

수동적 체위변동과 경사도에 따른 혈력학적 반응*

계명대학교 의과대학 생리학교실

채의업 · 서영성 · 박원균 · 송대규

서 론

생체의 심혈관계는 체위변동시 정수압의 영향을 받으며, 중력에 의해서 조성된 정수압의 효과가 혈력학적 변수들에 영향을 미친다는 것은 잘 알려진 사실이다. 생체에서는 정수압의 효과를 완화하는 이차적 조절반응을 기대할 수 있으므로(Matalon 및 Farhi, 1979), 체위변동시 초래되는 혈액재분포(Tomaselli 등, 1987)와 혈력학적 반응은 정수압의 효과 및 이에 따른 생체의 항상성을 유지하기 위한 조절반응의 결과로 표현될 것이다. 체위변동의 각도에 따라 정수압의 크기가 다를 것으로 생각되나, 생체조절 정도와 정수압 크기와의 상관관계에 대한 보고는 드물다.

본 실험은 앙와위에서 기립위 및 두부하위로 체위각도를 단계적으로 변동시켜 각 체위에서 심혈관계 반응들을 관찰함으로써, 체위변동과 혈력학적 변동과의 상관관계를 추구하고, 중력의 효과 및 이에 대한 생체의 조절기전을 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

실험은 건강한 남자대학생 12명을 대상으로 하였으며, 이들의 신체적 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Physical characteristics of subjects (n=12)

	Mean±SE*	Range
Age, years	22.5±0.39	18-24
Height, cm	176.4±1.35	168-187
Weight, kg	66±0.99	58-70
Boby Surface Area, m ²	1.82±0.019	1.69-1.97

*SE: standard error of mean.

체위변동은 경사대(tilting table)를 사용하여 앙와위, 기립위 15°, 30° 및 60° 그리고 두부하위 15° 및 30°로 하였으며, 각 체위는 5분간 유지하였다.

심박출량, 일회박출량, 심박수, 흉곽교류저항(thoracic electrical bioimpedance) 및 심근수축력을 나타내는 혈류가속지수(acceleration index) 등은 경부 및 흉부에 부착된 전극사이의 교류저항의 변동으로써, 혈류량을 연속적으로 측정할 수 있는 BoMed사의 교류저항심장기능측정기(impedance cardiograph, NCCOM₃-R₇)를 사용하여 측정하였다.

흉곽내체액량(thoracic fluid volume)의 변동은 impedance plethysmography 원리를 이용하여, $\Delta V = \rho L^2 (Z_1 - Z_0) / Z_0^2$ (V : 흉곽내체액량, ρ : 혈액전기저항, L : 전극간 길이, Z : 흉곽교류저항)의 공식(Patterson 등, 1988)을 사용하여 계산하였다.

혈압은 Nissei사의 DS-70형 자동혈압계로 심장위치의 좌측 상박에서 각 체위의 5분에 측정하였다. Fukuda Denshi사의 심전도계(FJC 7100)를 이용하여 심전도를 측정하여 RR간격, PR간격, QT간격, QRS간격 및 QRS축(electrical axis of QRS complex)을 계산하였다. 전말초혈관저항은 평균혈압과 심박출량으로 계산하였다.

혈압을 제외한 각 변수들은 매 1분마다 측정하였으며, 5분대의 측정치는 paired t-test로 앙와위에 대해 각각 유의성을 구하였다.

심 적

수동적 체위변동시 일회박출량 및 심박수의 변동은 그림 1과 같다. 일회박출량은 두부하위 15°에서 139ml, 30°에서 142ml로 앙와위의 122ml보다 각각 14%, 16% 씩 증가하였고($p < 0.01$), 기립위 15°, 30° 및 60°에서 109, 90 및 71ml로 앙와위보다 각각 11%, 26%,

* 이 논문은 1991년도 계명대학교 을종연구비 및 동산의료원 조사연구비로 이루어졌음.

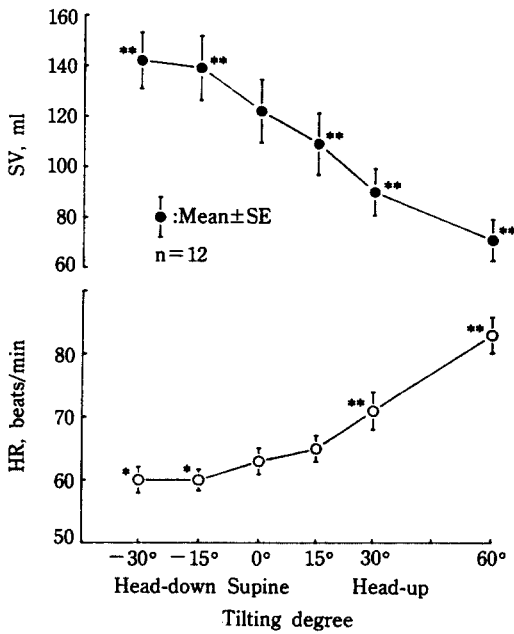


Fig 1. Stroke volume(SV) and heart rate(HR) measured at 5 min period in each position during passive body tilt. **p<0.01, *p<0.05 compared to supine.

