

## 도립(-6°)에 의한 심장혈관계 및 혈중 Catecholamine농도의 조기 변화\*

계명대학교 의과대학 생리학교실

채 의 업 · 현 정 애 · 배 재 훈

### 서 론

무중력에 대한 영향을 관찰하기 위하여 -6° 도립위, 장시간의 양와위 및 head-out water immersion은 실험실에서 무중력의 모의 실험으로써 널리 이용되고 있으며(Blomqvist 및 Stone, 1983; Gharib 등, 1988), 특히 도립위는 무중력 상태와 거의 유사하며 유의한 생리적 변화를 야기하므로 자주 이용되고 있다(Kakurin 등, 1976; Nixon 등, 1979).

무중력이 생체에 미치는 영향은 두부 및 체중심부로의 혈액이동과 저운동성(hypokinesia)이며(Blomqvist 및 Stone, 1983; Guyton, 1986), 이에 대한 생체의 반응은 실제 및 모의 무중력상태(simulated weightlessness) 실험의 결과가 대체로 같으나 증가된 중심 정맥압의 지속기간 및 하지용적 감소의 정도에 차이가 있다(Levy 및 Talbot, 1983).

도립위시 30분 이내의 비교적 조기에 나타나는 심장혈관계의 변화에 대한 보고는 많지 않으며, 아울러 생리적 변화도 실험대상의 개체(Shellock 등, 1985), 도립의 정도 및 관찰기간(Tomaselli 등, 1987)에 따라 보고자마다 차이가 있다.

현재 혈중 catecholamine 농도측정은 방사선효소 측정법(radioenzymatic method)이 많이 이용되고 있으며(Rowell, 1986), 교감신경-부신계의 활동지표로서(Hjemdahl, 1984) 이용되어 도립위로 체위변화시 혈중 catecholamine농도의 변화를 보고하고 있으나 비교적 조기의 도립위에서는 큰 변화가 없다고 하였다(Pequignot 등, 1985; Goldsmith 등, 1985). 송 등(1987)은 개를 대상으로 양와위에서 -6° 도립위로 30분간 체위변화시 개의 심장혈관계 및 혈중 catecholamine농도에 미치는 영향은 크지 않았다고 보고하였다. 이에 본 실험에서는 개에서 양와위 자체로서도 두부 및 체중심부로의 혈액저류효과가 심할 것으로

생각하여, 양와위보다는 개에서 더 생리적 체위인 복와위에서 -6° 도립위시 30분 동안에 나타나는 심장혈관계의 조기변화를 관찰하고, 혈중에 미량 존재하는 catecholamine의 농도를 측정하여 교감신경-부신계의 반응정도와 심장혈관계의 변화를 비교하고자 하였다.

### 재료 및 방법

실험은 체중 8~12kg의 성견 10마리를 대상으로 암수 구별없이 실시하였고, thiopental sodium을 15 mg/kg로 하지의 복제정맥에 주사하고 경사대에 먼저 양와위로 고정시킨 후 nembutal을 30mg/kg로 정주하여 마취시켰다. 수술로써 좌측 총경동맥 및 우측 고동맥을 노출시켜 깨끗하게 박리한 다음 각 혈관의 직경에 맞는 2~2.5mm의 flow transducer를 혈관에 장치하고, 이를 Narco Bio-Systems사의 electromagnetic flowmeter에 연결하여 두부 및 하지의 혈류량을 측정하였다. 동맥압은 좌측 상완동맥에 catheter를 삽입하여 Narco Bio-Systems사의 strain gauge로, 심박수 및 호흡수는 바늘전극을 이용하여 각각 ECG 및 impedance pneumograph로 측정하였다. 동시에 동·정맥혈을 상완동맥과 외경정맥에서 채혈하여 pH, Po<sub>2</sub> 및 Pco<sub>2</sub>는 Instrumentation Laboratories사의 혈액가스분석기(IL 813)로, hematocrit는 Clay Adams사의 microhematocrit centrifuge로 측정하였다. 혈중 catecholamine농도는 상완동맥에서 채혈하여 혈장을 분리한 후 4주 이내에 Peuler 및 Johnson (1977)의 방사선효소측정법으로 측정하였으며 측정 시까지 혈장을 -70°C에 보관하였다. 체위변화는 모든 처치를 마친 후 그림1에서와 같이 양와위에서 복와위, -6° 도립위 그리고 도립후 복와위로 변화시켰으며, 각 체위에서 30분 동안 유지시켰다. 양와위에서 복와위로 그리고 복와위에서 도립위로 체위

\* 이 논문은 1990년도 계명대학교 율령연구비 및 동산의료원 조사연구비에 의하여 이루어졌음.

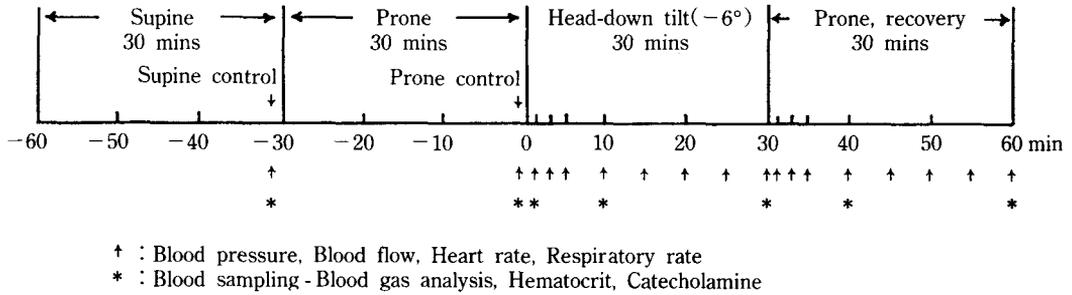


Fig 1. Experimental protocol for measurements of various parameters during the postural changes in anesthetized dogs.

변화시키기 직전에 각각 양와위 안정치 및 복와위 안정치를 측정하였고, 도립위 및 도립후 복와위시 1, 3, 5분과 이후 5분 간격으로 수축기 및 확장기 동맥압, 심박수, 호흡수 및 혈류량을 측정하였다. 동시에 평균 동맥압은 확장기 동맥압에 맥압의 1/3을 더하여 계산하였으며, 두부 및 하지의 말초혈관저항은 평균 동맥압에서 총경동맥 및 고동맥의 혈류량을 각각 나누어 계산(채 등, 1973)하였다. 또한 양와위, 복와위, 도립위 1, 10, 30분 및 도립후 복와위 10, 30분에 pH, Po<sub>2</sub>, Pco<sub>2</sub>, hematocrit 및 혈중 catecholamine 농도를 측정하였다.

이상의 성적은 통계처리하여 평균 및 표준오차로 표시하였고, 복와위에 대한 도립위, 그리고 도립위

30분에 대한 도립후 복와위의 유의성을 paired Student t-test로 표시하였다.

성 적

양와위에서 복와위 그리고 도립위 및 도립후 복와위로 체위변화시 동맥압의 변화는 그림2에서와 같다. 양와위에서 복와위로 체위변화시 수축기 동맥압은 변화가 없었으나, 평균 및 확장기동맥압은 약간 증가하였다. 평균 동맥압은 복와위시 127.8±4.40 mmHg에서 도립위시 증가하여 도립위 5분에 135.1±4.20mmHg로 유의하게(p<0.05) 증가하였으며, 이후 계속 증가하여 도립위 30분에는 139.2±5.07mmHg로

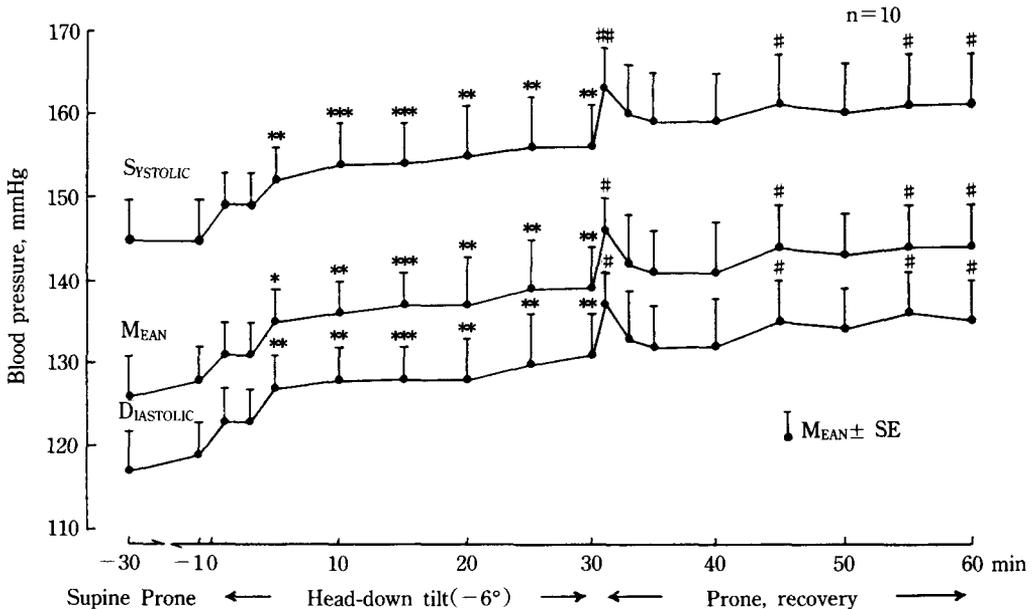


Fig 2. Changes of systolic, mean and diastolic blood pressures during the postural changes in anesthetized dogs. \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001 compared to the value of prone; #p<0.05, ##p<0.01 compared to the value at 30 min of head-down tilt(-6°).

