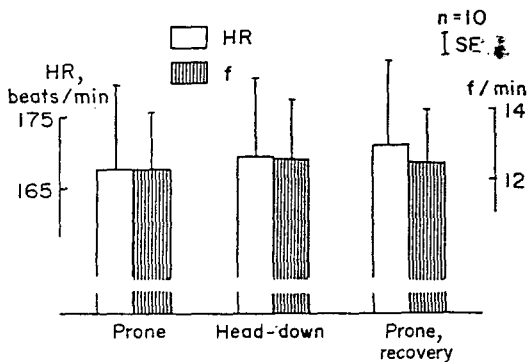


Fig. 11. Changes of heart rate (HR) and respiratory rate(f) in each position (See Fig. 9. for legend).

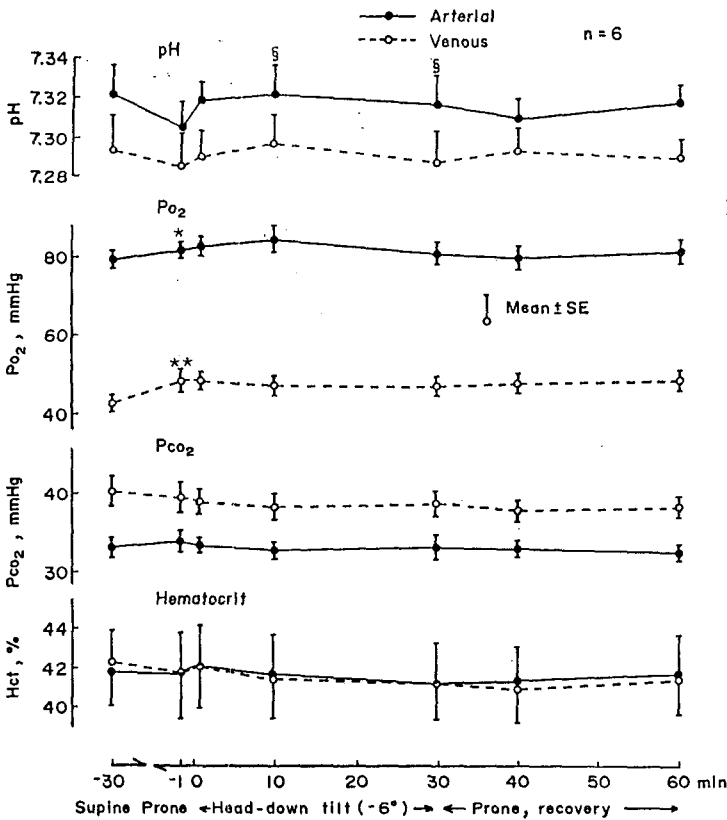


Fig. 12. Changes of pH, Po<sub>2</sub>, Pco<sub>2</sub>, and hematocrit of arterial and venous blood before, during and after head-down tilt at -6° in anesthetized dogs. \*p<0.05, \*\*p<0.01 compared to the value of supine: §p<0.05 compared to the value of prone.

이후에 유의한(p<0.05) 감소를 보였으며, 두부하위후 복와위에는 초기에 약간 증가하였으며 대체로 두부하위 30분에 비해 증가하는 경향을 보였다.

체위변동시 심박수 및 호흡수의 변동은 Fig. 7에서와 같다. 심박수는 양와위시 분당 143.4±9.5회에서 복와위로 체위변동시에는 분당 167.6±12.5회로 유의하게(p<0.01) 증가하였으며, 두부하위로 체위변동시 초기에 증가하여 3분에 유의한(p<0.05) 증가를 보였고 그 이후 서서히 회복되는 경향을 보였다. 두부하위후 복와위에서 1분에 유의하지는 않으나 분당 175.4±10.5회로 두부하위 30분의 분당 169.3±11.5회에 비해 증가하였으며, 이후 약간 높은 값을 유지하였다. 호흡수는 양와위에서 복와위로 체위변동시 유의한 변동은 없었고, 두부하위 1분에 유의하게(p<0.01) 증가하였다. 두부하위후 복와위에서는 1분 및 10분에 두부하위 30분에 비해 유의한(p<0.05) 증가를 보였다.

체위변동시 피부미세혈류의 변동은 Fig. 8에서와

같으며 복와위에 대한 백분율로 표시하였다. 두부하위로 체위변동 1분 및 3분에 유의하게(p<0.05) 증가하였으며, 이후 서서히 감소하였으나 복와위에 비해서는 증가된 값을 보였다. 두부하위후 복와위에서는 초기에 감소하기 시작하여 3분 및 5분에 두부하위 30분에 비해서 유의하게(p<0.05) 감소하였고, 그 이후 서서히 회복되는 경향을 보였으나 복와위 30분에 비해 낮은 값으로 유지되었다. 피부온도는 전 체위변동 동안에 서서히 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 9~11은 복와위의 안정치와 두부하위 및 두부하위후 복와위에서 10분에서 30분 사이의 평균동맥압, 동맥혈류, 말초혈관저항 그리고 심박수 및 호흡수의 변동을 평균하여 막대그림으로 표시하였다. 복와위에서 두부하위로 체위변동시 동맥혈압은 유의한 변동이 없었다. 총경동맥혈류는 유의하게(p<0.05) 감소하였고, 두부의 말초저항은 증가하였다. 두부하위후 복와위에서 동맥혈압은 두부하위에 비