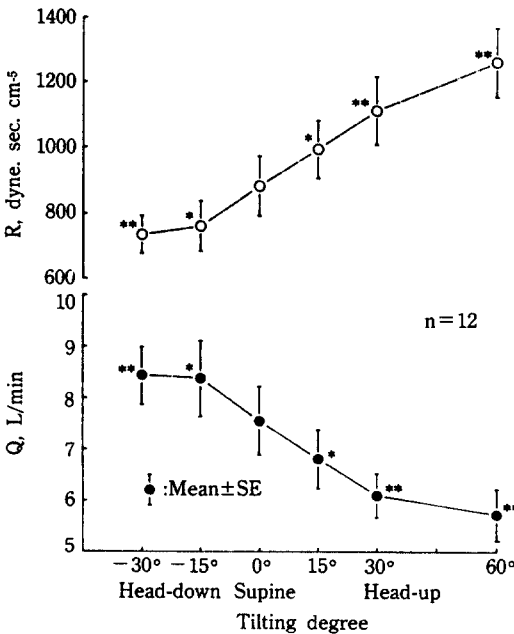


Fig 2. Total systemic vascular resistance(R) and cardiac output(Q) measured at 5 min period in each position during passive body tilt. **p<0.01, *p<0.05 compared to supine.

42% 씩 감소하였다(p<0.01). 심박수는 양와위의 분당 63회와 비교하여 두부하위 15°에서 60회, 30°에서 60회로 각각 5% 씩 감소하였고(p<0.05), 기립위 15°에서는 65회로 양와위에 비해 유의한 차이가 없었으나, 기립위 30° 및 60°에서는 분당 71 및 83회로 양와위보다 12% 및 31% 씩 증가하였다(p<0.01).

전말초혈관저항과 심박출량의 변동은 그림 2와 같다. 전말초혈관저항은 두부하위 15°, 30°에서 양와위의 883 dyne · sec · cm⁻⁵보다 각각 14% 및 17% (p<0.05) 감소하였고, 기립위 15°, 30°, 60°로 갈수록 각각 13%, 26%, 43% (p<0.05) 씩 증가하였다.

심박출량은 양와위의 7.6 l/min보다 두부하위 15°, 30°에서 각각 11%, 12% (p<0.05) 씩 증가한 반면, 기립위 15°, 30°, 60°로 체위변동시 각각 10%, 19%, 24% (p<0.05) 씩 감소하였다.

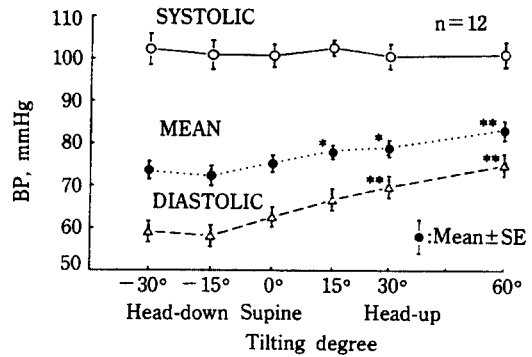


Fig 3. Blood pressure(BP) measured at 5 min period in each position during passive body tilt. **p<0.01, *p<0.05 compared to supine.

수동적 체위변동시 혈압의 변동은 그림 3과 같다. 수축기혈압은 두부하위나 기립위에서 유의할 만한 변동이 없었고, 평균혈압은 양와위에서 75 mmHg로, 두부하위 15°에서 72 mmHg, 30°에서 74 mmHg로 감소하나 유의한 변동은 아니었고, 기립위 15°, 30°, 60°에서 각각 78 mmHg(p<0.05), 79 mmHg(p<0.05), 83 mmHg(p<0.01)로 증가하였다. 확장기혈압은 두부하위에서 감소하였으나 유의한 변동은 아니었고, 양와위에서 기립위 15°, 30°, 60°로 체위변동시 점차적으로 증가하였다(p<0.01).

수동적 체위변동으로 인한 흉곽교류저항 및 흉곽내체액량의 변동은 그림 4와 같다. 흉곽내체액량은 양와위와의 비교에서 두부하위 15°, 30°로 체위변동시 각각 55.0ml, 107.3ml 씩 증가하였고(p<0.01), 기

Table 2. ECG findings during passive body tilts

n = 12

		Head-down tilt		Control Supine	Head-up tilt		
		-30°	-15°		15°	30°	60°
Electrical axis (°) of QRS	Mean	53.6	53.9	56.1	57.4	59.9*	63.4**
	± SE	9.57	9.70	10.69	9.19	9.54	10.63
RR interval (sec)	Mean	.99*	1.00*	.95	.93	.85**	.72**
	± SE	.034	.028	.031	.031	.036	.025
PR interval (sec)	Mean	.163	.163	.163	.158	.155*	.155**
	± SE	.0045	.0070	.0045	.0045	.0050	.0033
QT interval (sec)	Mean	.350*	.348	.338	.333	.335	.315**
	± SE	.0076	.0084	.0103	.0075	.0091	.0091
QRS interval (sec)	Mean	.063	.063	.065	.060	.063	.068
	± SE	.0025	.0025	.0033	.0000	.0025	.0037

Note: *p<0.05, **p<0.01 compared to control supine.