유의하게( $p < 0.01$ ) 증가하였다. 도립후 복와위 1분에 평균 동맥압은  $145.6 \pm 4.46 \text{ mmHg}$ 로 도립위 30분에 비해 유의하게( $p < 0.01$ ) 증가하였으며 이후 즉시 감소하였으나, 도립위 30분 보다는 높은 값으로 유지되었다. 또한 체위변화시 수축기 및 확장기 동맥압의 변화도 평균 동맥압의 변화와 동일한 양상을 보였다.

체위변화시 총경동맥 및 고동맥의 혈류량의 변화는 그림3에서와 같다. 앙와위에서 복와위로 체위변화시 총경동맥의 혈류량은 약간 증가하였으며, 고동맥의 혈류량은 약간 감소하였다. 총경동맥의 혈류량은 복와위시  $89.3 \pm 9.80 \text{ ml/min}$ 에서 도립위 1분에 일시적 감소가 있었으나 3분 부터 증가하여 도립위 10분에  $93.7 \pm 9.62 \text{ ml/min}$ 로 유의하게( $p < 0.01$ ) 증가하였으며, 20분 이후에도 계속 유의하게( $p < 0.01$ ) 증가하였다. 도립후 복와위시 서서히 증가하였으나 도립위 30분에 비해 유의한 변화는 없었다. 고동맥의 혈류량은 복와위시  $34.8 \pm 6.41 \text{ ml/min}$ 였고, 도립위 동안에 유의한 변화는 없었으며, 도립후 복와위 1, 3분 그리고 15분에 도립위 30분에 비해 유의하게 감소하였으나 20분 이후에는 회복되는 경향을 보였다.

체위변화시 두부 및 하지의 말초혈관저항의 변화는 그림4에서와 같이 두부의 말초혈관저항은 도립위 20

분 이후에 약간 감소하였으며, 도립후 복와위 초기에 도립위 30분에 비해 일시적으로 증가하였고 이후에는 서서히 감소하는 경향을 보였으나 유의한 변화는 없었다. 하지의 말초혈관저항은 앙와위에서 복와위로 체위변화시 약간 증가하였으며, 도립위에서는 서서히 증가하는 경향을 보여 도립위 10분에 복와위에 비해 유의하게( $p < 0.05$ ) 증가하였다. 그리고 도립후 복와위에서는 1분에 도립위 30분에 비해 유의하게( $p < 0.01$ ) 증가하였으며, 5분 및 10분을 제외하고는 전반적으로 증가하여 15, 20 및 30분에 유의한 변화를 보였다.

체위변화시 심박수 및 호흡수의 변화는 그림5에서와 같다. 심박수는 앙와위시 분당  $146.1 \pm 10.89$ 회에서 복와위로 체위변화시에는  $156.6 \pm 10.30$ 회로 평균 10.5회 증가하였으며, 도립위 초기 5분 동안에는 약간 감소하였고 10분에는 복와위 수준으로 유지되었으며 이후 서서히 증가하였으나 유의한 변화는 없었다. 도립후 복와위 1분에는 분당  $177.8 \pm 9.96$ 회로 도립위 30분의  $170.8 \pm 11.07$ 회보다 유의하게( $p < 0.05$ ) 증가하였고, 30분 동안 계속 유의하게 증가되어 유지되었다. 호흡수는 앙와위에서 복와위로 체위변화시 약간 증가하였으며, 도립위로 체위변화시 1분에 복와위에

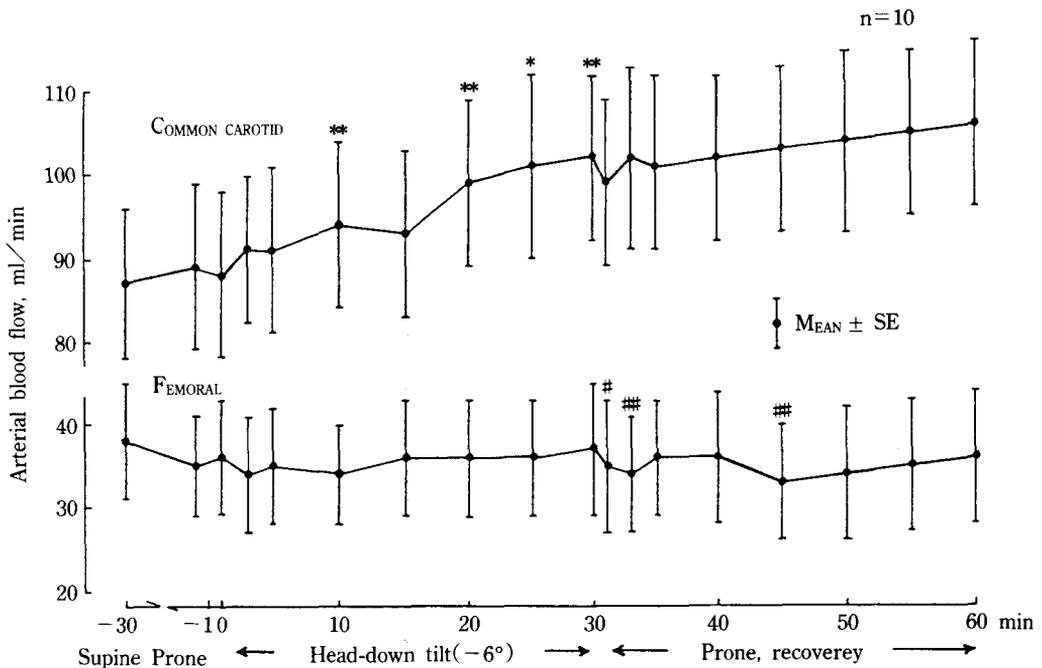


Fig 3. Changes of arterial blood flows through common carotid and femoral artery during the postural changes in anesthetized dogs. \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$  compared to the value of prone; # $p < 0.05$ , ## $p < 0.01$  compared to the value at 30 min of head-down tilt(-6°).

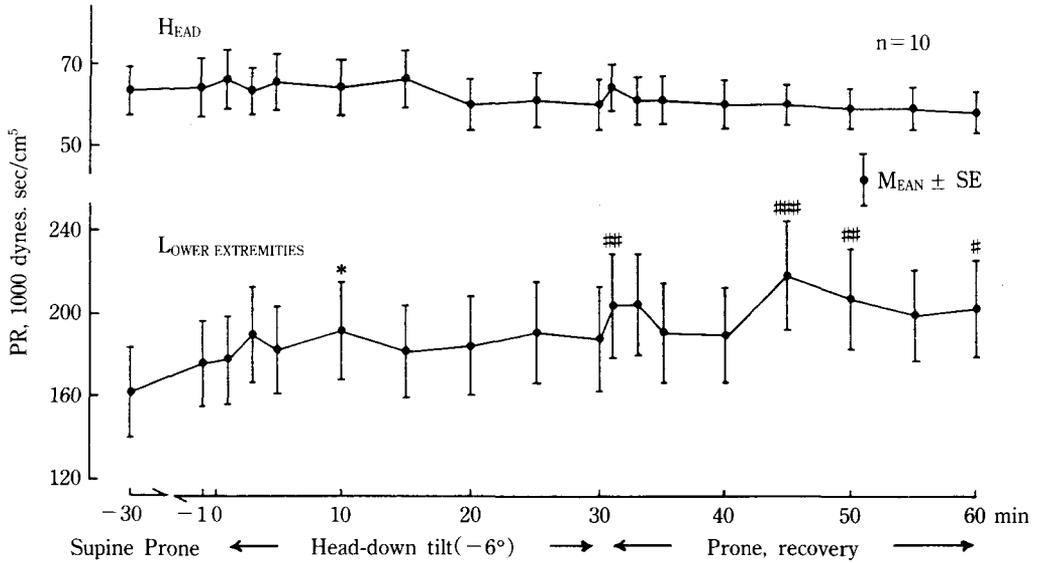


Fig 4. Changes of peripheral resistances(PR) of head and lower extremities during the postural changes in anesthetized dogs. \* $p < 0.05$  compared to the value of prone: # $p < 0.05$  ## $p < 0.01$  ### $p < 0.001$  compared to the value at 30 min of head-down tilt(-6°).