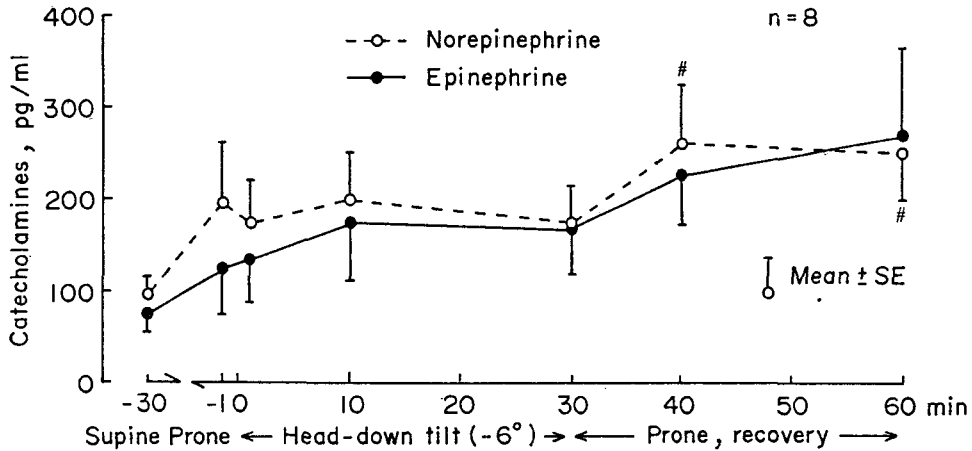


Fig. 13. Changes of plasma catecholamine levels before, during and after head-down tilt (HDT) at  $-6^\circ$  in anesthetized dogs. # $p < 0.05$  compared to the value at 30 min of HDT ( $-6^\circ$ ).

해 유의하게 ( $p < 0.01$ ) 증가하였으나 총경동맥혈류 및 두부의 말초혈관저항은 유의한 변동이 없었다. 상완동맥혈류는 복와위에서 두부하위로 체위변동시 유의하게 ( $p < 0.05$ ) 증가하였고, 전지의 말초혈관저항은 유의하게 ( $p < 0.05$ ) 감소하였다. 두부하위후 복와위에서 상완동맥혈류 및 전지의 말초혈관저항은 유의한 변동이 없었다. 심박수 및 호흡수는 두부하위 및 두부하위후 복와위에서 약간 증가하였으나 유의한 변동은 없었다.

체위변동시 동·정맥혈의 pH,  $PO_2$ ,  $P_{CO_2}$  및 hematocrit의 변동은 Fig. 12에서와 같다. 동·정맥혈의 pH는 두부하위로 체위변동시 10분 및 30분에 유의하게 ( $p < 0.05$ ) 증가하였다. 동·정맥혈의  $PO_2$ 는 양와위에서 복와위로 체위변동시 유의하게 ( $p < 0.05$ ) 증가하였으며 두부하위시 증가한 후 회복되는 경향을 보였으나 유의한 변동은 없었고  $P_{CO_2}$ 는 전 실험에서 서서히 감소하는 경향을 보였다. Hematocrit는 양와위에서 복와위로 체위변동시 약간 감소하였으며 두부하위시 초기에 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 보였으나 체위변동 동안에 모두 유의한 변동은 없었다.

체위변동시 혈장 catecholamine 농도의 변동은 Fig. 13에서와 같다. 양와위에서 복와위로 체위변동시 혈장 norepinephrine 농도는  $96.2 \pm 19.6$  pg/ml에서  $197.5 \pm 68.6$  pg/ml로 그리고 혈장 epinephrine 농도는  $77.4 \pm 21.3$  pg/ml에서  $126.3 \pm 50.8$  pg/ml로 증

가하였으나 유의한 변동은 아니었다. 두부하위로 체위변동시 유의한 변동은 없었으나 혈장 norepinephrine이 두부하위 1분 및 30분에 평균적으로 약간 감소하였다. 두부하위후 복와위에는 혈장 norepinephrine 농도는 두부하위 30분에 비해 유의한 ( $p < 0.05$ ) 증가를 보였으며, 혈장 epinephrine 농도는 유의하지는 않으나 계속 증가하는 경향을 보였다.

## 고 찰

두부하위로의 체위변동은 무중력의 모의실험으로 이용되고 있으며, 관찰기간과 체위변동의 각도는 다양하게 연구되어 왔다. 두부하위 초기에 나타나는 생리적 변동은 혈액이 하지로부터 체중심부로 이동됨으로써 하지용적이 감소되고 중심정맥압 및 흉곽내 혈액량이 증가되는 현상은 여러 연구 결과 (Nixon et al, 1979; Blomqvist & Stone, 1983; Tomasselli et al, 1987)에서 보고된 바가 있다. 그러나 두부하위로 체위변동함에 따른 체중심부의 혈액이동에 대한 조기의 생체내 조절반응과 혈액이 재분포되는 과정에서 야기되는 조기의 심장혈관계의 혈력학적 반응에서 유의한 변동이 없다는 보고가 많다 (Nixon et al, 1979; Löllgen et al, 1984).