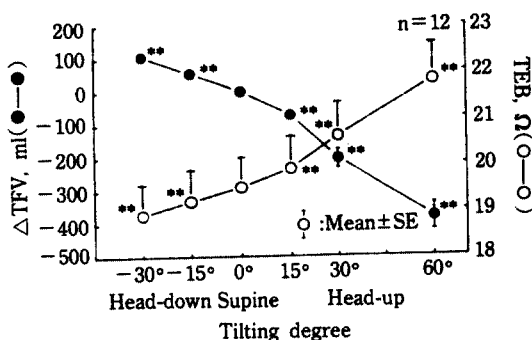


Fig 4. Changes of thoracic fluid volume(Δ TFV) and thoracic electrical bioimpedance(TEB) measured at 5 min period in each position during passive body tilt. **p<0.01 compared to supine.

립위 15°, 30°, 60°로 체위변동시 각각 71.7ml, 203.6 ml, 381.3ml씩 감소하였다(p<0.01). 흉곽교류저항은 두부하위 15°, 30°로 체위변동시 각도가 커질수록 감소하였으나, 기립위 15°, 30°, 60°에서는 두부하위 완 반대로 점차적으로 증가하였다(p<0.01).

수동적 체위변동에 따른 QRS축과 혈류가속지수의 변동은 그림 5와 같으며, 심전도 소견은 표 2와 같다. QRS축은 양와위에서 56.1°였으며, 기립위시 점차 증가하였고, 두부하위시 감소하였다. 혈류가속지수는 기립위시 양와위에 비하여 점차 감소하였고(p<0.05), 두부하위시는 점진적으로 증가하였다(p<0.05).

각 체위에서 매분마다 심박출량, 일회박출량, 심박수, 흉곽내체액량의 변동을 측정된 결과는 그림 6~9 와 같다. 각 체위에서 상기 측정치는 초기 1분에 급

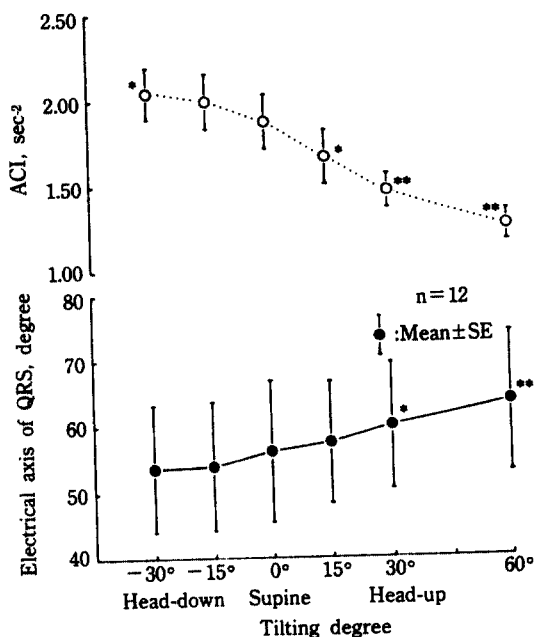


Fig 5. Acceleration index(ACI) and electrical axis of QRS measured at 5 min period in each position during passive body tilt. **p<0.01, *p<0.05 compared to supine.

격히 변화하였고, 2분 이후에는 비슷하게 유지되는 양상이었으며, 두부하위 30°, 15°에서 기립위 15°, 30°, 60°로 갈수록 심박출량, 일회박출량, 흉곽내체액량은 점진적인 감소를 보인 반면에, 심박수는 점차적으로 증가하였다.

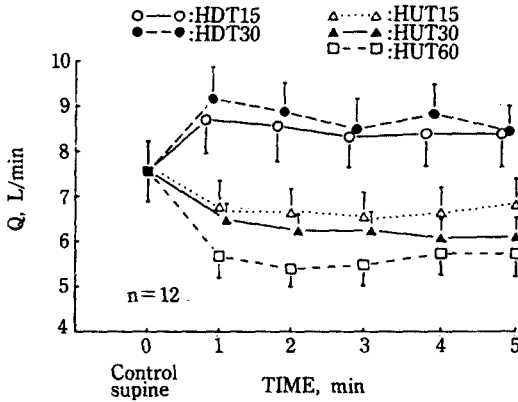


Fig 6. Changes of cardiac output(Q) measured at every minute in each position according to time course during tilt. Each value represents Mean±SE. HDT: head-down tilt, HUT: head-up tilt.

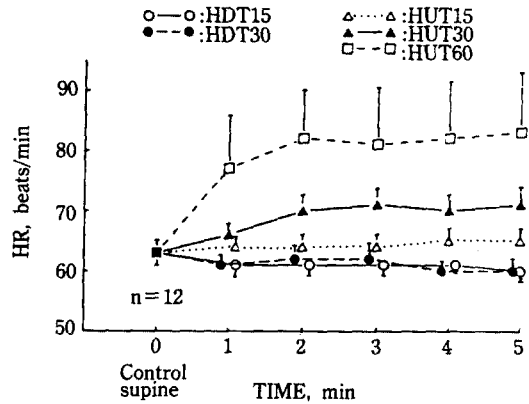


Fig 8. Changes of heart rate(HR) measured at every minute in each position according to time course during tilt. Each value represents Mean±SE. HDT: head-down tilt, HUT: head-up tilt.