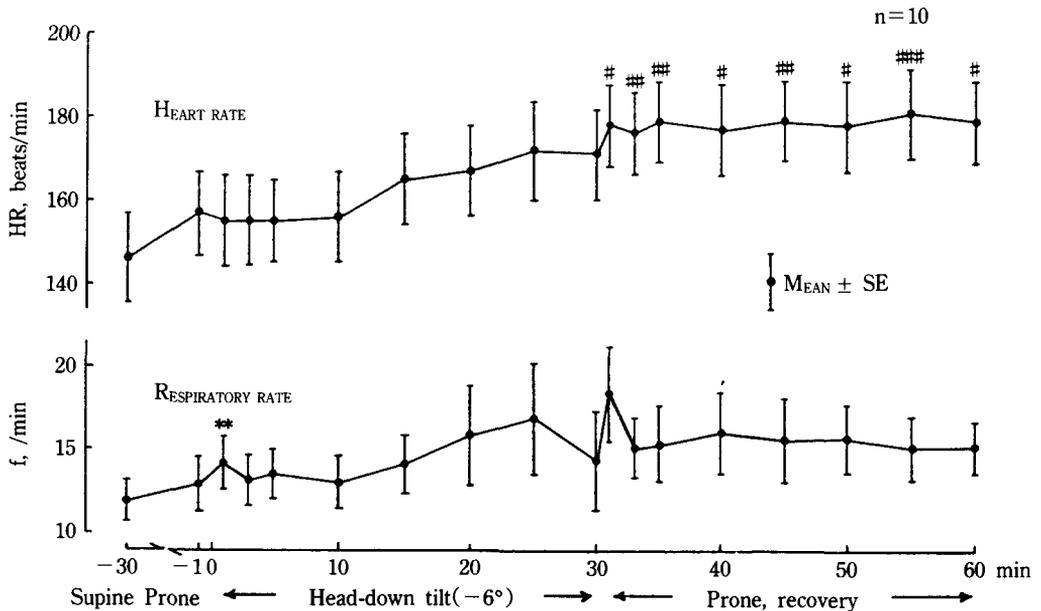


Fig 5. Changes of heart rate(HR) and respiratory rate(f) during the postural changes in anesthetized dogs. \*\* $p < 0.01$  compared to the value of prone: # $p < 0.05$  ## $p < 0.01$  ### $p < 0.001$  compared to the value at 30 min of head-down tilt(-6°).

비해 유의하게( $p < 0.01$ ) 증가하였고 이후 서서히 증가하는 양상이었다. 그리고 도립후 복와위 1분에 일시적으로 증가하였으며, 이후 감소하여 유지되었다.

체위변화시 동 · 정맥혈의 pH,  $P_{O_2}$ ,  $P_{CO_2}$  및 hematocrit의 변화는 그림6에서와 같다. 동 · 정맥혈의 pH는 도립위 10분에 일시적인 감소가 있었으나 체위변화시 전반적으로 유의한 변화가 없었다. 동 · 정맥혈의  $P_{O_2}$

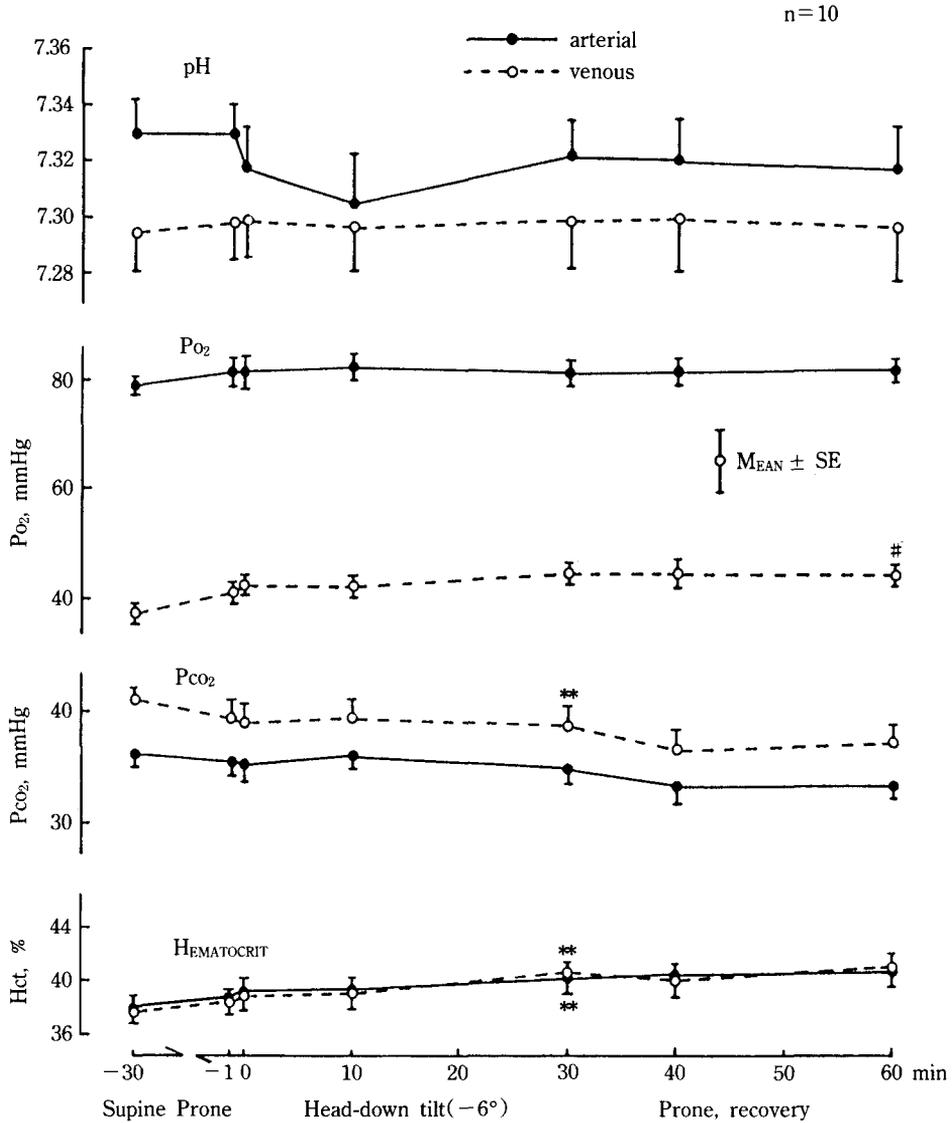


Fig 6. Changes of pH, PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub> and hematocrit(Hct) of arterial and venous blood during the postural changes in anesthetized dogs. \*\*p<0.01 compared to the value of prone: #p<0.05 compared to the value at 30 min of head-down tilt(-6°).

는 복와위 및 도립위로 체위변화시 유의한 변화는 없었으나 정맥혈의 PO<sub>2</sub>는 도립후 복와위 30분에 도립위 30분에 비해 유의하게(p<0.05) 증가하였다. 동·정맥혈의 PCO<sub>2</sub>는 체위변화시 점진적으로 감소하는 경향을 보였으며, 도립위 30분에 정맥혈의 PCO<sub>2</sub>는 복와위에 비해 유의한(p<0.01) 감소를 보였다. 그리고 동·정맥혈의 hematocrit는 도립위 30분에 복와위에 비해 유의한(p<0.01) 증가를 보였고, 도립후 복와위에서도 계속 그 값을 유지하였다.

체위변화시 혈중 catecholamine농도의 변화는 그림 7에서와 같이 양와위시 혈중 norepinephrine 및 epinephrine의 농도는 230.5±78.57 및 59.7±13.46pg/ml에서 복와위로 체위변화시 각각 231.5±55.12 및 131.9±45.71pg/ml로 변화하였다. 도립위로 체위변화시에는 도립위 30분에 혈중 norepinephrine의 농도는 복와위에 비해 약간 감소하였고 혈중 epinephrine의 농도는 증가하였으나 유의성은 없었다. 도립후 복와위시에는 도립위 30분에 비해 혈중 norepinephrine

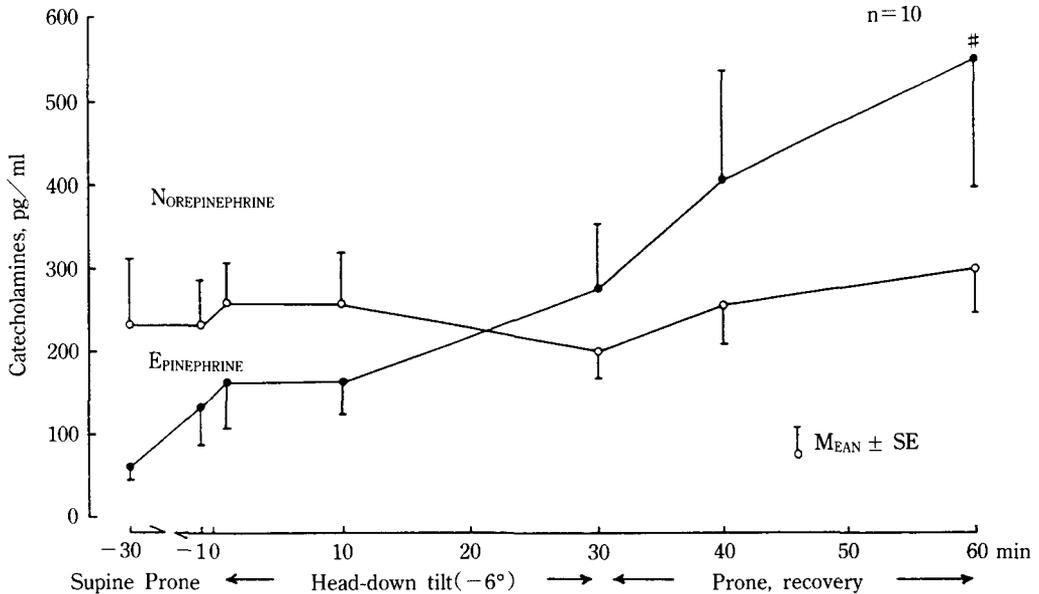


Fig 7. Changes of concentration of plasma catecholamines during the postural changes in anesthetized dogs. #p<0.05 compared to the value at 30 min of head-down tilt(-6°).