본 실험의 두부하위 초기에 동맥혈압에는 거의 변동이 초래되지 않고 심박수가 증가한 것은 두부하위에 따른 하지로부터의 정맥환류량이 증가되어 대정

맥과 우심방의 접합부 혹은 폐정맥과 좌심방의 접합부에 위치한 심폐압력수용체가 신전됨에 따라 생긴 Bainbridge 반사(Bishop et al, 1983)에 의해 빈맥이 초래된 것으로 사료된다. 개에 비해서 인체에서는 정맥환류량의 증가에 의한 Bainbridge 반사가 적으며(Rowell, 1986), 심박수의 변동에 미치는 심폐압력수용체의 영향이 적으므로(Bishop et al, 1983), 본 실험에서의 심박수 증가는 인체에서  $-6^{\circ}$  두부하위시 심박수의 변동이 없었거나 혹은 감소하였다는 보고들(London et al, 1983; Löllgen et al, 1984; Tomaselli et al, 1987)과 차이가 있는 것으로 생각된다. 그리고 두부하위시 평균동맥압이 약간 감소하는 경향을 보인 것이 심박수의 증가에 영향을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 두부하위시 수축기동맥압이 감소하는 경향은 심근의 산소섭취량과 관상동맥 순환사이의 불균형으로 심근수축력이 감소되고(Loeppky et al, 1987), 우심실의 압력증가에 의한 상대적인 좌심실기능의 감소(Katkov et al, 1979)에 의해 생길 수 있다고 하였으나 본 실험에서는 유의한 변동은 아니었다.

Loeppky등(1987)은 20분 동안의  $-30^{\circ}$  두부하위시 동맥혈의  $P_{CO_2}$ 의 증가에 따른 총경동맥의 말초혈관저항의 감소가 있었지만 총경동맥혈류는 평균 6% 감소하였다고 보고하였다. Abel등(1963)은 개의 양와위에서  $-30^{\circ}$  두부하위시 10분 동안에 동맥혈압은 약 3%, 총경동맥혈류량은 10% 감소하였으며, 압력수용체의 정수압이 증가됨에 따라 두부쪽의 피부 및 근육의 혈관은 확장될 것이므로 총경동맥혈류의 감소는 뇌순환혈류의 감소를 의미한다고 보고하였다. Song등(1987)은 개를 대상으로 양와위에서  $-6^{\circ}$  두부하위로 체위변동시 30분 동안의 관찰에서 총경동맥혈류가 점진적으로 감소한 것은 장시간 동안 양와위로 있음에 따라 지속적인 전체순환혈액량의 감소가 초래되어 나타난 결과라 하였다.

그러나 Abel등(1963)의 보고는  $-30^{\circ}$  두부하위로써 두부쪽에서 심장으로 정맥환류가 장애를 받아 두부의 혈액저류(Coonan & Hope; 1983)가 있었던 것으로 보이며, Loeppky등(1987)의 보고에서 두부하위시 동맥혈의  $P_{CO_2}$  증가가 뇌혈관의 확장요인으로 작용했을 것임에도 불구하고, 총경동맥혈류가 감소된 것은 두부의 혈액저류에 의한 결과로 생각된다.

본 실험에서 두부로의 혈액저류는 위 보고들에 비해 적을 것으로 생각되며, 아마도 증가한 중심성 혈액량에 반응하여 두부로의 혈류를 일정하게 유지하기 위한 총경동맥의 반사적 혈관수축에 따라 총경동맥혈류가 약간 감소한 것으로 사료된다. 또한 Katkov 등(1979)은 동맥혈의  $P_{CO_2}$  감소는 뇌혈관의 수축을 야기하여 뇌의 혈류가 유의하게 증가되는 것을 방지한다고 하였다. 따라서 본 실험의 두부하위시 유의하지는 않았지만 동맥혈의  $P_{CO_2}$  감소 및  $PO_2$  증가의 효과로 비록 총경동맥혈류가 약간 감소되었지만 뇌로의 산소공급에는 큰 영향이 없었을 것으로 보이며, 뇌순환은 비교적 잘 조절된 것으로 추측된다.

동시에 측정된 상완동맥혈류는 동일한 동맥혈압에서 총경동맥과는 달리 증가하였고, 전지의 말초혈관저항은 감소하였다. 동맥압력수용체는 주로 내장혈관에 영향을 주는 반면에 심폐압력수용체는 전박혈관에 영향을 주며(Bishop et al, 1983; Berne & Levy, 1986), 심폐압력수용체의 자극에 따른 혈관반응의 정도는 인체와 동물에서 다소 차이(Rowell, 1986)가 있을 것이지만, 본 실험에서는 두부하위로의 체위변동에 따라 증가된 중심성 혈액량에 대해 뇌로의 혈류는 비교적 잘 조절되면서 심폐압력수용체의 감압반사로 말초혈관저항이 감소되어 심장위치에 있는 상완동맥의 혈류가 증가하게 된 것으로 사료된다. 그리고 두부하위시 증가된 혈장 epinephrine이 골격근의 혈관확장(Neil, 1983; Roddie, 1983)을 초래하여 말초혈관저항이 감소되어 전지로 가는 혈류가 증가한 것으로 사료된다.