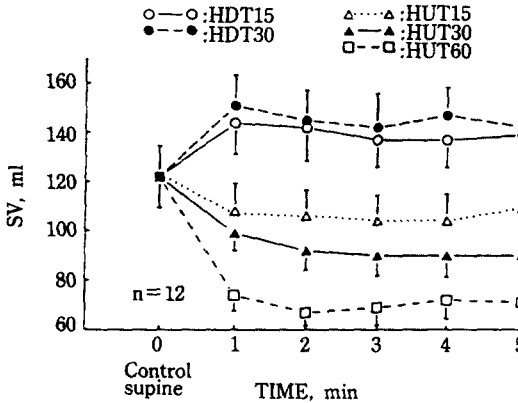


Fig 7. Changes of stroke volume(SV) measured at every minute in each position according to time course during tilt. Each value represents Mean±SE. HDT: head-down tilt, HUT: head-up tilt.

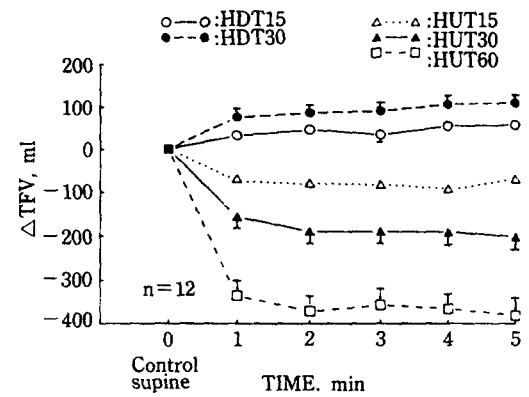


Fig 9. Changes of thoracic fluid volume(ΔTFV) measured at every minute in each position according to time course during tilt. Each value represents Mean±SE. HDT: head-down tilt, HUT: head-up tilt.

한편 본 실험의 체위변동시 심박출량, 일회박출량, 심근수축력, 심박수, 흉곽내체액량 및 QRS축의 변

동은 모두 체위변동 각도의 사인함수와 유의한($p < 0.01$) 상관관계를 보였다(표 3).

Table 3. Relationship between cardiovascular variables(y) and sine of tilt degree(x) during postural changes

	Regression equation	Correlation coefficient(r)	p value
\dot{Q} (L/min)	$y = -2.24x + 7.48$	0.981	<0.01
SV(ml)	$y = -55.15x + 120.04$	0.990	<0.01
HR(beats/min)	$y = 15.89x + 64.71$	0.922	<0.01
R(dyne.sec.cm ⁻⁵)	$y = 403.81x + 899.28$	0.993	<0.01
ΔTFV(ml)	$y = -354.24x - 31.02$	0.979	<0.01
ACI(sec ⁻²)	$y = -0.61x + 1.80$	0.988	<0.01
QRS(°)	$y = 7.31x + 56.32$	0.982	<0.01

Note : \dot{Q} : cardiac output, SV: stroke volume, HR: heart rate, R: total systemic vascular resistance, ΔTFV: change of thoracic fluid volume, ACI: acceleration index, QRS: electrical axis of QRS.

고 찰

Matalon 및 Farhi(1979)는 양와위에서 기립위 15°, 30°, 45°, 60°로 체위를 변동시켰을때, 심박출량은 각각 8%, 21%, 24%, 35% 감소하였고, 일회박출량은 각각 10%, 31%, 41%, 48% 감소하였으며, 심박수는 각각 5%, 14%, 23%, 29%씩 증가하는 것을 관찰하였다. 이는 본 실험의 결과와 비슷한 양상이었다. 또한 Wade 및 Bishop(1962)은 심박출량이 양와위에서 기립위시 20~25% 감소한다고 하였으며, Reeves 등(1961)은 60° 기립위시 심박출량이 20~25% 감소한다고 하였다. 기립위와 반대로 Katkov 등(1979)은 20° 두부하위시 심박출량은 27% 증가하고 일회심박출량은 15% 증가한다고 하여 변화정도의 차이는 있으나, 본 실험의 결과와 비슷하였다.

본 실험의 양와위에서 심박출량은 평균 7.6 l/min 으로서, CO₂ 재호흡법으로 측정한 Matalon 및 Farhi(1979)의 8.6 l/min, 직접 Fick법으로 측정한 Bevegard 등(1966) 및 acetylene 재호흡법의 Cassidy 등(1977)의 8 l/min 보다 작았으나, CO₂ 재호흡법으로 측정한 체의업(1990)의 6.1 l/min이나 체의업 등(1991)의 5.2 l/min보다 큰 값이었다. Impedance법으로 심박출량을 측정할때 측정오차가 ±20%라는 점을 감안한다면 별 문제는 없으나(Sramek, 1989), 다음과 같은 오차의 요인은 있다. 본 실험에서 사용되어진 impedance cardiograph(BoMed사, NCCOM₃ R₂)는 다음식에 의하여 심박출량을 계산한다.

$$\text{심박출량} = \delta \left((0.17H)^3 / 4.2 \right) \times \text{VET} \times (dZ/dt)_{\max} / Z_0 \times \text{심박수} \quad (\text{Bernstein, 1986})$$

δ : 체중보정지수 H : 신장

VET : 심실수축기간 Z₀ : 흉곽교류저항

여기서 $\delta \left((0.17H)^3 / 4.2 \right)$ 는 흉곽내에서 전도체로 참여하는 조직의 용적을 나타내는바(Sramek, 1989), 경부 및 흉부전극 사이의 길이가 서양인에서 신장(H)의 17%라는 가정이 들어 있다. 그러나, 한국인 남자대학생을 대상으로 실험한 본 연구에서는 피검자 모두 신장에 비해 전극사이의 길이가 17%이하였으며(14~15%), 그로 인해 심박출량이 실제치보다 크게 계산될 수 있다고 생각된다.