및 epinephrine의 농도가 모두 증가하였으며 30분에 혈중 epinephrine농도는 도립위 30분에 비해 유의한 (p<0.05) 증가를 보였다.

### 고 찰

인체에서 24시간의 -5° 도립위시 Blomqvist 및 Stone(1983)은 초기에 체중심부로의 혈액이동을 의미하는 하지용적의 감소가 있었으며 중심정맥압의 증가가 있었으나 도립위 1시간에 회복되었고, 일회 심박출량의 증가와 상대적인 심박수의 감소로 심박출량과 평균 동맥압은 일정하게 유지되었다고 하였다. 그리고 도립위 처음 6시간 동안에 혈장 renin activity, aldosterone 및 antidiuretic hormone(ADH)의 농도와 약 350ml의 전체혈액량의 감소가 있었으며, 도립위 24시간에는 중심정맥압 및 일회 심박출량은 감소하나 심박수는 약간 증가한다고 하였다. Tomasselli등(1987)은 인체를 대상으로 1시간의 -6° 도립위에서 심박수가 초기에 감소하고 이후 회복되며 심박출량 및 일회 심박출량은 초기에 증가하고 30분 이후에는 감소하였으며 이런 변화에 대한 말초반응으로 동맥압과 총 말초혈관저항이 증가한다고 보고 하였다. 인체에서 좌위를 대조위로 하여 -6° 도립위를 실시한 Pendergast등(1987)은 도립위로 체위

변화후 즉시 심박출량은 증가하였으며 3시간에 좌위수준으로 회복되었고, 6시간의 도립위 동안에 평균 동맥압 및 일회 심박출량은 증가하였으나 심박수는 감소한다고 하였다. 그리고 Sandler등(1987)은 실제로 케도우주비행시 리서스원숭이의 실험에서 초기에 심박출량 및 심박수는 감소하고 말초혈관저항 및 평균 동맥압은 증가하나 두부로의 혈류량은 일정하게 유지된다고 보고하였다(표1). 이처럼 실제 및 모의 무중력상태에서 비교적 초기에 야기되는 생체의 심장혈관계의 변화들은 실험방법, 관찰기간 및 개체에 따라 차이가 있다.

본 실험의 도립위 초기의 심박수의 감소는 체위 변화에 따른 정맥환류량의 증가(Coonan 및 Hope, 1983)로 인해 압력수용체의 감압반사가 유발된 것으로(김, 1970; 서 및 채, 1971)보이며, 이는 개를 대상으로 Abel 및 Waldhausen(1968)이 본 실험에서와 같은 체위인 복와위에서 -20° 도립위로 체위 변화시 초기에 심박수는 감소하고 심박출량은 증가하였다는 보고와 동일한 변화였다(표1). 대체로 본 실험에서 사용한 개는 사람보다 체위변화에 대한 조절기능이 미숙하고(서 및 채, 1971; 윤 등, 1987), 하지가 상대적으로 짧으며(이 등, 1961), 사람과는 달리 심장위치가 신장의 거의 중심부에 위치하며(서 및 채, 1971) 또한 혈액분포의 차이(Rowell, 1986)도

Table 1. Comparison of hemodynamic responses to head-down tilt(HDT) or orbital space flight in animal experiments. (M±SE)

Authors	Year	n	Subjects, condition	Control position	Study position	Animal parameters	Control value	1-5 min	Study value 30 min
Abel & Waldhausen	1968	11	Dog, anesthetized	Prone	HDT(-20°)	HR(beats/min) Q(ml/kg)	146.0±8.1 102.5±7.7	139.8±9.2 109.8±8.3	↓ ↑
Sandler et al	1987	1	Rhesus monkey, unanesthetized	Sitting	orbital space flight	HR(beats/min) MBP(mmHg) Q(ml/min) R(mmHg·sec/cm <sup>5</sup> )	91.0±97.7 97.7±1.50 700* 3.53±0.10	- - - -	70* ↓ 115* ↑ 500* ↓ 4.7* ↑
Present study	1988	10	Dog, anesthetized	Prone	HDT(-6°)	HR(beats/min) MBP(mmHg) CBF(ml/min) R(1000dynes·sec/cm <sup>5</sup> )	156.6±10.30 127.8±4.40 83.3±9.80 63.7±7.22	155.2±7.43 133.2±2.77 89.3±2.77 65.9±4.62	↓ ↑ → ↑

Note: HR = heart rate, Q = cardiac output, MBP = mean blood pressure, R = peripheral vascular resistance, CBF = common carotid blood flow, - = not measured, \* = approximate value read by the author's figure, ↑ or ↓ = increase or decrease compared to the control value, → = no variation.

있다. Rowell(1986)은 사람의 기립시에는 전체 혈액량의 70%가 심장위치보다 낮은 부위에 분포하지만, 개에서는 네 발로 기립시 심장, 또는 심장위치보다 높은 부위에 분포한다고 하여 인체와는 다소 차이가 있는 것으로 보인다. 개를 양와위에서 복와위로 체위변화시키면, 사람과는 혈액분포의 차이는 있겠으나, 사람을 기립위로 체위변화시킬 때 생기는 것과 같은 효과로 압력수용체에 가해진 정수압의 소실에 따른 조절반사로 인해 심박수 및 교감신경계 활동이 증가되는 생리적 변화를 보일 것으로 추측된다. 본 실험에서 양와위에서 복와위로 체위변화시 심박수 및 하지의 말초혈관저항이 증가한 결과로 보아 아마도 체위변화에 따라 심장에 대한 압력수용체의 상대적인 위치이동으로 인해 압력수용체의 정수압감소에 따른 가압반사가 유발되었을 것으로 사료된다.

본 실험의 도립위 초기 이후의 심박수 및 하지의 말초혈관저항의 증가는 개를 대상으로 양와위에서 실험한 송 등(1987)의 보고와 일치되나, 평균 동맥압 및 총경동맥의 혈류량의 증가와 두부의 말초혈관저항의 감소의 변화는 다른 양상을 보였다. 본 실험과 병행하여 도립위로 체위변화를 시키지 않은 것을 제외하고 본 실험에서와 동일한 실험기간, 수술방법 및 마취제로 2마리의 개에서 심장혈관계의 변화를 관찰한 복와위 대조실험에서 복와위에서 심박수 및 총경동맥의 혈류량은 양와위에 비해 일정한 상승값을 유지하였으며, 하지의 말초혈관저항의 증가가 있는 것으로 보아 양와위에서 복와위로의 체위변화자체가 심장혈관계의 변화에 영향을 미친 것으로 보이며, 개에서 양와위시보다 소위 "두부 및 체중심부로의 혈액이동효과"에 의한 가압반사가 복와위에서는 적은 것으로 추측되며, 반대로 복와위에서는 양와위에 비해 가압반사가 우세하게 유지되는 것으로 보인다. 그리고 본 실험의 도립위시에는 위의 가압반사효과가 도립에 의한 가압반사효과에 가감되어 나타난 것으로 사료된다.