Beaconsfield 및 Ginsberg(1955)는 인체에서 기립위에서 양와위로 체위변동시 손의 혈류가 초기에만 증가하였고 즉시 회복되는 결과를 보인 것으로 보아 압력수용체에 의한 혈압 및 순환조절에 있어서 손의 혈류의 변동은 유의한 영향을 미치지 않는다고 하였다. 양와위에서 하지를 수동적으로 올림으로써 동맥혈압에는 변동없이 심폐압력수용체만 선택적으로 자극한 Roddie 및 Shepherd(1958)의 실험에서 전박에는 혈관확장이 있었으나 손의 혈류는 변동이 없었으며, 전박의 혈관확장도 그 장소가 피부가 아니라 근육이라고 하였다. 그렇지만 Rowell(1986)은 동맥혈압에 변동이 없는 낮은 압력의 하체음압장치에서 심폐압력수용체는 전박의 골격근과 피부에서

똑같이 혈관수축반응을 보인다고 하였다. McNamara 등(1969)은 하체음압을 증등도로 가하면 손의 피부혈류가 초기에만 일시적으로 감소한다고 보고하였다.

인체에서 심폐압력수용체 반사의 주요 표적장기는 피부와 근육이며, 반면에 개에서는 주로 신장 및 내장이고 피부와 근육에 대한 효과는 미미하다 (Johnson et al, 1974)고는 하였지만, 본 실험에서 두부하위로 체위변동시 족척부의 피부미세혈류는 유의하게 증가하였으며 이후 감소하였으나 대체로 증가된 값을 보였다. 두부하위 초기의 피부미세혈류의 증가는 심폐압력수용체의 신전에 의한 감압반사로 인해 교감신경계의 혈관긴장도가 감소되어 혈관확장이 초래된 결과로 생각되며, 본 실험의 두부하위 1분에 혈장 norepinephrine 농도가 약간 감소된 값을 보인 것과 일치되는 소견이다. 그리고 두부하위 30분에 혈장 norepinephrine 농도는 복와위에 비해 약간 감소하였고, 이 시기의 족척부 피부미세혈류의 증가와 일치되는 반응을 보였다. 두부하위 초기에 족척부 피부미세혈류가 증가한 후 서서히 감소되는 경향을 보인 것은 압력수용체에 의한 손의 혈관반응이 초기에 일시적으로 나타난다는 보고 (McNamara et al, 1969)와 일치된다.

pH,  $P_{O_2}$  및  $P_{CO_2}$ 는 호흡조절에 중요한 역할을 하며, 국소적으로는 혈관확장이  $P_{CO_2}$ 가 높고  $P_{O_2}$  및 pH가 낮은 상태에서 초래되지만, 동맥혈의  $P_{CO_2}$ 가 감소하고 pH가 증가하면 혈관운동중추의 흥분이 억제되어 말초혈관 저항을 감소시킨다 (Berne & Levy, 1986)는 효과도 두부하위시 족척부의 피부미세혈류의 증가에 일부 영향을 미친 것으로 생각된다. 인체에서 양와위에서 손의 위치를 수평위로 두고 하지를 수동적으로 올려서 심폐압력수용체를 자극한 결과 손의 혈류는 변동이 없었다 (Roddie & Shepherd, 1958)는 것과는 달리 본 실험에서 개의 복와위에서 두부하위로 체위변동시 족척부가 심장보다 약간 낮은 부위에 위치한 것이 수평위에서 관찰한 위의 보고와 다름으로 인해 이 요인이 족척부의 피부미세혈류의 증가에 한 요인으로 작용했을 것 인지는 분명치 않다. 개의 족척부는 인체의 손에 해당하는 부위로 피부온도의 점진적인 감소로 인한 피부혈관의 수축이 비교적 민감하게 생길 수 있는 부

위이며, 또한 상완동맥이 전지의 피부 뿐만 아니라 골격근과 다른 여러조직에 혈액을 공급하므로 인해 상완동맥혈류와 족척부의 피부미세혈류가 그 변동의 양상이 시간적으로 일치되는 비례적 관계를 보이지 않은 것으로 사료된다.

Abel 등(1963)은 개를 대상으로  $-30^\circ$ 의 두부하위에서 다시 수평위로 체위변동시 심박수, 동맥혈압 및 총경동맥혈류가 증가하였다고 보고했으며, Loepky 등(1987)은 인체에서 두부하위 ( $-30^\circ$ )에서 수평양와위로 체위변동함에 따라 평균동맥압 및 총경동맥혈류는 증가하였으나 심박수는 변동이 없었다고 하였다. 그리고 개를 대상으로  $-6^\circ$ 의 두부하위에서 수평위로 체위변동시 Song 등(1987)은 평균동맥압 및 심박수는 증가하였지만 총경동맥혈류는 변동이 없었다고 하였다.

본 실험에서 두부하위후 복와위에서 초기에 동맥혈압 및 심박수는 증가하였던 바 위의 보고들과 거의 일치되는 소견으로 수평위로 체위변동함에 따라 체하부로부터의 정맥환류가 상대적으로 감소하고, 두부하위시 점진적으로 조성된 압력수용체의 정수압이 소실됨에 따른 교감신경계활성의 증가에 의해 가압반사가 생긴 결과로 사료된다. 두부하위 ( $-30^\circ$ )에서 수평위로 체위변동시 총경동맥혈류가 증가하였다는 위의 보고들 (Abel et al, 1963; Loepky et al, 1987)은 본 실험의  $-6^\circ$  두부하위와는 체위변동의 각도가 다르며, 두부에서 심장으로 정맥환류의 장애가 있었던 상태에서 수평위로 체위변동함에 따라 혈액저류가 소실되고, 정맥환류가 촉진되어 총경동맥혈류가 증가한 것으로 생각된다. 그러나 본 실험에서는 30분 동안의  $-6^\circ$  두부하위시 위의 보고들에 비해서 두부쪽의 혈액저류가 존재하더라도 미미할 것으로 생각되며, 다시 복와위로 체위변동시 증가된 중심성 혈액량이 말초로 이동되는 것에 대해서 두부의 말초혈관저항이 감소한 결과로 두부하위 후 복와위 초기에 총경동맥혈류가 증가한 것으로 생각된다.

