■ 研究論文

*Journal of the Human Engineering Society of Korea*
*Vol.11, No.1, 1992*

# 體位變化時 心臟의 수축기 시간간격 및 Heather Index의 變化

# Cardiac Systolic Time Intervals and Heather Index Measured by Impedance Cardiography during Postural Changes

고성경* · 김창규** · 황수관*** · 김덕원***

## ABSTRACT

Cardiac systolic time intervals (STIs) and Heather index (HI) were used to access changes in left ventricular function of six male subjects exposed to postural changes, 0°, ±2°, ±45°, ±90°. Significant prolongation of the pre-ejection period (PEP) and PEP/LVET ratio, shortening of the left ventricular ejection time (LVET), STI, HI and $1/PEP^2$ were observed during exposure to both +45° and +90°. But the values measured during -45° and -90° were reversed. Changes in fluid shift, filling volume, preload, after load and sympathetic activities may account for the observed findings. Early response of cardiac functions was recorded using impedance cardiography. This method is very simple but accurate. Thus it will be useful in this aerospace and work physiology.

In conclusion, STIs appear to provide reliable noninvasive method for examining changes of cardiac function during exposure to postural changes.

Key Words : Postural change, Impedance Cardiography, systolic time intervals (STIs), Heather index(HI)

## Ⅰ. 서 론

현대과학의 총체적인 공로에 의해 항공산업은 크게 발달하였으며 항공기 성능 또한 우수해진 것이 사실이다. 그러나 이러한 항공산업의 발달에 비해 항공기를 조종하는 인간의 능력은 무한히 증가될 수 없는 것이어서 향후에는 인간의 능력한계가 제한요소(limiting factor)로 작용할 가능성이 더욱 커졌다[2].

이같은 사실로 볼 때에 체위변화 중에 심장의 수축기 시간간격(systolic time intervals, STIs)을 측정하는 것은 심장의 기계적인 기능과 심혈관계

* 공군사관학교 체육처
** 국민대학교 스포츠과학연구소
*** 연세대학교 스포츠과학연구소

변화를 조사하는 진단적 의미[3] 뿐만 아니라 우주인의 임무수행 능력 평가시 심혈관계의 한계를 예측할 수 있는 하나의 방법[5]으로서 의의있는 일이라 생각된다.

STI는 임피던스 심장기록과 동시에 기록된 심전도를 통하여 측정된 구혈전기(pre ejection period, PEP)와 좌심실 구혈시간(left ventricular ejection time, LVET)의 합으로 산출하는데, 정상인에 있어서 그 간격이 엄격하게 조절되며 정맥환류량, 일회박출량 및 심근수축력 등의 변화를 민감하게 반영함으로써 비관혈적인 진단을 가능하게 한다[6]. 특히 이들 값은 심박수에 따라 長短의 차이를 나타내므로 심박수에 대한 보정치는 환자의 진단에 특히 유용하다고 한다[7]. 이중 PEP/LVET비는 심박수에 대한 보정없이 수축기 시간간격을 단적으로 나타낼 수 있는 지표로서 Weissler등[7]에 의하면 0.35± 0.04로 항시 일정값을 나타내므로 비율의 변화에 의해 좌심실의 기능을 판단할 수 있다고 하였다. 즉 PEP/LVET가 증가하는 것은 좌심실 부전, β수용기 遮斷, 혈관수축제를 사용할 때, 심실용적의 감소시, left bundle branch block, left axis deviation 그리고 승모판 부전시에 나타나며 감소하는 것은 digitalis를 사용하거나 β수용기 자극, 대동맥판 협착 또는 부전시에 나타나기 때문이다[4].

한편, 심근수축력을 평가하는 지표에 있어서 Frey[19]는 PEP자체가 심장의 수축능력을 표현하는 유용한 지표라고 하였으며 Hill등[6]과 Reitan등[24]은 $1/PEP^2$이 좌심실의 peak ascending aortic blood flow와 선형적인 관계가 있음 등을 들어 좌심실 기능의 평가지표로 제시하였다. 또한 Weissler등[7]은 PEP/LVET의 값이 엄격히 유지되며 크기의 증감에 따라 임상적인 측면의 적용가능성을 들어 역시 심장기능 평가지표로 제시하였다. 한편 Loren Heather는 임피던스 변화의 미분값의 최대치 절대값 ( $|dz/dt|_{max}$)을 심전도의 R wave에서 $|dz/dt|_{max}$까지의 시간차로 나눈 값을 Heater index 로서 제시했는데 Hill등[6]은 이 값이 PEP/LVET와 상관이 크며 일회박출량, 심박출량과도 밀접한 관계가 있어 유용한 지표로서 가치를 확인하였다. 그러나 이들 사이에 어떠한 상관관계가 있는지 여부는 아직까지 동시에 논의된 바 없어 이에 대한 재고가 필요한 실정이다.