그림 8-10은 복와위에서 -6° 도립위로 체위변화를 시행한 실험군과 복와위에서 도립없이 계속 관찰한 복와위 대조군(2례)에서 각 체위의 10분에서 30분 사이의 동맥압, 동맥혈류량, 말초혈관저항, 심박수 및 호흡수의 변화를 평균치로 계산하여 실험군의 복와위의 평균치와 복와위 대조군의 평균치를 기준으로 각각 백분율로 표시하여 막대그림으로 비교하였다. 평균동맥압은 실험군 및 복와위 대조군에서 계속 증가하는 양상을 보였으나, 실험군에서 더 많이 증

가하였다. 두부방향의 동맥혈류량은 복와위 대조군에 비해 증가하였고, 말초혈관저항은 복와위 대조군에 비해 감소하였다. 하지방향의 동맥혈류량은 도립위에서 복와위 대조군에 비해 약간 증가하였으며, 반면에 말초혈관저항은 도립후 복와위에서 복와위 대

조군에 비해 많이 증가하였다. 심박수는 실험군에서 복와위 대조군에 비해 계속 증가하는 양상을 보였으며, 호흡수는 복와위 대조군에 비해 약간 증가하는 양상을 보였으나 복와위 대조군에서도 동일하게 증가하였으므로 양군사이의 차이는 없는 것으로 보

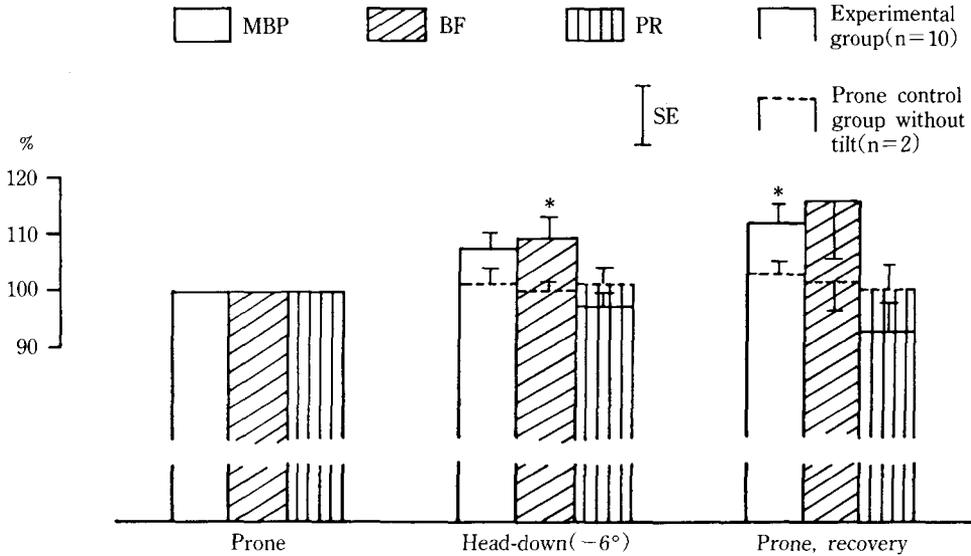


Fig 8. Comparison of percent changes of mean blood pressure(MBP), blood flow(BF) and peripheral vascular resistance(PR) through the head in each position of the experimental group and prone control group without tilt in the same time course. These values are calculated by the mean values those obtained at every five minutes from 10 to 30 minutes of each position.

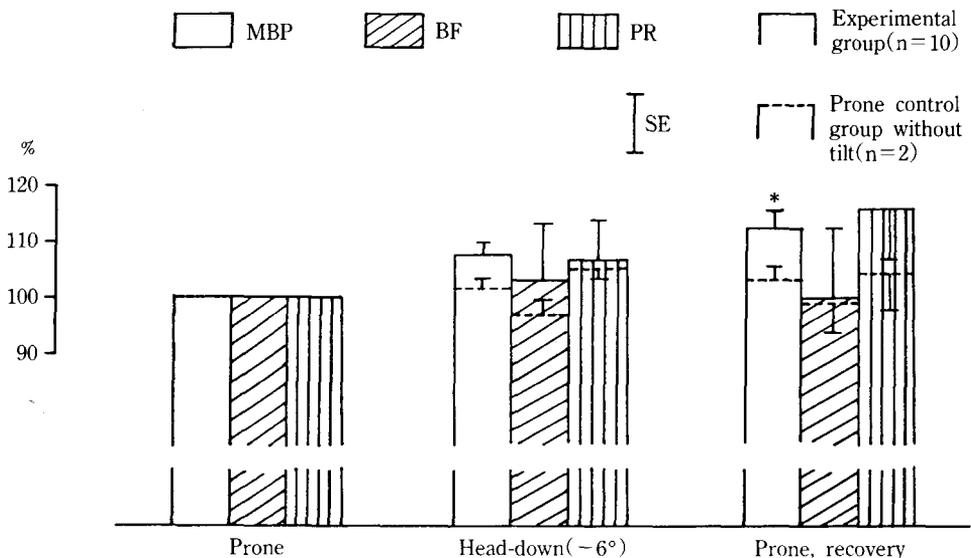


Fig 9. Comparison of percent changes of mean blood pressure(MBP), blood flow(BF) and peripheral vascular resistance(PR) through the lower extremities in each position of the experimental group and prone control group without tilt in the same time course. These values are calculated by the mean values those obtained at every five minutes from 10 to 30 minutes of each position.

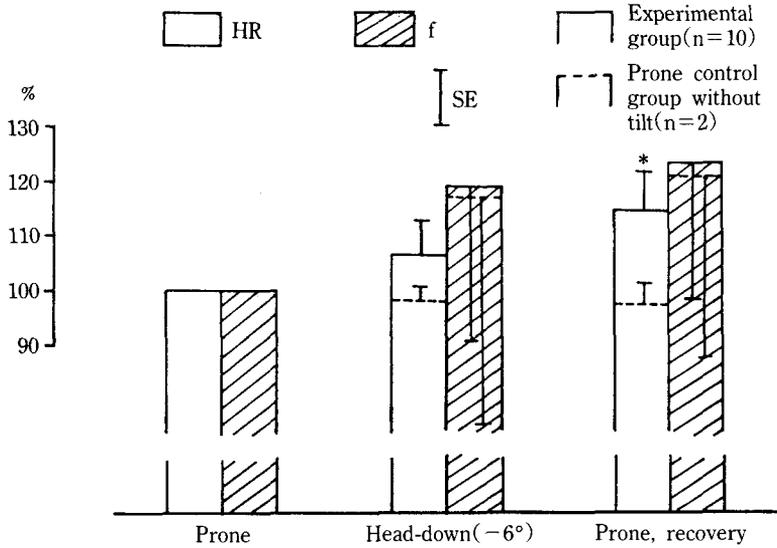


Fig 10. Comparison of percent changes of heart rate(HR) and respiratory rate(f) in each position of the experimental group and prone control group without tilt in the same time course. These values are calculated by the mean values those obtained at every five minutes from 10 to 30 minutes of each position.

졌다.

인체에서 도립위에서 수평양와위로 체위변화시 Nixon 등(1979)은 심박수 및 말초혈관저항은 증가하나 일회 심박출량이 감소되어 평균 동맥압은 대조치 수준으로 유지된다고 하였고, Loepky 등(1987)은 평균동맥압 및 총경동맥의 혈류량은 증가하지만 심박수는 변화가 없다고 하였다. 본 실험의 도립위에서 도립후 복와위로 체위변화시 초기의 동맥압, 심박수 및 하지의 말초혈관저항의 증가는 인체에서의 변화와 유사하고, 개를 대상으로 양와위에서 -6°도립위로 실험한 송 등(1987)의 보고와 일치하며, 이는 도립위시 조성된 압력수용체의 정수압의 소실에 의한 가압반사가 유발(Mayerson, 1941)되어 나타난 결과로 사료된다. 그러나 본 실험의 도립후 복와위 초기 이후의 동맥압, 심박수, 총경동맥의 혈류량 및 하지의 말초혈관저항은 계속 증가되는 양상을 보였으며, 이를 설명하기 위해 본 실험과는 별도로 2마리의 개를 대상으로 본 실험에서와 동일한 수술방법 및 마취하에서 양와위에서 복와위로 체위변화를 하여 60분간 심장혈관계의 변화를 관찰한 후 다시 양와위로 체위변화를 하여 60분간 관찰하였다. 그 결과 복와위에서는 동맥압, 심박수, 총경동맥의 혈류량 및 하지의 말초혈관저항이 양와위에 비해 증가하였고 그 값이 계속 유지되었으며, 다시 양와위로 체위변화시에는 복와위에서 관찰된 소견들이 비교적 초기에

원래 양와위 상태로 회복되는 경향을 관찰하였던 바 양와위에서 복와위로 체위변화시킨 효과가 영향을 미친 것으로 사료되며, 또한 체위변화에 따른 심장혈관계의 변화이외에 실험동물을 복와위로 체위변화시 경사대에서 실험동물의 위치나 혹은 고정방법에서 양와위보다는 기술적으로 다소 안정하게 유지되지 못한 것이 또 다른 요인으로 작용했는지에 대해서는 다음 실험에서 고려되어야 할 사항이다.

도립위로 체위변화시 복강내부장기의 흉곽방향으로의 이동이 횡격막에 미치는 영향(Liu 등, 1969)과 건부 및 상지의 흉곽운동에 대한 간섭효과(Agostoni 및 Mead, 1964; Rao, 1968) 그리고 정맥환류량의 증가(Loepky 등, 1987)와 폐장내의 점진적인 혈액량 증가로 인한 상대적인 폐용적의 감소(서 및 채, 1971; Tomaselli 등, 1987)에 의해 호흡수가 증가한다는 보고들과 본 실험에서 도립위 1분에 호흡수가 유의하게 증가한 것은 동일한 양상이었다.