총경동맥혈류의 변동과 달리 상완동맥혈류는 초기에 약간 감소하고, 전지의 말초혈관저항은 증가하는 양상을 보였다. 이는 동맥혈압 및 심박수의 변동과 같이 교감신경계활성의 증가에 따른 반사적 혈관수축반응으로 사료된다.

두부하위후 복와위 초기에 족척부의 피부미세혈류가 유의하게 감소한 것은 상완동맥혈류의 일시적인 감소 및 전지의 말초혈관저항의 증가와 대체로 일치되는 소견으로 반사적 국소혈관수축에 의한 결과로 사료된다. 그러나 두부하위후 복와위에서 초기 이후에 계속 상완동맥의 혈류는 증가되어 유지된 반면에 족척부의 피부미세혈류는 초기에 감소한 후 대체로 복와위에 비해 낮은 값을 보여, 상완동맥혈류와 피부미세혈류사이의 혈류변동양상에 다소간 차이를 보였다. 이는 아마도 혈중 epinephrine 농도의 증가와 관계가 있는 것으로 생각되며, 부신수질에서 대부분이 분비되는 epinephrine은 골격근의 혈관은 확장시키고, 피부혈관에 대해서는 혈관수축작용을 한다(Roddie, 1983)는 점에서 차이가 있었던 것으로 사료된다. 또한 점진적인 피부온도의 감소로 보아 피부온도 감소에 따른 피부혈관의 수축반응이 epinephrine의 효과와 함께 나타난 결과로 사료된다.

본 실험에서 양와위에서 복와위로 체위변동시 동맥혈압 및 심박수는 증가하였으며, 총경동맥혈류는 증가하였고 두부의 말초혈관저항은 감소하였다. 개는 사람과 혈액분포의 차이(Rowell, 1986)는 있겠으나, 개를 양와위에서 복와위로 체위를 변동시키면 사람을 양와위에서 기립위로 체위를 변동시킬 때 나타나는 것과 같은 효과로 심장에 대한 압력수용체의 정수압이 감소되어 가압반사가 유발된 결과, 동맥혈압 및 심박수가 증가한 것으로 사료된다. 아울러 개에서 양와위에서는 두부의 위치가 심장과 수평 위치에 있지만, 복와위에서는 두부가 심장보다 약간 높은 위치에 있으므로 뇌로의 혈류를 일정하게 유지하기 위한 반응(Sandler et al, 1987)에 따라 총경동맥혈류가 증가되고, 두부의 말초혈관저항이 감소하는 반응을 보인 것으로 사료된다.

본 실험의 복와위에서 두부하위로 체위변동시 보인 심장혈관계의 혈력학적 반응은 개를 대상으로 양와위에서  $-6^{\circ}$  두부하위로 체위변동한 Song등(1987)의 보고와 비교시 두부하위 초기에 약간의 차이가 있었지만, 동맥혈압의 감소, 총경동맥혈류의 감소, 두부의 말초혈관저항의 증가 및 심박수 증가의 변동은 일치하였다. 양와위에서 복와위로 체위를 변동하면 기본적인 심장혈관계의 혈력학적 변동

은 있겠으나, 양와위에서나 혹은 복와위에서 두부하위( $-6^{\circ}$ )로 체위변동시 나타나는 두부하위에 의한 효과는 양자간에 대체로 동일한 양상을 보인 것으로 사료된다.

체위변동시 호흡수의 변동은 중력에 의한 내부장기 및 횡격막의 위치변동에 영향을 받으며(Park & Chae, 1987), 두부하위에서는 복강내부장기가 흉곽 방향으로 이동되어 폐용적은 감소되고(Kim, 1970), 폐장내의 점진적인 혈액량증가로 인해 상대적인 폐용적이 감소되어(Suh & Chae, 1971; Tomaselli et al, 1987) 호흡수가 증가된다고 하였다. 그리고 두부하위에서는 하지로부터 저산소성, 고이산화탄소성 혈액이 폐장으로 유입됨으로써 화학수용체가 작용하여 호흡수가 증가하며(Loeppky et al, 1987), 폐의 압축된 상태가 두부하위시 지속되는 것을 막기 위해 흡식기로 향하면서 빠르게 확장시키려는 반사작용으로 호흡수가 증가(Liu et al, 1970; Jun & Chae, 1979)한다고 하였다.

본 실험에서 두부하위시 하지로부터의 정맥환류량의 증가와 횡격막의 상승에 따른 폐용적의 감소에 대해서 반사적 작용으로 호흡수가 두부하위후 1분 내에 유의하게 증가한 것으로 사료된다.

두부하위시 동·정맥혈의 pH 증가, Pco<sub>2</sub> 감소 및 Po<sub>2</sub>의 증가는 호흡수의 증가에 따른 결과로 보인다. 두부하위시 동맥혈의 Po<sub>2</sub>는 증가하는 경향을 보였으나, 정맥혈의 Po<sub>2</sub>는 변동없이 유지된 것은  $-90^{\circ}$  두부하위시 산소섭취량이 증가하고(Chae et al, 1973),  $-15^{\circ}$  두부하위시 심근의 산소섭취량 및 뇌의 대사량이 증가한다(Katkov et al, 1979)는 보고로 보아 본 실험에서 직접 산소섭취량을 측정하지는 않았으나 이들 보고와 일치되는 소견으로 두부하위시 산소섭취량의 증가가 있었음을 추측할 수 있다.