본 실험에서 심박출량 및 일회박출량이 경사도의 사인함수, 즉 가해지는 정수압의 크기에 따라 비례적 상관관계(표 3)가 있었으며, 또한, 흉곽내체액량은 두부하위시 점진적으로 증가하고, 기립위시 감소하

였다. 측정된 흉곽내체액량은 중심정맥압과 거의 비례하며(Ebert 등, 1986), 정맥환류량을 중심정맥압보다 더 잘 반영한다(Berman 등, 1971)는 점에서, 15°, 30° 두부하위시에는 점진적인 정맥환류량의 증가와 기립위시에는 체위변동 각도가 커짐에 따라 점진적인 정맥환류량의 감소가 있었음을 알 수 있었다(Mengesha 및 Bell, 1979). 정맥환류량의 변동에 대해 심박수 및 말초혈관 저항의 변동도 비례적 관계(표 3)를 보였다. 기립위로의 체위변동은 중력이 작용하는 방향, 즉 하지로의 유동성 있는 혈액의 이동을 초래하며, 이는 심장으로서의 정맥환류량의 감소를 초래한다(Abel 및 Waldhausen, 1968). 정맥환류량 감소시 심혈관계의 조절은 심장 및 뇌와 같은 중요장기에 적절한 혈류공급을 하기 위함이며, 어떤 수준 이상의 혈류량의 감소는 방지하여야만 할 것이다. Tuckman 및 Shillingford(1966)는 20° 이상의 기립위시 더 이상의 심박출량 감소가 없다 하였고, 이는 본 실험의 결과와 달랐다. 그러나 Matalon 및 Farhi(1979)는 90° 기립위까지 심박출량은 점차 감소한다고 하였다. 본 실험에서도 60° 기립위까지 점진적으로 심박출량이 감소함을 관찰할 수 있었다. 그러므로 기립위 및 좌위로 대부분의 생활을 하는 인체는 60° 기립위시에 중력의 영향에 의한 정맥환류량 감소에도 심각한 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다.

두부하위시는 양와위에 비해 심박출량의 증가가 있었으며, 이는 Coonan 및 Hope(1983)의 결과와 일치하였다. 그러나 Coonan 및 Hope(1983)는 75° 이상의 두부하위시에는 오히려 정맥환류가 감소하여 심박출량이 감소한다고 지적하고 있다.

정맥환류량의 변동에 대한 심혈관계의 조절에는 경동맥동 및 대동맥궁에 위치한 동맥압력수용체와 심방, 심실, 폐혈관 및 대정맥동에 산재해 있는 심폐압력수용체들이 작용한다는 것은 잘 알려진 사실이다. 동맥압력수용체는 평균혈압, 맥압 및 dP/dt 등이 변할때 반응하며(Zoller 등, 1972), 심박수에 현저한 영향을 미치고(Rowell, 1986), 내장, 신장, 피부(Beiser 등, 1970; Rowell, 1986; Zoller 등, 1972), 근육(Roddie 및 Shepherd, 1958), 및 피하조직(Henriksen, 1977) 등의 혈관긴장도를 조절하는 것으로 알려져 있다. 심폐압력수용체는 일종의 용적(volume) 및 신장 수용체(stretch receptor)로서, 중심성혈액량의 변동에 반응하며(Honig, 1988), 심방에 분포하는 수용체는 자극을 받을시 심박수를 증가시키나, 심실 및 폐혈관에 있는 수용체는 심박수를 감소시키고, 말초

혈관저항을 감소시킨다고 한다(Blomqvist 및 Stone, 1983; Abel 및 McCutcheon, 1979; Honig, 1988; Ganong, 1989). 심폐압력수용체의 작용대상혈관은 인체에서 피부(Rowell, 1986), 근육혈관(Roddie, 1983) 및 신장혈관(Blomqvist 및 Stone, 1983) 등으로 알려져 있다. 인체에서 혈관에 대한 동맥 및 심폐압력수용체의 원심성 신경은 모두 교감성 혈관수축섬유(sympathetic vasoconstrictor fiber: Zoller 등, 1972; Rowell, 1977; Gaskell 및 Burton, 1953)이며, 이 신경섬유의 활성화에 따라 혈관긴장도가 조절된다.