또한, 체위변화시 심장 수축기 시간간격의 반응에 대하여 직립위에서 LVET는 단축되며 PEP는 연장된다고 알려져 있는데 이는 중력의 상대적 크기 변화에 의해 체액의 이동효과[8~11] 및 정맥환류량의 변화[12, 13]와 함께 반사신경계의 작용[14]이 관여된 것으로 보고되고 있으나 연구마다 다소의 차이를 나타내고 있어 보다 많은 연구가 필요한 실정이다. 이러한 현상은 우주인에 대한 직접적인 측정이 어렵고 연구접근에 따르는 현실적 제약이 많아 체위변화와 같은 模擬방법을 채택하였으나 경사각의 크기, 체위변화 지속시간 및 측정방법 상의 차이가 있었기 때문에 나타난 것이다[2].

따라서 본 연구에서는 항공임무 중에 겪게 되는 체위변화시 심장기능의 반응을 究明하고, 심장의 수축도 평가지표 사이의 관계를 조사하고자 최근 본 연구진에 의해 개발된 임피던스 심장기록법[15, 16]을 이용하여 仰臥位(supine)를 대조 체위로 하여 체위간 심장기능의 변화 차이와 체위변화시 시간경과에 따른 변화를 관찰하였는 바, 의의있는 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 대상 및 방법

연구대상은 심폐질환이 없고 신체단련의 경험이 없는 건강한 남자 6명을 임의로 선정하였으며, 측정시 개인별 시간을 매일 동일하게 하였을 뿐만 아니라, 실험기간 중 격무 및 음주, 약물 복용등을 제한하였고 측정전 30분이상 기립 또는 의자에 앉아 휴식을 취하게 하여 일주기(circardian rhythm) 영향 등[27]의 부가적인 효과를 최소화 하고자 하였다. 연구대상의 신체적특성은 Table 1에서 보는 것과 같다.

체위변화는 경사대를 이용하였으며 앙와위에서의 안정시, 체위변화시, 그리고 회복기의 연속된 절차로 진행하였다. 각 단계는 각각 5분씩으로, 체위변화는 0°를 대조체위로 하여 두부상위 +2°,

Table 1. Characteristics of Subjects

| Age (yr) | Height (cm) | Weight (kg) | Chest (cm) | No |
|---|---|---|---|---|
| 21.57 | 175.67 | 64.87 | 89.67 | 6 |
| 0.42 | 2.32 | 0.62 | 2.12 | |

Values are means ± S.E.
Chest : The girth of the chest

+45°, +90°와 두부하위 -2°, -45°, -90°의 6가지 체위를 택하였다. 이때 +90°의 체위는 직립의 형태로서 두발을 딛고 서 있을 때 정맥환류량의 증가효과[13]를 줄이기 위해 大腿와 샅을 연결한 멜빵에 매달리도록 하였다.

임피던스 측정법은 황 등[4]의 방법에 따라 청동망으로 된 4개의 밴드형태 전극을 이마(Ⅰ), 목(Ⅱ), 흉골하단(Ⅲ), 그리고 흉골하단의 10cm 아래복부(Ⅳ)에 부착하여 흉곽 임피던스의 변화를 기록하였다. 임피던스에 의한 심장기능의 측정은 전극 Ⅰ, Ⅳ를 통해 고주파(100kHz) 정전류(3.5 mA, constant sinusoidal current)[26]를 흘려주고 전극 Ⅱ, Ⅲ을 통해서 흉곽내의 혈량변화로 인한 임피던스의 상대적 크기 변화를 감지하도록 하였다. 이는 고유저항이 낮은 혈액이 조직내로 유입될 때 그 부위의 임피던스가 감소하는 원리를 이용한 것이다.