Blomqvist 및 Stone(1983)은 두부하위( $-4^{\circ}$ ~ $-6^{\circ}$ ) 및 head-out water immersion시 6시간 이내에 약 350~500 ml의 혈액량 소실이 있다고 하였다. Gharib등(1988)은 좌위를 대조위로 해서  $-10^{\circ}$  두부하위로 체위변동시 1시간 이내에 혈장용적의 증가 및 hematocrit의 감소가 있었다고 보고하였다. 개를 대상으로  $-6^{\circ}$  두부하위에서 Song등(1987)은 체위변동의 정도가 미미하고 관찰기간이 짧았던 것으로 인해 hematocrit의 유의한 변동은 없었다고 하

였다. 본 실험에서도 hematocrit의 유의한 변동은 없었으며, 두부하위 30분에 약간 감소하는 경향을 보인 것은 두부하위에서 hematocrit가 증가 혹은 유의한 변동이 없었다는 보고(Park & Chae, 1987; Song et al, 1987)로 보아 Gharib등(1988)의 보고와 같이 간질액이 혈관내로 이동되어 생긴 결과로 보기에는 어려움이 있다.

혈장 catecholamine 농도는 교감신경-부신계활성의 지표로(Hjemdahl, 1984), 혈장 renin 활성화와 혈액량조절에 관여하는 aldosterone 및 ADH 등과 함께 모의무중력 상태에서 심장혈관계의 혈력학적 변동에 대한 생체내 조절기전을 규명하려는 연구에 자주 이용되고 있다(Löllgen et al, 1984; Pequignot et al, 1985; Song et al, 1987; Yoon et al, 1987). 지금까지 인체에서 두부하위시 1시간 이내의 혈장 catecholamine 농도의 조기변동은 대체로 크지 않다고 보고하였다(Goldsmith et al, 1985).

Landsberg 및 Young(1987)은 안정시 인체에서의 혈장 norepinephrine 및 epinephrine 농도는 각각 150~350 pg/ml 및 25~50 pg/ml로 하였고, Bennington(1984)은 각각 104~548 pg/ml 및 88 pg/ml 이하로 보고하였다. 그리고 Bridle등(1983)은 마취한 개에서 각각  $98 \pm 5$  pg/ml 및  $75 \pm 7$  pg/ml라 하였다. 본 실험의 양와위에서는 각각  $96.2 \pm 19.6$  pg/ml 및  $77.4 \pm 21.3$  pg/ml로 Bridle등(1983)의 보고와 거의 일치하는 안정된 값을 보였고, 복와위에서는  $197.5 \pm 68.6$  pg/ml 및  $126.3 \pm 50.8$  pg/ml로 약간 높은 값을 보였다. 양와위에 비해 복와위에서 혈장 catecholamine 농도가 약간 높은 값을 보인 것은 양와위에서 복와위로 체위를 변동함에 따라 전체적인 교감신경계활성이 증가한 결과로 사료된다.

Norepinephrine은 주로 말초혈관저항을 증가시켜 동맥혈압을 증가시키고, epinephrine은 평균동맥압에는 별다른 변동없이 심박출량을 증가시키며 피부 및 신장의 혈관은 수축시키고 골격근 및 내장의 혈관에 대해서는 말초혈관저항을 감소시킨다(Rowell, 1986). 본 실험에서 두부하위시 1분 및 30분에 복와위에 비해 평균적으로 혈장 norepinephrine 농도가 감소하였고 두부하위시 대체로 낮은 값을 보였으며, 이런 변동은 동맥혈압의 변동과 비슷한 경향을 보였고 특히 족척부 피부미세혈류의 변동과 시간적

으로 일치되는 결과를 보였다. 그리고 혈장 epinephrine 농도의 증가는 심박수 및 상완동맥혈류의 증가와 전지의 말초혈관저항의 감소에 영향을 미친 것으로 사료된다. 총경동맥혈류는 혈장 catecholamine 농도의 변동과는 비교적 관계가 적은 것으로 생각되며, 대체로 일정하게 조절된 것으로 추측된다.

혈장 norepinephrine 농도가 두부하위후 복와위시 계속 증가되어 유지된 것은 두부하위시 조성된 압력수용체에 대한 정수압의 감소가 교감신경계활성을 증가시킨 결과로 사료된다. 그러나 압력수용체의 조절에 의한 부신수질의 catecholamine 분비효과가 미약하다(Fater et al, 1983)는 점에서, 혈장 epinephrine 농도가 증가하여 유지된 것은 두부하위로 체위변동한 것이 실험동물에게 다소 stress 요인으로 작용하였거나(Yoon et al, 1987), 혹은 실험시작부터 비교적 장시간 동안 음식을 섭취하지 못한 상태에서 점진적으로 저혈당증이 야기됨에 따라 epinephrine 분비가 증가(Rowell, 1986)할 수 있을 것으로 보이며, 실험동물을 마취한 상태에서 수술을 시행한 후 실험한 결과로 인해(Song et al, 1987) 그 효과가 일부 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 두부하위후 복와위에서 교감신경계활성의 증가에 따른 혈장 norepinephrine 농도의 증가와 여러가지 요인으로 인하여 혈장 epinephrine 농도가 증가됨에 따라서 동맥혈압 및 상완동맥혈류가 증가되어 유지된 것으로 사료된다.