본 실험에서 체위변화시 동·정맥혈의 pH는 유의하게 큰 변화가 없었고, Pco<sub>2</sub>는 점진적으로 감소하는 경향을 보인 것은 체위변화에 따른 호흡수의 증가에 의해 Pco<sub>2</sub>가 감소한 것(전 및 채, 1978)으로 사료되며, Pco<sub>2</sub>는 감소하지만 pH가 변화없이 유지되는 것으로 보아 대사성 산증이 혈액내에서 초래되었다(Gazenko 등, 1980)고 추측된다. 그리고 본 실험에서 동·정맥혈의 hematocrit는 도립위 30분에 유의하게 증가

Table 2. Plasma catecholamine levels obtained by various authors during control and HDT position in man and dogs. (M±SE)

Authors	Year	n	Subjects, Condition	Control Position	Control value(pg/ml)*		Study position Duration	HDT value(pg/ml)*		Remark
					NE	E		NE	E	
Bridle et al	1983	17	Dog, Unanesth.	Recumbent	145±58	65±47		-	-	M±SD
		45	Unanesth.	Standing	193±86	144±55		-	-	M±SD
		18	Anesth.		98±52**	75±66**		-	-	HR: 79±10
London et al	1983	15	Man	Supine	689±81×10 <sup>3</sup>		Leg elevate 60cm & HDT(-10°), 30 min	516±63×10 <sup>3</sup>	(↓)	HR:137±38 Total catecholamines
Löllgen et al	1984	8	Man	20° Right anterior oblique	510±124	169±199	HDT(-6°), 60 min	570±148	121±38	M±SD
							105 min	600±690 (NSIT)	140±63	
Pequignot et al	1985	8	Man	Supine	470±45	55±12	HDT(-6°), 60 min	448±65 (NV)	59±11 (NV)	
Goldsmith et al	1985	6	Man	Supine	185±85	-	HDT(-30°), 60 min	(NV)	-	M±SD
Yoon et al	1987	10	Dog, Anesth.	Supine	137±7.3	116±12.7	HDT(-90°), 10 min	167±15.2 (↑)	127±9.9	
Song et al	1987	4	Dog, Anesth.	Supine	1350±370	1700±185	HDT(-6°), 30 min	1120±282 (NSDT)	1520±126 (NSDT)	
Gharib et al	1988	10	Man	Sitting	278±50	35±4	HDT(-10°), 30 min	(NSDT)	(↓)	
							60 min	(↓)	(↓)	
Present study	1988	10	Dog, Anesth.	Prone	232±55.1	132±46.7	HDT(-6°), 30 min	199±34.1	274±77.0	
				Supine	231±78.6	60±13.5		-	-	

Note: NE = norepinephrine, E = epinephrine, HDT = head-down tilt, HR = heart rate, Unanesth. = unanesthetized, Anesth. = anesthetized, (↓) = significant decrease v.s. control, (↑) = significant increase, (NSDT) = non-significant decreasing trend, (NSIT) = non-significant increasing trend, (NV) = no variation, - = not measured, \* = measured by radioenzymatic assay, \*\* = samples obtained 1hr after surgical procedure.

되어 도립후 복와위에서도 계속 증가되어 유지되었으며, 개를 대상으로 하여  $-90^\circ$  도립위에서 10분에 hematocrit가 약간 증가하고(박 및 채, 1987), 양와위에서  $-6^\circ$  도립위로 체위변화후 도립위 30분과 이후 양와위에서 약간 증가하였다는 보고(송 등, 1987)와 일치하였다. 도립에 의한 hematocrit의 증가는 중심성 혈액량의 증가에 의해 압력수용체가 작용하여 ADH분비를 억제시킴으로써 야기되는 이뇨현상(Nixon 등, 1979)과 정수압이 가해지는 두부방향 미세순환의 혈액에서 조직으로의 여과율이 증가되어(Hargen 등, 1982; Güell 등, 1983) 혈장용적이 감소함에 따른 결과로 사료된다.

혈중 catecholamine, 특히 norepinephrine 및 epinephrine의 농도는 교감신경-부신계 활동의 지표로(Hjemdahl, 1984), 혈장 renin activity, aldosterone 및 ADH등의 다른 hormone들과 함께 체위변화 및 모의 무중력상태에서의 심장혈관계의 반응을 보기 위한 연구(Güell 등, 1983; 윤 등, 1987; 송 등, 1987; Gharib 등, 1988)에 함께 이용되고 있다. 그러나 지금까지 보고된 안정시의 catecholamine농도는 보고자에 따라 차이가 많다(표2). 인체에서 안정시 Löllgen등(1984)은 혈중 norepinephrine 및 epinephrine농도가 각각 510 및 169pg/ml, Pequignot등(1985)은 407 및 55pg/ml라고 보고하여 본 실험의 복와위시 231.5 및 131.9pg/ml보다는 혈중 norepinephrine농도가 높은 값을 보였으며, Gharib등(1988)은 각각 278 및 35pg/ml라고 보고하여 본 실험의 양와위시 230.5 및 59.7pg/ml와 비슷하였으나 혈중 epinephrine농도는 낮은 값을 보였다. Bridel등(1983)이 무마취 개에서 안정시 혈중 norepinephrine 및 epinephrine의 농도는 각각 145 및 65pg/ml라 하였으며, nembutal 마취를 하여 수술을 완전히 마친 후 1시간 후에 채혈하여 측정된 결과 각각 98 및 74pg/ml로 본 실험의 혈중 catecholamine농도보다 약간 낮은 값을 보고하였다. 그리고 개를 대상으로 양와위에서 안정시의 혈중 norepinephrine 및 epinephrine농도에서 윤 등(1987)은 각각 137 및 116pg/ml로 보고하여 본 실험의 복와위보다 약간 낮은 값을 보였으나, 송 등(1987)은 각각 1350 및 1700pg/ml로 높은 값을 보였으며 혈중 epinephrine농도가 norepinephrine농도보다 높은 값을 보였음은 실험시 수술에 의한 영향이 완전히 제거되지 않은 것이 원인이라 하였다. 아울러 송 등(1987)은 동일한 개를 대상으로 했더라도 수술정도와 시간, 마취제의 종류 및 마취의 심도, 채취한 혈액의

처리 및 측정기교의 차이에 의해 안정시의 혈중 catecholamine농도에 차이가 있을 수 있다고 보고하였다.

본 실험의 도립위시 혈중 catecholamine농도는 복와위에 비해 유의한 변화가 없었으며, 이런 양상은 사람을 대상으로  $-6^\circ$  도립위에서 30분 또는 60분 이내의 비교적 초기에 혈중 catecholamine농도가 유의한 변화가 없었다는 보고들(Löllgen 등, 1984; Pequignot 등, 1985)과 일치되는 양상이었다. Goldsmith 등(1985)은 인체에서  $-30^\circ$ 도립위시 60분에는 혈중 norepinephrine농도는 큰 변화가 없었으며, 도립위는 기립위 및 하체음압장치보다 교감신경계의 반응에 영향을 적게 준다고 하였다. 그리고 인체에서 양와위를 대조위로 하면 그 자체로도 혈액의 두부방향으로 이동을 야기하는 체위이며(Gharib 등, 1985), 양와위에서 이미 혈장 renin activity, aldosterone 및 교감신경계의 활동이 감소되어  $-6^\circ$  도립위로 체위 변화하여도 더 이상의 변화는 없었으며, 좌위에 비해서는 혈중 catecholamine 농도가 감소한다(Gharib 등, 1988)고 하였다. 그러나 윤 등(1987)은 개를 대상으로  $-90^\circ$ 도립위시 10분에 개의 도립에 대한 대상능력의 미비, 두부의 혈액저류 및 그외의 stress요인이 작용되어 혈중 norepinephrine 및 epinephrine 농도가 증가한 것으로 보고하였다. 본 실험의 도립위 30분에 혈중 norepinephrine농도가 복와위에 비해 유의한 변화는 아니나 평균치에 있어서 약간 감소한 것은 송 등(1987)의 보고와 일치하며, 이는 도립에 의한 체중심부로의 혈액이동에 따른 교감신경계의 억제에 의한 결과로 생각되고, 도립후 복와위시 혈중 norepinephrine농도가 증가하는 양상을 보인 것은 초기의 동맥압, 심박수 및 하지의 말초혈관저항의 증가와 일치되고, 도립위시 조성된 압력수용체에 대한 정수압의 소실로 가압반사가 유발되어(송 등, 1987) 나타난 것으로 보인다. 그러나 압력수용체의 조절반사에 의해 부신수질에서 catecholamine을 분비하는 효과는 비교적 미약하게 작용되며(Fater 등, 1983), epinephrine이 주로 부신수질에서 정신적, 육체적 stress, 고체온증 또는 저혈당증에 의해 분비된다는(Rowell, 1986)점에서 본 실험의 혈중 epinephrine농도가 도립후 30분과 이후 도립후 복와위에서 norepinephrine보다 높은 값을 유지하며 전 실험기간에 계속 증가하는 양상을 보인 것은 압력수용체의 조절기능 이외에도 다른 요인이 작용한 것으로 사료되며, 그 요인의 규명을 위한 실험이 필요하다고 생각된다.