STI는 Figure 1에서 보는 것과 같이 PEP와 LVET의 합으로 산출하였다. PEP는 심실의 탈분극 시작인 ECG의 Q파에서 대동맥판(aortic valve)이 열리는 시점인 임피던스 심장기록의 경동맥파(carotid pulse wave) 시작점(B)까지를 측정하여 구하였다. 또한 LVET는 경동맥파의 시작점에서 대동맥판이 닫힐때 혈액의 일시적 역류현상에 의해 생기는 切痕(dicrotic notch, x)까지의 시간을 측정하여 얻었다.

Heather index는 Lorn Heather의 방법[6]에 의하여 임피던스의 최대변화율을 심근수축력으로 나누어 구했으며, 심근수축력은 ECG의 R파와 $|dz/dt|_{max}$와의 시간간격을 측정하여 얻었다.

ECG의 描記는 심전도기(cardiosuny 501 B-Ⅲ, Japan)를 이용하여 chest lead의 V5를 기록하였다.

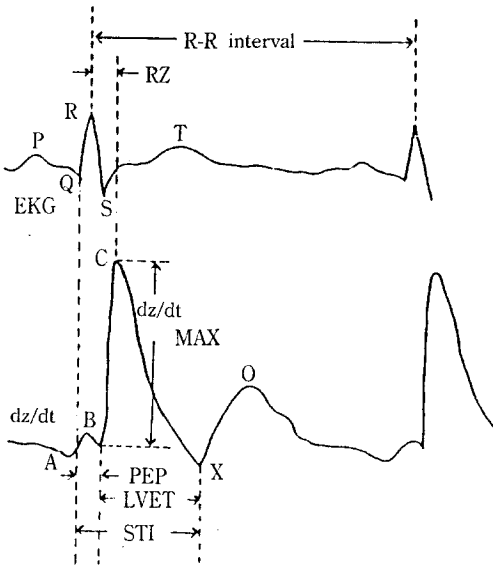


Figure 1. Typical ECG and impedance cardiogram

일회박출량(stroke volume, SV)의 측정은 Kubicek등[5]의 방법을 이용하여 다음 식으로 산출하였다.

$$SV=\rho_b (L/Z)^2 \ LVET \ |dz/dt|_{max}$$

$\rho_b$ : 100kHz에서의 혈액저항(150Ωcm)[5]
L : 임피던스 유도 II III사이의 평균거리(cm)
Z : 유도 II III사이의 평균 흉곽 임피던스(Ω)
LVET : 좌심실 구혈시간(s)
$|dz/dt|_{max}$ : 흉곽임피던스 변화율의 최대치 (Ω/s)

이상의 모든 측정치는 평균과 표준오차로 표시하였으며 동일시간대 0°체위와의 차이, 안정시와 체위변화 중의 차이를 각각 paired t-test로 검정하였다.

## Ⅲ. 성 적

### 3-1. 심박수(heart rate, HR)

체위변화시 심박수의 변화는 Table 2에서 보는 것과 같다. 먼저 0° 및 ±2°에서는 안정시 값에 비해

Table 2. Response of heart rate (HR) on postural changes.

(beat/min)