## 결 론

무중력의 모의실험인 -6° 두부하위에서 개를 대상으로 심장혈관계의 혈력학적 변동 및 말초혈류의 변동과 함께 혈장 catecholamine 농도의 변동을 관찰함으로써 무중력 상태에서 비교적 초기에 야기되는 말초혈관의 동태와 생리적 조절기전을 규명하고자 하였다.

복와위에서 -6° 두부하위로 체위변동시 모의무중력 상태에서 동맥혈압은 유의한 변동이 없었고, 심박수는 초기에 유의하게 증가하였다. 총경동맥혈류는 감소하였으며, 두부의 말초혈관저항은 약간 증가하였다. 상완동맥혈류는 증가하였고 전지의 말초혈관저항은 감소하였다. 족척부의 피부미세혈류

는 초기에 유의하게 증가하였으며 이후 약간 감소하였으나 대체로 증가된 값을 보였다. 호흡수는 초기에 증가하였고 이후 약간 증가된 경향을 보였다. 동맥혈의 pH는 증가하였으며, 동·정맥혈의  $PO_2$ 는 약간 증가하였고  $Pco_2$ 는 감소되는 경향을 보였다. 혈장 norepinephrine 농도는 두부하위 1분 및 30분에 약간 감소하였으며, 혈장 epinephrine 농도는 약간 증가하였다.

이상의 결과로 보아  $-6^\circ$  두부하위에서는 정맥환류량의 증가에 따른 Bainbridge 반사에 의해 심박수가 증가하였으며, 심폐압력수용체의 신전에 의한 감압반사로써 전지의 말초혈관저항의 감소와 상완동맥혈류의 증가 그리고 족척부 피부미세혈류의 증가가 있는 것으로 보인다. 복와위에서 두부하위의 체위변동에서 뇌로의 혈류는 비교적 일정하게 조절되는 것으로 추측되며, 피부미세혈류의 변동과 혈장 norepinephrine 농도의 변동은 항상 반비례 하였다. 그러나 혈장 epinephrine 농도는 점진적으로 증가하는 경향을 보였으며 상완동맥혈류의 증가와 비례적인 관계를 보였다.

## REFERENCES

- Abel FL, Pierce JH & Guntheroth WG (1963). Baroreceptor influence on postural changes in blood pressure and carotid blood flow. *Am J Physiol* 205(2), 360-364
- Beaconsfield P & Ginsberg T (1955). The effect of body posture on the hand blood flow. *J Physiol* 130, 467-473
- Bennington JL (1984). *Saunders Dictionary and Encyclopedia of Laboratory Medicine and Technology*. WB Saunders, Philadelphia, p265-266
- Berne RM & Levy MN (1986). *Cardiovascular Physiology* (5th ed). CV Mosby, St Louis, p153-174
- Bishop VS, Malliani A & Thoren P (1983). Cardiac mechanoreceptors. In: Shepherd JT, Abboud FM & Geiger SR (ed) *Handbook of Physiology* Sect 2: The cardiovascular system, Vol III Peripheral circulation and organ blood flow. Am Physiol Soc, Bethesda Md, p497-555
- Blomqvist CG & Stone HL (1983). Cardiovascular adjustments to gravitational stress. In: Shepherd JT, Abboud FM & Geiger SR (ed) *Handbook of Physiology*. Sect 2: The cardiovascular system, Vol III Peripheral circulation and organ blood flow. Am Physiol Soc, Bethesda Md, p1025-1063
- Bridle PA, Broshihan KB, Speth RC, Goormastic M & Ferrario CM (1983). Basal levels of plasma epinephrine and norepinephrine in the dog. *Hypertension*, 5, Suppl V128-V133
- Chae EU, Song DK & Bae JH (1989). Changes of cardiopulmonary responses to the head-down tilt ( $-6^\circ$ ). *Korean J Sports Med* 7(1), 91-108 (in Korean)
- Chae EU, Lee SK & Bae SH (1973). Circulatory and respiratory responses to postural changes. *Korean J Physiol* 7, 1-9 (in Korean)
- Coonan TJ & Hope CE (1983). Cardiorespiratory effects of changes of body position. *Can Anesth Soc J* 30, 424-437
- Fater DC, Sundet WD & Goetz KL (1983). Arterial baroreceptor have minimal physiological effects on adrenal medullary secretion. *Am J Physiol* 244, H194-H200
- Garib C, Gauquelin G, Pequignot JM, Geelen G, Bizolton CA & Guell A (1988). Early hormonal effects of head-down tilt ( $-10^\circ$ ) in humans. *Aviat Space Environ Med* 59, 1068-1071
- Greenfield ADM (1965). The circulation through the skin. In: Hamilton WF & Dow P (ed) *Handbook of Physiology*. Sect 2: Circulation. Am Physiol Soc, Washington DC, p1325-1351
- Hjemdahl P (1984). Plasma catecholamines as markers for sympathoadrenal activity in man. *Acta Physiol Scand*, Suppl 527, 1
- Jun SY & Chae EU (1978). Changes in blood pH,  $Pco_2$  and  $PO_2$  during passive tilt. *Korean J Physiol* 12, 35-40 (in Korean)
- Johnson JM, Rowell LB, Niederberger M & Einman MM (1974). Human splanchnic and forearm vasoconstrictor responses to reduction of right atrial and aortic pressure. *Cir Res* 34, 515-524
- Katkov VE, Chestukhin VV, Lepteva RI, Yokovleva VA, Mikhailov VM, Zybin O & Utkin VN (1979). Central and cerebral hemodynamic and metabolism of healthy man during head-down tilting. *Aviat Space Environ Med* 50, 147-153
- Kim CG (1970). Effect of position on pulmonary gas volume, ECG and blood pressure. *Kyungbook Univ*