Rowell(1986)에 의하면 epinephrine은 심박출량 및 심박수를 증가시키고 말초혈관저항을 감소시켜서 수축기 혈압은 증가시키나 확장기 혈압은 감소시킨다고 하였으며, norepinephrine은 심박출량에는 큰 변화를 주지 않으나 말초혈관저항을 증가시켜서 수축기 및 확장기 혈압을 모두 증가시킨다고 하였다. 그러나 본 실험에서 epinephrine의 혈중농도가 증가되는 도립후 복와위에서 확장기 혈압은 감소하지 않았고 수축기 및 확장기 혈압이 다같이 평행해서 상승하였다. 도립위 및 도립후 복와위에서 총경동맥의 혈류량은 복와위 대조군에 비해 계속 증가하고 두부의 말초혈관저항은 감소하는 경향이였다(그림 8). 이것은 epinephrine의 효과로 심박출량이 증가하고 말초혈관저항이 감소한 것 같이 보인다. 그러나 이것과 동시에 관찰된 고동맥의 혈류량은 도립위에서 복와위 대조군에 비해 약간 증가하는 양상을 보였으나, 하지의 말초혈관저항이 복와위 대조군에 비해 큰 변화가 없는 것(그림 9)은 도립에 따른 중심성 혈액량의 증가에 대한 말초혈관저항반응의 효과(London 등, 1983)와 증가된 epinephrine의 효과 그리고 도립위에서 하지가 체상위가 되면서 정수압의 영향에 의해 하지방향혈류의 감소 및 혈관저항의 증가의 효과가 함께 나타난 것으로 보인다. 그리고 도립후 복와위에서 하지의 말초혈관저항이 크게 증가한 것은 유의하지는 않으나 혈중 norepinephrine의 변화와 동일한 양상을 보인 것으로 도립후 복와위에서는 도립위시 증가된 중심성혈액이 말초로 이동됨에 따라 교감신경계의 자극으로 혈중 norepinephrine농도와 하지의 말초혈관저항이 증가한 것으로 사료된다. 그리고 각 체위변화 초기 5분 이내의 일시적인 변화를 제외하고 복와위 대조군의 심박수가 대체로 안정된 값을 보인 반면에, 실험군의 심박수는 도립위 및 도립후 복와위에서 계속 증가하는 양상을 보였다(그림 10). 이러한 실험군의 심박수 변화는 도립위시 증가된 혈중 epinephrine농도에 의해 동맥혈류량이 증가한 것과 같이 epinephrine의 심장에 대한 효과로 인해 심박수가 증가한 것으로 보이며, 도립후 복와위에서는 계속 증가하는 양상을 보이는 혈중 epinephrine의 효과와 도립위시 증가된 혈액량이 말초로 이동됨으로 인한 교감신경계 활동의 증가에 따라 심박수가 증가한 것으로 사료된다.

이상의 결과로 보아 개에서 앙와위보다 생리적 체위인 복와위에서 -6° 도립위 및 도립후 복와위로 체위변화시 비교적 초기에 압력수용체의 조절반사로

인한 심장혈관계의 변화가 있었으나, -6° 도립에 의한 심장혈관계의 변화에 대한 영향은 그리 크지 않은 것으로 보인다. 그러나 도립에 의한 효과에 앙와위에서 복와위로 체위변화한 효과와 일부 다른 요인이 가중되어 전반적인 심장혈관계의 변화에 영향을 미친 것으로 사료된다.

## 요 약

무중력이 생체에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 개에서 앙와위보다는 더 생리적 체위인 복와위에서 -6°도립위시 30분 동안에 나타나는 심장혈관계의 조기변화를 관찰하고 혈중에 미량 존재하는 catecholamine농도를 측정하여 교감신경-부신계의 반응 정도와 심장혈관계의 변화를 비교하고자 하였다. 체중 8~12kg의 성견 10마리를 대상으로 nembutal(30 mg/kg)마취하에 경사대에 먼저 앙와위로 고정시킨 후 좌측 총경동맥 및 우측 고동맥에 electromagnetic flow transducer를 장치하여 두부 및 하지의 혈류량을 측정하였다. 동맥압은 좌측 상완동맥에서 strain gauge로, 심박수 및 호흡수는 각각 ECG 및 impedance pneumograph를 사용하여 측정하였다. 동·정맥혈을 상완동맥 및 외경정맥에서 채혈하여 pH, Po<sub>2</sub>, Pco<sub>2</sub> 및 hematocrit를 측정하였고, 동맥혈의 catecholamine농도를 Peuler 및 Johnson의 방사선효소측정법으로 측정하였다. 체위변화는 앙와위에서 복와위, -6° 도립위 그리고 도립후 복와위로 변화하였고, 각 체위에서 30분 동안 유지시켰다. 이상의 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

앙와위에서 복와위로 체위변화시 평균 동맥압, 심박수, 총경동맥의 혈류량, 하지의 말초혈관저항 및 호흡수는 증가하였고, 고동맥의 혈류량은 감소하였다. 복와위에서 -6°도립위로 체위변화시 동맥압은 초기에 증가하여 계속 높은 상태에서 유지되었고, 심박수는 초기에 약간 감소하나 이후 서서히 증가하였다. 총경동맥의 혈류량은 계속 증가하였으나, 고동맥의 혈류량은 유의한 변화가 없었다. 두부의 말초혈관저항은 유의한 변화가 없으나, 하지의 말초혈관저항은 증가하였으며, 호흡수는 증가하였다.

도립후 복와위로 체위변화시 초기의 동맥압 및 심박수는 도립위 30분에 비해 유의하게 증가하였으며, 총경동맥의 혈류량 및 두부의 말초혈관저항은 유의한 변화가 없었으나, 고동맥의 혈류량은 감소하였고 하지의 말초혈관저항은 증가하였다.

체위변화시 동·정맥혈의 pH는 전반적으로 유의한 변화는 없었고, 동·정맥혈의  $PO_2$ 는 지속적으로 증가하였으며,  $P_{CO_2}$ 는 지속적으로 감소하였다. 그리고 동·정맥혈의 hematocrit는 도립위 30분 이후부터 증가되어 도립후 복와위에서도 계속 그 값을 유지하였다.

체위변화시 혈중 norepinephrine농도는 유의한 변화는 없었으나 도립위 30분에 복와위에 비해 약간 감소하였고, 도립후 복와위에서는 도립위 30분에 비해 증가하는 양상을 보였다. 혈중 epinephrine농도는 양와위에서 복와위로 체위변화시 증가하였으며, 도립위 30분에 복와위에 비해 증가하였으나 유의한 변화는 없었고, 도립후 복와위시 증가하여 30분에는 도립위 30분에 비해 유의하게 증가하였다.

이상의 결과로 보아 개에서 양와위보다 생리적 체위인 복와위에서  $-6^\circ$  도립위로 체위변화시 비교적 초기에 압력수용체의 조절반사로 인한 심장혈관계의 변화가 있었으나, 30분 동안의  $-6^\circ$ 도립에 의한 심장혈관계에 대한 영향은 그리 크지 않은 것으로 보인다. 그러나 도립에 의한 효과에 복와위 자체에 의한 효과와 일부 stress요인이 가중되어 영향을 미친 것으로 생각되며, 이런 효과로 인해 혈중 epinephrine 농도가 지속적으로 증가하는 양상을 보인 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

Abel FL, Waldhausen JA: Influence of posture and passive tilting on venous return and cardiac output. *J Appl Physiol* 1968; 215: 1058-1066.

Agostoni E, Mead J: Statics of the respiratory system, in Fenn WO, Rahn H(eds): *Handbook of Physiology, Section 3: Respiration*, Washington, DC, American Physiol Society, 1964, pp 387-409.

Blomqvist CG, Stone HL: Cardiovascular adjustments to gravitational stress, in Shepherd JT, Abboud FM, Geiger SR(eds): *Handbook of Physiology, Section 2: The Cardiovascular System, Peripheral Circulation and Organ Blood Flow*, Bethesda, Md, American Physiol Society, 1983, pp 1025-1063.

Bridle PA, Broshihan KB, Speth RC, et al: Basal levels of plasma epinephrine and norepinephrine in the dog. *Hypertension* 1983; 5(Suppl V): 128-133.

채의업, 이석강, 배성호 : 체위변화에 수반되는 순환 및 호흡반응. 대한생리학회지 1973; 7: 1-9.

Coonan TJ, Hope CE: Cardiorespiratory effects of

change of body position. *Can Anesth Soc J* 1983; 30: 424-437.

Fater DC, Sundet WD, Schultz HD, et al: Arterial baroreceptors have minimal physiological effects on adrenal medullary secretion. *Am J Physiol* 1983; 244: H194-H200.