| P/T | 0 | 5" | 10" | 15" | 20" | 25" | 30" | 1' | 2' | 5' | R 1' | R 2' | R 5' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 57.3 | 55.8 | 56.7 | 56.0 | 57.0 | 56.1 | 56.5 | 56.9 | 57.3 | 54.8 | 54.9 | 54.8 | 54.4* |
| | 3.5 | 3.6 | 3.5 | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 4.5 | 3.6 | 3.2 | 3.5 | 3.1 |
| +2° | 55.0 | 54.5 | 54.8 | 54.1 | 53.7 | 53.7 | 54.6 | 54.2 | 54.1 | 54.3 | 54.7 | 54.3 | 55.6 |
| | 4.3 | 2.2 | 2.5 | 2.4 | 2.4 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 2.7 | 2.7 | 3.2 | 2.5 | 3.7 |
| +45° | 61.5 | 62.9 | 62.9 | 64.3 | 63.7 | 63.4 | 63.3 | 64.7 | 69.1 | 68.6 | 59.2 | 57.6 | 57.6 |
| | 3.5 | 2.8 | 3.3 | 4.1 | 3.9 | 3.9 | 4.2 | 5.0 | 4.3 | 4.5 | 3.1 | 2.5 | 2.9 |
| +90° | 56.7 | 71.1**## | 68.9**## | 69.3**## | 70.5**# | 71.2**## | 71.0**# | 73.2**# | 79.1**## | 80.5*# | 53.5 | 52.9 | 51.9* |
| | 3.0 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 4.1 | 4.2 | 4.4 | 3.9 | 3.6 | 5.3 | 2.8 | 2.2 | 2.1 |
| -2° | 56.3 | 55.8 | 55.8 | 56.4 | 56.9 | 54.9 | 56.2 | 56.3 | 55.8 | 55.5 | 54.4** | 55.7 | 55.4 |
| | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.1 | 2.3 | 2.2 | 2.6 | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 1.8 |
| -45° | 61.2 | 54.8* | 55.5* | 56.1** | 55.8** | 55.5** | 55.2** | 55.1* | 52.7** | 54.6* | 57.6* | 56.4* | 56.9* |
| | 3.0 | 1.8 | 1.8 | 2.4 | 2.5 | 2.8 | 2.4 | 2.7 | 2.3 | 2.9 | 3.0 | 2.5 | 3.0 |
| -90° | 62.2 | 52.8** | 53.7** | 53.9** | 54.4** | 54.8** | 55.4* | 57.9 | 58.8 | _ | 58.7 | 56.1** | 60.9 |
| | 3.0 | 2.9 | 2.2 | 2.5 | 2.3 | 2.8 | 2.8 | 3.2 | 3.8 | | 3.2 | 2.9 | 3.0 |

· Values are means ± S.E.
· Significantly different from rest : *$p < 0.05$, **$p < 0.01$.
· Significantly different from same time supine : #$p < 0.05$, ##$p < 0.01$.
· R1', R2', R5' are recovery time 1, 2, 5min. At P/T, P is posture and T time.

시간경과에 따른 유의한 변화를 볼 수 없었으며, 두부상위 +90°에서만 5초 이후 안정시 값에 비해 유의하게 ($p<0.01$) 증가했는데 5분때에는 처음 56.7회가 80.5회로 증가하여 최고치를 나타내었다. 두부하위 -45°, -90°에서 심박수의 감소가 현저하였는데 두 체위 모두에서 5초때부터 안정시 값에 비해 유의한 ($p<0.05$, $p<0.01$) 변화가 계속되었으나 -90°에서는 시간경과에 따라 회복되는 경향을 보여 1분 이후에는 유의한 변화가 나타나지 않았다.

### 3-2. 수축기 시간간격(systolic time intervals, STIs)

STI, PEP, LVET의 변화는 Table 3, Table 4, Figure 2, Figure 3에서 보는 것과 같다.

PEP는 두부상위에서 길어지며 두부하위에서는 단축되었는데, 두부하위의 단축 폭은 두부상위의 연장폭 보다 작았으며 특히 -90°에서의 유의한 변화를 볼 수 없었다.

LVET는 PEP와 다르게, +45°, +90°에서는 짧아졌으며, -45°, -90°에서는 길어졌는데 체위변화 5초때부터 안정시 값에 비해 모두 유의한 ($p<0.01$) 변화를 한 것이었다.

PEP와 LVET의 합인 STI도 LVET와 같이 두부상위에서 짧아지고, 두부하위에서 길어졌는데 ±90°에서의 반응 폭이 ±45°때보다 더 컸다. 그

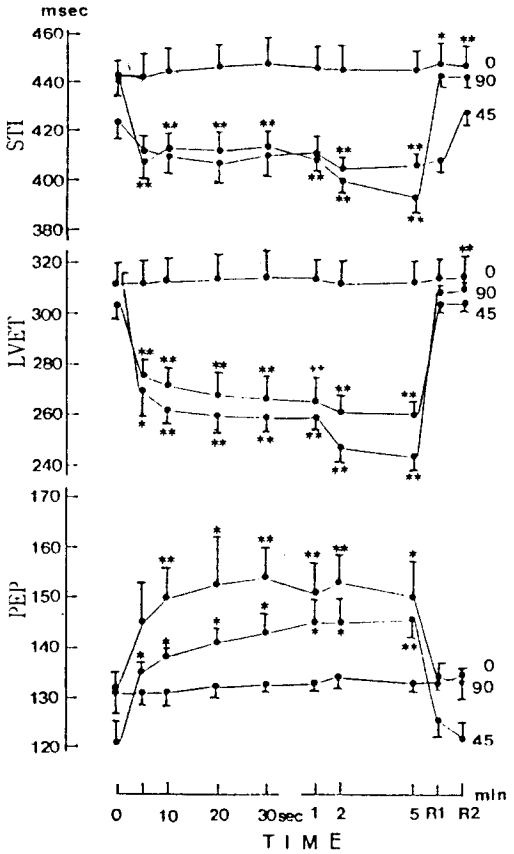


Figure 2. Time course response of STI, LVET and PEP during the head up tilt. Significantly different from rest : * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