본 실험에서 심박수 및 전말초혈관저항이 두부하위시 감소하고, 기립위시 점차적으로 증가한 것은 압력수용체들의 조절작용에 의한 것으로 사료된다. 또한, 기립위시 체위변동 각도가 커짐에 따라, 심박수의 증가폭은 커지는 양상을 보였다. 이는 앙와위에서 90° 기립위까지 체위변동을 시행한 Tuckman 및 Shillingford(1966)의 실험결과와 같았으며, 자극시 심박수 변동이 현저한 동맥압력수용체가 체위변동 각도가 클 경우 심폐압력수용체와 더불어 참여한 것(Beiser 등, 1970; Zoller 등, 1972)으로 추측된다.

앙와위에 비해 두부하위 30°에서 심박수의 감소폭이 15° 두부하위시의 그것과 차이없이 나타난 것은 심방의 확장에 의해 심박수를 증가시키는 심방압력수용체가 심박수를 감소시키는 심폐압력수용체와 함께 자극된 것으로 보이거나(Matalon 및 Farhi, 1979; Farhi 및 Linnarsson, 1977), 심박수를 감소시키는 압력수용체가 더 우세하게 작용된 때문으로 생각된다.

인체에서 기립위로 체위변동시 심장보다 낮게 위치한 사지의 말초혈관저항의 증가정도는 압력수용체의 작용효과를 배제할 수 있는 척수마취후에도 마취전과 거의 동일하게 나타난다(Henriksen, 1977; Gaskell 및 Burton, 1953). 이는 혈관의 횡단압력(transmural pressure)이 증가할때 유발되는 국소혈관 반응으로서, 혈관근의 고유한 성질인 근원성반응(Bayliss effect, myogenic response: Johnson 등, 1976)에 의해 초래될 수 있다. 또한, lidocaine으로 국소마취후 기립위로 체위변동시, 마취부위의 혈관수축반사가 둔화된다는 점에서(Skagen 등, 1982; Skagen 및 Bonde-Petersen, 1982), 소정맥의 내압이 증가할때, 세동맥이 수축을 일으키는 국소신경반사, 즉, 교감신경성 축색반사(axon reflex)인 소정맥-세동맥 반사(veno-arteriolar reflex: Henriksen, 1976, 1977; Skagen 등, 1981, 1982; Gaskell 및 Burton, 1953)도 함께

참여할 것으로 보인다. 소정맥-세동맥 반사는 피부, 근육 및 피하조직의 혈관에서 관찰된 바 있으며(Henriksen, 1977; Gaskell 및 Burton, 1953), 척수로 부터 내려오는 교감신경계 활성화의 정도와 혈장 epinephrine 및 norepinephrine의 농도에 따라 그 반응정도가 조절되는 것으로(Henriksen, 1977) 알려져 있다. 이와 더불어, Thompson 등(1983)은 정맥내압이 증가했을 때, 하지근육의 긴장이 증가하여, 정맥환류를 촉진하는 반사를 발견하였다.

그러므로, 본 실험에서 기립위시 말초혈관저항 증가는 압력수용체에 의한 중심성 혈관긴장도 조절기전과 함께 심장보다 상대적으로 낮은 곳에 위치한 혈관에서 나타나는 여러 국소적 조절기전들에 의해 야기된 것(Rowell, 1986; Henriksen, 1977)으로 사료된다.

본 실험에서 전말초혈관저항을 계산함에 있어 중심정맥압을 고려하지 않음으로 인하여, 만일 중심정맥압이 앙와위에 비해 두부하위시 증가하고, 기립위시에 감소하였다면, 두부하위시의 전말초혈관저항은 실제값보다 크게 계산되며, 기립위시에는 반대로 작게 계산되었을 수 있다. 그러나, 전말초혈관저항을 계산함에 있어, 평균동맥압에 비해 중심정맥압은 훨씬 작으므로, 상대적인 혈관저항의 변동으로 보는데는 무리가 없었다(Krasney 등, 1982).

심근수축력은 두부하위보다 앙와위에서, 다시 기립위로 체위변동시 점차 감소하였다. 이는 심장은 단지 Frank-Starling 법칙을 따른 것으로 사료된다. 그리고 QRS축의 변동으로 보아 체위변동시 횡격막의 상대적 이동(채의업, 1990)으로, 두부하위에서 기립위로 갈수록 심장은 신체 종축으로 놓이게 됨을 알 수 있었다.

요 약

앙와위에서 기립위 및 두부하위로 체위각도를 점진적으로 변동시켜 각 체위에서 심혈관계 반응들을 관찰함으로써, 체위변동과 혈력학적 변동간의 상관관계를 추궁하고, 중력의 효과 및 생체조절의 기전을 알아보고자 하였다.

실험은 건강한 남자대학생 12명을 대상으로 하였으며, 체위변동은 경사대를 사용하여 앙와위에서 수동적으로, 기립위 15°, 30° 및 60° 그리고 두부하위 30°, 15°로 하였으며, 각 체위기간은 5분으로 하였다. BoMed사의 교류저항심장기능측정기(impedance ca-

rdiograph)을 사용하여 심박출량, 일회박출량, 흉곽 교류저항 및 심근수축력의 지표인 혈류가속지수를 측정하였고, 흉곽내체액량의 변동은 impedance plethysmography 원리를 이용하여 계산하였다. 혈압은 Nissei사의 DS-70형 자동혈압계로 상박에서 측정하였고, Fukuda Denshi사의 심전도계를 이용하여 심전도와 심박수를 측정하였다.