Gazenko OG, Shumakev VI, Kakurin LI, et al: Central circulation and metabolism of the healthy man during postural exposures and arm exercise in the head-down position. *Aviat Space Environ Med* 1980; 51: 113-120.

Gharib C, Gauquelin G, Geelen G, et al: Volume regulation hormones (renin, aldosterone, vasopressin and natriuretic factor) during simulated weightlessness. *The Physiologist* 1985; 28: s30-s33.

Gharib C, Gauquelin G, Pequignot JM, et al: Early hormonal effects of head-down tilt ( $-10^\circ$ ) in humans. *Aviat Space Environ Med* 1988; 59: 624-629.

Goldsmith SR, Francis GS, Cohn JN: Effects of head-down tilt on basal plasma norepinephrine and renin activity in humans. *J Appl Physiol* 1985; 59: 1068-1071.

Güell A, Gharib CL, Bascands JL, et al: Hormonal and metabolic responses to simulated weightlessness. *The Physiologist* 1983; 26: s9-s11.

Guyton AC: *Textbook of Medical Physiology*, ed 7. Philadelphia, WB Saunders Co, 1986, pp 536, 689.

Hargen AR, Tucker BJ, Tipton CM: Fluid shifts in vascular and extravascular compartments of humans during and after simulated weightlessness. *The Physiologist* 1982; 25: s63-s64.

Hjemdahl P: Plasma catecholamines as markers for sympathoadrenal activity in man. *Acta Physiol Scand* 1984; 527(Suppl): 1.

전상년, 채의업 : 체위변화시의 혈액 pH,  $P_{CO_2}$  및  $PO_2$ 의 변화. 경북의대잡지 1978; 12: 35-40.

이영린, 남기용, 이상호 : 누웠을때의 신체중심의 이동과 가슴둘레의 감소. 서울의대잡지 1961; 1: 297.

Kakurin LI, Lobachik VI, Mikhailov VM, et al: Antirhthostatic hypokinesia as a method of weightlessness simulation. *Aviat Space Environ Med* 1976; 47: 1083-1086.

김정금 : 체위변화가 폐내공기용량, 심전도 및 혈압에 미치는 영향. 경북의대잡지 1970; 11: 357-367.

Levy MN, Talbot JM: Cardiovascular deconditioning of space flight. *The Physiologist* 1983; 26: 297-303.

Liu CT, Hoff HE, Huggins RA: Circulatory and respiratory responses to postural changes in the hemorrhage dog. *J Appl Physiol* 1969; 27: 460-464.

- Loeppky JA, Hirshfield DW, Eldridge MW: The effects of head-down tilt on carotid blood flow and pulmonary gas exchange. *Aviat Space Environ Med* 1987; 58: 637-644.
- Löllgen H, Gebhardt U, Beier J, et al: Central hemodynamics during zero gravity simulated by head-down bedrest. *Aviat Space Environ Med* 1984; 55: 887-892.
- London GM, Levenson JA, Safar ME, et al: Hemodynamic effects of head-down tilt in normal subjects and sustained hypertensive patients. *Am J Physiol* 1983; 245: H194-H202.
- Mayerson HS: Effect of gravity on the blood pressure of the dog. *Am J Physiol* 1941; 135: 411-418.
- Nixon JV, Murray RG, Bryant C, et al: Early cardiovascular adaptation to simulated zero gravity. *J Appl Physiol* 1979; 46: 541-548.
- Park WK, Chae EU: Changes of arterial and venous blood flow during orthostasis and the effect of atropine. *The Physiologist* 1987; 30: s58-s59.
- Pendergast DR, Claybaugh J, Farhi LE: Cardio-renal-hormonal integration during head-down tilt. *The Physiologist* 1987; 30: 206.
- Pequignot JM, Güell A, Gauquelin G, et al: Epinephrine, norepinephrine, and dopamine during a 4-day head-down bed rest. *J Appl Physiol* 1985; 58: 157-163.
- Peuler JO, Johnson CA: Simultaneous single isotope radioenzymatic assay of plasma norepinephrine, epinephrine and dopamine. *Life Sci* 1977; 21: 625-636.
- Rao S: Respiratory responses to head stand posture. *J Appl Physiol* 1968; 24: 697-702.
- Rowell LB: *Human Circulation Regulation during Physical Stress*. New York, Oxford University Press, 1986, pp 19-29, 137-173.
- Sandler H, Krotov VP, Hines J, et al: Cardiovascular results from a rhesus monkey flown aboard the Cosmos 1514 space flight. *Aviat Space Environ Med* 1987; 58: 529-536.
- Shellock FG, Swan HJC, Rubin SA: Early central venous pressure changes in the rat during two different levels of head-down suspension. *Aviat Space Environ Med* 1985; 56: 791-795.
- 송대규, 배재훈, 박원균, 채의업 : 도립(-6°)이 혈장 catecholamine 및 심장혈관계에 미치는 영향. *대한생리학회지* 1987; 21: 211-223.
- 서석완, 채의업 : 체위변화에 수반되는 심맥관계 반응에 관한 연구. *대한생리학회지* 1971; 5: 71-78.
- Tomaselli CM, Kenney RA, Frey MAB, et al: Cardiovascular dynamics during the initial period of head-down tilt. *Aviat Space Environ Med* 1987; 58: 3-8.
- 윤석근, 박원균, 배재훈, 채의업 : 수동적 체위변화가 혈중 catecholamine 농도 및 심장혈관계에 미치는 영향. *계명의대논문집* 1987; 6: 14-25.

=Abstract=

## **Initial Changes of Hemodynamics and Plasma Catecholamine Levels during $-6^\circ$ Head-Down Tilt**

**E Up Chae, MD; Jung Ae Hyun, MD; Jae Hoon Bae, MD**

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

Head-down tilt at  $-6^\circ$  has been used as an experimental model to evaluate the effect on hemodynamics by movement of blood toward the central portion of the body under the conditions of weightlessness. So far there are a few disagreements between the findings reported by the different authors about early hemodynamic effects of head-down tilt.

Therefore, this study was done for the purpose to determine the early changes of hemodynamics and plasma catecholamine levels at head-down tilt from the prone position, which is more familiar than the supine position in the dog. Ten mongrel dogs weighing 8-12kg were anesthetized with the intravenous infusion of nembutal(30mg/kg), and the electromagnetic flow transducers were set up on the left common carotid and the right femoral artery to measure blood flow. Arterial pressure was measured directly by the strain gauge pressure transducer. Heart rate and respiratory rate, 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 determined by Peuler and Johnson's radioenzymatic method.

The postural changes were performed from the supine to the prone position, from the prone to the head-down position, and then to the prone position after head-down tilt and each posture was maintained for 30 minutes. The results are summarized as follows:

When the posture was changed from the supine to the prone position, mean arterial pressure, heart rate, respiratory rate, blood flow of common carotid artery and plasma epinephrine level were increased, and blood flow of femoral artery was decreased.

Tilting to the head-down position from the prone position, arterial pressure was increased initially and maintained thereafter, and heart rate was slightly decreased and then gradually increased. Blood flow of common carotid artery was revealed a persistent increase, but that of femoral artery was not significantly changed. The change of carotid peripheral artery resistance was not significant, and femoral peripheral artery resistance was slightly increased, and respiratory rate was increased.

At 30 minutes of head-down tilt, plasma norepinephrine level was slightly decreased and epinephrine level was increased.

In the early phase of the recovery prone position after head-down tilt, arterial pressure and heart rate were significantly( $p<0.01$ ) increased comparing to the values at the end of the head-down tilt, and the higher arterial pressure was shown persistently during the recovery prone position. The changes of blood flow of common carotid artery and carotid peripheral artery resistance were not significant, but in the femoral artery, blood flow was decreased and femoral peripheral artery resistance was increased. Respiratory rate was not significantly changed.

At 30 minutes of the recovery prone position after head-down tilt, plasma norepinephrine level was increased and plasma epinephrine level was significantly( $p<0.05$ ) increased comparing to the values at the end of head-down tilt.

Through the periods of the serial postural changes, the changes of pH of arterial and venous blood were not significant, and gradual increase of  $P_{O_2}$  and on the contrary gradual decrease of  $P_{CO_2}$  were revealed, their hematocrit were increased since 30 minutes of head-down tilt.

In conclusion, when the posture is changed from the supine to the prone position, the heart rate is significantly

increased and the other changes of cardiovascular systems are not significant.

At the early stage of head-down tilt, the heart rate is transiently decreased and it is suggestive that cardiopulmonary baroreceptor is adequately operated according to the increased venous return from the lower body, however the arterial pressure and the blood flow of common carotid artery are increased thereafter.

The significant rise of arterial pressure and heart rate in the recovery prone position after head-down tilt may be a result of the pressor reflex by the cardiopulmonary baroreceptor according to the diminution of a hydrostatic pressure produced by the head-down tilt, which is evidenced by an elevation of the plasma catecholamine levels.

**Key Words:** Head-down tilt, Plasma catecholamines, Prone position, Arterial blood flow, Cardiopulmonary baroreceptors.