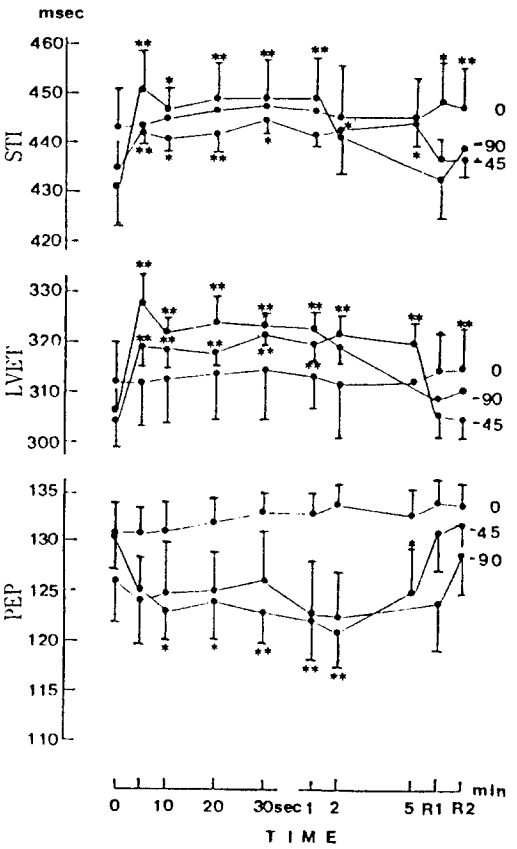


Figure 3. Time course response of STI, LVET and PEP during the head down tilt. Significantly different from rest : * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Table 3. Response of systolic time interval (STI) on postural changes.

(STI : $10^{-3}$ sec)

| P/T | 0 | 5" | 10" | 15" | 20" | 25" | 30" | 1' | 2' | 5' | R 1' | R 2' | R 5' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 443<br>8.2 | 443<br>8.6 | 445<br>9.4 | 448<br>9.4 | 447<br>9.2 | 449<br>10.1 | 448<br>11.2 | 447<br>7.6 | 446<br>10.0 | 446<br>7.7 | 449 *<br>7.8 | 448 **<br>8.2 | 448 *<br>8.0 |
| +2° | 437<br>6.6 | 441<br>4.1 | 440<br>3.8 | 442<br>3.9 | 441<br>3.9 | 443<br>4.2 | 441<br>3.8 | 441<br>4.2 | 442<br>4.5 | 443<br>4.2 | 444 *<br>4.6 | 442<br>4.6 | 441<br>5.3 |
| +45° | 424 ##<br>7.1 | 412 #<br>5.6 | 409 #<br>5.9 | 409 #<br>7.5 | 407 #<br>9.4 | 410 #<br>7.7 | 410 #<br>7.9 | 411 #<br>6.9 | 405 **#<br>5.0 | 406 **##<br>4.8 | 409<br>4.7 | 428<br>4.9 | 429<br>4.9 |
| +90° | 444<br>5.3 | 407 **##<br>6.1 | 412 **##<br>6.7 | 411 **##<br>6.3 | 412 **#<br>7.9 | 414 **#<br>6.6 | 413 **#<br>7.3 | 410 **#<br>5.3 | 400 **##<br>3.5 | 394 **#<br>6.2 | 444<br>4.1 | 444<br>4.6 | 447<br>5.3 |
| -2° | 433<br>5.6 | 429 #<br>5.3 | 434<br>6.8 | 430<br>6.8 | 430<br>6.2 | 432<br>6.5 | 434<br>5.9 | 434<br>6.4 | 435<br>5.9 | 437<br>6.5 | 436<br>6.2 | 437<br>6.4 | 437<br>6.4 |
| -45° | 435<br>4.9 | 443 **<br>3.9 | 441 *<br>3.0 | 442 *<br>3.3 | 442 **<br>3.9 | 442<br>2.3 | 445 *<br>2.7 | 442<br>2.3 | 443 *<br>4.0 | 445 *<br>4.8 | 437<br>4.6 | 437<br>3.5 | 436<br>4.8 |
| -90° | 431<br>7.9 | 451 **<br>8.2 | 446 *<br>5.7 | 446 **<br>8.0 | 449 **<br>7.4 | 450 **<br>8.4 | 449 **<br>8.0 | 449 **<br>9.0 | 443<br>9.0 | –<br> | 433<br>7.8 | 439<br>8.5 | 436<br>7.0 |