- Med J* 11, 357-367 (in Korean)
- Landsberg L & Young JB (1987). Physiology and pharmacology of the autonomic nerve system. In: Brauwald E, Isselbacher KT, Petersdorf RG, Wilson JD, Martin JB & Fauci AS (ed) *Harrison's Principle of Internal Medicine* (ed 11). McGraw-Hill, New York, p359-370
- Liu CT, Hoff HE & Huggins RA (1969). Circulatory and respiratory responses to postural changes in the hemorrhage dog. *J Appl Physiol* 27, 460-464
- Loeppky JA, Hirshfield DW & Eldridge MW (1987). The effects of head-down tilt on carotid blood flow and pulmonary gas exchange. *Aviat Space Environ Med* 58, 637-644
- Löllgen H, Gebhardt U, Beier J, Hordinsky J, Borger H, Sarrasch V & Klein KE (1984). Central hemodynamics during zero gravity simulated by head-down bedrest. *Aviat Space Environ Med* 55, 887-892
- London GM, Levenson JA, Safar ME, Simon AC, Guerin AP & Payen D (1983). Hemodynamic effects of head-down tilt in normal subjects and sustained hypertensive patients. *Am J Physiol*. 245, H194-H202
- McNamara HI, Sikorski JM & Clavin H (1969). The effects of lower body negative pressure on the hand blood flow. *Cardiovasc Res* 3, 284-291
- Neil E (1975). Catecholamines and the cardiovascular system. In: Greep RO & Astwood EB (ed) *Handbook of Physiology*. Sect 7: Endocrinology, Vol VI Adrenal gland. Am Physiol Soc, Washington DC, p473-489
- Nixon JV, Murry RG, Bryant C, Johnson RL, Jr Mitchell JH, Holland OB, Gomez-Sanchez C, Vergne-Marini P & Blomqvist CG (1979). Early cardiovascular adaptation to simulated zero gravity. *J Appl Physiol* 46, 541-548
- Park WK & Chae EU (1987). Changes of arterial and venous blood flow during orthostasis and the effect of atropine. *Physiologist* 30(1), Suppl S58-S59
- Pequignot JM, Guell A, Gauquelin G, Jarallon E, Annat G, Bes A, Peyrin L & Gharib C (1985). Epinephrine, norepinephrine, and dopamine during a 4-day head-down bed rest. *J Appl Physiol* 58, 157-163
- Peuler JO & Johnson CA (1978). Simultaneous single isotope radioenzymatic assay of plasma norepinephrine, epinephrine and dopamine. *Lif Sci* 21, 697-702
- Renkin EM (1984). Control of microcirculation and blood-tissue exchange. In: Renkin EM, Michel CC & Geiger SR (ed) *Handbook of Physiology*. Sect 2: The cardiovascular system, Vol IV Microcirculation. Am Physiol Soc, Bethesda Md, p627-687
- Roddie IC (1983). Circulation to skin and adipose tissue. In: Shepherd JT, Abboud FM & Geiger SR (ed) *Handbook of Physiology*. Sect 2: The cardiovascular system, Vol III Peripheral circulation and organ blood flow. Am Physiol Soc, Bethesda Md, p285-317
- Roddie IC & Shepherd JT (1958). Receptors in the high-pressure and low-pressure vascular system. Their role in the reflex control of the human circulation. *Lancet* 8, 493-496
- Rowell LB (1986). *Human Circulation Regulation during Physical Stress*. Oxford Univ Press, New York, p19-29, 96-116, 137-173
- Sandler H, Krotov VP, Hines J, Magadev VS, Benjamin BA, Badekeva AN, Harlpryn BM, Stone HL & Krilov VS (1985). Cardiovascular results from a rhesus monkey flown aboard the Cosmos 1514 spaceflight. *Aviat Space Environ Med* 56, 791-795
- Song DK, Bae JH, Park WK & Chae EU (1987). Effects of head-down tilt (-6°) on hemodynamics and plasma catecholamine levels. *Korean J Physiol* 21, 211-223 (in Korean)
- Suh SW & Chae EU (1971). A study of circulatory responses to postural changes. *Korean J Physiol* 5, 71-78 (in Korean)
- Tomaselli CM, Kenny RA, Frey MAB & Noffler GW (1987). Cardiovascular dynamics during the initial period of head-down tilt. *Aviat Space Environ Med* 58, 3-8
- Turner RH, Burch GE & Sodeman WA (1937). Studies in the physiology of blood vessels in man. III. Some effects of raising and lowering the arm upon the pulse volume and blood volume of the human finger tip in health and in certain disease of the blood vessels. *J Clin Invest* 16, 789-798
- Yoon SK, Park WK, Bae JH & Chae EU (1987). Changes of plasma catecholamines and minute blood flow in large vessels during orthostasis and antiorthostasis. *Keimyung Univ Med J* 6, 14-25 (in Korean)