앙와위에서 15°, 30°, 60° 기립위로 체위변동시 일회박출량은 각각 11%, 26%, 42%, 심박출량은 각각 10%, 19%, 24%씩 감소하였다. 심박수는 각각 2%, 12%, 31%씩 증가하였으며, 전말초혈관저항도 각도가 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 경향이였다. 혈류가속지수는 점진적으로 감소하였다.

기립위완 반대로 30°, 15° 두부하위로 체위변동시 앙와위에 비해 일회박출량은 각각 17%, 14%씩 증가하였으며, 심박출량도 12%, 11%씩 증가하였다. 심박수는 30°, 15° 두부하위에서 각각 5%씩 감소하였다. 전말초혈관저항은 앙와위에 비해 두부하위시 각도가 증가함에 따라 감소하였으며, 혈류가속지수는 증가하였다.

수축기혈압은 체위변동 전반에 걸쳐 유의한 변동이 없었으나, 평균혈압 및 확장기혈압은 기립위시 점차적으로 증가하였고, 두부하위시 감소하는 양상이었다. 흉곽내체액량은 두부하위시 점차적으로 증가하였고, 기립위시 경사각도에 비례하여 감소하였다. 심전도상 QRS축은 앙와위에서 56.1°였으며, 기립위시 점차적으로 증가되었고, 두부하위시 감소하는 경향이였다. 본 실험의 체위변동시 초래된 혈력학적 반응은 모두 경사도와 유의한 상관관계가 있었다.

심폐압력수용체는 두부하위로의 체위변동시 중심성혈액량 증가에 대해 말초혈관저항 및 심박수를 각각 감소시켜 혈압을 유지하려는 것으로 보인다. 또한 기립위로의 체위변동시 체위변동 각도가 클 경우에는 심박수의 증가와 혈압증가로 볼때, 심폐압력수용체와 더불어 동맥압력수용체도 이 조절에 함께 관여한 것으로 사료된다. 압력수용체에 의한 심근수축력의 변동은 없었으며, 심장은 단지 Frank-Starling 법칙을 따라, 일회수축량이 변한 것으로 사료된다. 심박수의 변동으로 보아 두부하위 30°에서 심방의 확장으로 인해 Bainbridge 반사와 같이 심박수를 증가시키는 심방의 압력수용체가 작용했을 것으로 보이나, 심박수를 감소시키는 심폐압력수용체가 우세하게 작용된 것으로 사료된다. 본 실험에서 심혈관계 조절의 정도는 작용하는 중력의 영향, 주로 경사도에

다른 수주압력의 크기에 비례하는 것으로 보인다.

참 고 문 헌

Abel FL, McCutcheon EP: *Cardiovascular Function: Principles and Applications*. Boston, Little Brown Co, 1979, pp 319-336.

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

Beiser GD, Zelis R, Epstein SE: The role of skin and muscle resistance vessels in reflexes mediated by the baroreceptor system. *J Clin Invest* 1970; 49: 225-231.

Berman IR, Scheetz WL, Jenkins EB, et al: Transthoracic electrical impedance as a guide to intravascular overload. *Arch Surg* 1971; 102: 61-64.

Bernstein DP: A new stroke volume equation for thoracic electrical bioimpedance: Theory and rationale. *Crit Care Med* 1986; 14(10): 904-909.

Bevegard S, Freychuss U, Strandell T: Circulatory adaptations to arm and leg exercise in supine and sitting position. *J Appl Physiol* 1966; 21: 37-46.

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.

Cassidy SS, Eschenbacher WL, Robertson CH, et al: Effects of IPPB and PEEP on cardiovascular function and pulmonary circulation in normal human subjects(Abstract). *Am Rev Respir Dis* 1977; 115: 313.

채의업 : 체위변화에 의한 심박출량, FRC 및 교감신경-부신계의 반응. 계명의대 논문집 1990; 9(1): 51-50.

채의업, 여운재, 박원균 : 모의무중력 상태에서 혈중 catecholamine 농도 및 심박출량의 변화. 최신의학 1991; 34(3): 39-52.

Coonan TJ, Hope CE: Cardiorespiratory effects of changes of body position. *Can Anesth Soc J* 1983; 30: 424-437.

Ebert TJ, Smith JJ, Barney JA, et al: The use of thoracic impedance for determining thoracic blood volume changes in man. *Aviat Space Environ Med* 1986; 57: 49-53.

Farhi LE, Linnarsson D: Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35°C.

- Respir Physiol* 1977; 30: 35-50.
- Ganong WF: *Review of Medical Physiology*, ed 14. London, Appleton & Lange, 1989, pp 503-513.
- Gaskell P, Burton AC: Local postural vasomotor reflexes arising from the limb veins. *Circ Res* 1953; 1: 27-39.
- Henriksen O: Local sympathetic reflex mechanism in regulation of blood flow in human subcutaneous adipose tissue. *Acta Physiol Scand* 1977; 450(suppl): 7-48.
- Honig CR: *Modern Cardiovascular Physiology*, ed 2. Boston, Little Brown Co, 1988, pp 253-261.
- Katkov VE, Chestukhin VV, Lapteva RI, et al: Central and cerebral hemodynamics and metabolism of the healthy man during head-down tilting. *Aviat Space Environ Med* 1979; 50(2): 147-153.
- Klasney JA, Pendergast DR, Powell E, et al: Regional circulatory responses to head-out water immersion in anesthetized dog. *J Appl Physiol* 1982; 53: 1625-1633.
- Matalon SV, Farhi LE: Cardiopulmonary readjustments in passive tilt. *J Appl Physiol* 1979; 47: 503-507.
- Mengesha YA, Bell GH: Forearm and finger blood flow responses to passive body tilts. *J Appl Physiol* 1979; 46(2): 288-292.
- Reeves JT, Grover RF, Blount SG Jr, et al: Cardiac output response to standing and treadmill walking. *J Appl Physiol* 1961; 16: 283-288.
- Roddie IC, Shepherd JT: Receptors in the high-pressure and low-pressure vascular systems-their role in the reflex control of the human circulation. *Lancet* 1958; 8: 493-496.
- Roddie IC: Circulation to skin and adipose tissue, 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 285-317.
- Rowell LB: Reflex control of the cutaneous vasculature. *J Invest Dermatol* 1977; 69: 154-160.
- Skagen K, Haxholdt O, Henriksen O, et al: Effect of spinal sympathetic blockade upon postural changes of blood flow in human peripheral tissues. *Acta Physiol Scand* 1982; 114: 165-170.
- Sramek BB: Hemodynamic and pump-performance monitoring by electrical bioimpedance: New concept, in MacIntyre N, Branson R(eds): *Problems in Respiratory Care*. Lippincott, 1989, pp 274-290.
- Thompson FJ, Yates BJ, Franzen O, et al: Lumbar spinal cord responses to limb vein distention. *J Auto Nerv Sys* 1983; 9: 531-546.
- 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.
- Tuckman J, Shillingford J: Effect of different degrees of tilt on cardiac output, heart rate, and blood pressure in normal man. *Br Heart J* 1966; 28: 32-39.
- Wade OL, Bishop JM: *Cardiac Output and Regional Blood Flow*. Philadelphia, Pa: Davis, 1962, pp 39-43.
- Zoller RP, Mark AL, Abboud FM, et al: The role of low pressure baroreceptors in reflex vasoconstrictor responses in man. *J Clin Invest* 1972; 51: 2967-2972.

= Abstract =

Hemodynamic Responses to Head-up and Head-down Tilts

E Up Chae, MD; Young Sung Suh, MD; Won Kyun Park, MD; Dae Kyu Song, MD

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

The purpose of this study was to investigate the relationship between the effects of gravity and regulatory mechanisms of the cardiovascular system by observing hemodynamic responses to passive body tilts.

The study was carried out in 12 healthy young adult males. The postural changes were passively tilted from the supine control position(SCP) to the 15°, 30° and 60° head-up position(HU), and then the 30° and 15° head-down position(HD) using a tilting table, and lasted for 5 minutes in each grade of the tilted position.

Cardiac output(\dot{Q}), stroke volume(SV), acceleration index(ACI) of the heart, and thoracic electrical bioimpedance were measured by the impedance cardiograph. Thoracic fluid volume(TFV) changes were calculated by the principle of impedance plethysmography. In addition, blood pressure(BP), heart rate(HR), total systemic vascular resistance(R), and ECG were measured.

In the postural changes from supine to the 15°, 30° and 60° HU, the SV gradually decreased($p < 0.01$) by 11%, 26% and 42%, and the \dot{Q} also decreased by 10% ($p < 0.05$), 19% and 24% ($p < 0.01$) respectively as compared with SCP. However, The HR and R gradually increased.

On the contrary, in the postural changes from supine to the 30° and 15° HD, the SV increased by 16% and 14%, and the \dot{Q} increased by 12% and 11% respectively, and the HR and R decreased.

The ACI increased in the HD, but decreased in the HU with the increasing fraction of the tilting degree.

There was no significant change in the systolic BP, and the mean BP and diastolic BP gradually increased proportionally to the tilting degree in the HU, but they decreased in the HD.

The TFV gradually increased in the HD, and it decreased in the HU.

The average electrical axis of QRS complex on ECG was 56.1° in the SCP and it increased in the HU, however it decreased in the HD.

In general, it is speculated that changes of hemodynamic variables on the effect of gravity were positively related to the tilting degree.

From the above results, it may be suggested that the cardiopulmonary baroreceptors reduce R and HR to maintain BP against the increase of central blood volume. It may be also suggested that, as the tilting degree increases in the HU, both the arterial baroreceptors and cardiopulmonary baroreceptors are involved in the regulatory mechanisms. It can be said that changes of the SV of the heart are related to Frank-Starling's law according to the venous return.

In spite of the possibility of the fact that the atrial baroreceptors may increase the HR by the Bainbridge reflex in consequence of atrial distention in the HD, however, the negative chronotropic effect through cardiopulmonary baroreceptors appeared to be predominant.

This study provides evidence that the extent of the cardiovascular regulation is proportional to the effects of gravity that is demonstrated by the magnitude of hydrostatic pressure according to the the tilting degree.

Key Words: Head-down and head-up tilts, Hemodynamics, Impedance cardiograph