· Abbreviations (See Table 2).

Table 4. Response of left ventricular ejection time(LVET) on postural changes.

(LVET : $10^{-3}$ sec)

| P/T | 0 | 5" | 10" | 15" | 20" | 25" | 30" | 1' | 2' | 5' | R 1' | R 2' | R 5' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 312<br>8.2 | 312<br>8.6 | 313<br>8.8 | 313<br>8.9 | 314<br>8.8 | 316<br>9.3 | 315<br>10.4 | 314<br>7.4 | 312<br>9.2 | 313<br>7.5 | 315<br>7.4 | 315 **<br>8.4 | 315<br>7.0 |
| +2° | 311<br>5.1 | 313<br>3.9 | 313<br>3.9 | 314<br>3.7 | 313<br>3.8 | 316<br>3.6 | 313<br>3.0 | 315<br>4.3 | 312<br>3.8 | 314<br>3.5 | 315<br>3.9 | 312<br>2.9 | 313<br>3.8 |
| +45° | 303<br>5.1 | 276 **##<br>6.2 | 272 **##<br>7.4 | 270 **##<br>9.0 | 267 **##<br>10.3 | 269 **##<br>8.2 | 267 **##<br>8.7 | 266 **##<br>9.0 | 261 **##<br>6.7 | 260 **##<br>6.4 | 304<br>3.0 | 305<br>3.6 | 304<br>3.6 |
| +90° | 312<br>4.1 | 269 *##<br>11.9 | 262 **##<br>7.2 | 262 **##<br>6.6 | 260 **##<br>6.6 | 260 **##<br>7.1 | 259 **##<br>5.7 | 259 **##<br>3.6 | 247 **##<br>5.5 | 244 **##<br>6.3 | 310<br>2.8 | 311<br>2.5 | 313<br>3.2 |
| -2° | 308<br>4.6 | 306<br>5.3 | 308<br>4.9 | 306<br>5.4 | 305<br>5.4 | 309<br>5.0 | 307<br>5.3 | 308<br>4.5 | 308<br>4.8 | 311<br>4.9 | 309<br>4.4 | 310<br>4.4 | 309<br>4.1 |
| -45° | 304<br>4.8 | 319 **<br>3.4 | 319 **<br>3.0 | 319 **<br>3.0 | 318 **<br>2.7 | 319 **<br>2.4 | 322 **<br>2.4 | 320 **<br>3.5 | 322 **<br>3.6 | 320 **<br>4.4 | 306<br>5.0 | 305<br>4.4 | 306<br>5.0 |
| -90° | 305<br>5.6 | 328 **<br>6.2 | 322 **<br>2.7 | 324 **<br>4.2 | 324 **<br>4.6 | 325 **<br>3.4 | 322 **<br>3.8 | 323 **<br>3.3 | 320<br>4.4 | — | 309<br>4.3 | 311<br>4.7 | 307<br>3.7 |

· Abbreviations (See Table 2).

런데 STI는 두부상위에서는 PEP의 연장과 LVET의 단축이 서로 상쇄되어 +45°에서 안정시 값에 비해 유의한 ($p<0.01$) 변화를 2분 이후에나 볼 수 있었으나, 두부하위에서는 PEP의 단축이 적고 LVET 의 길어짐이 안정시 값에 비해 유의하고 ($p<0.01$), 또 -45°, -90°에서 STI는 5초때 부터 안정시 값에 비해 유의하게($p<0.05$, $p<0.01$) 지연된 값을 보여줌으로서 두부하위에서 STI의 변화는 LVET가 결정적인 것으로 나타났다.

### 3-3. Heather Index(HI), PEP/LVET, $1/PEP^2$

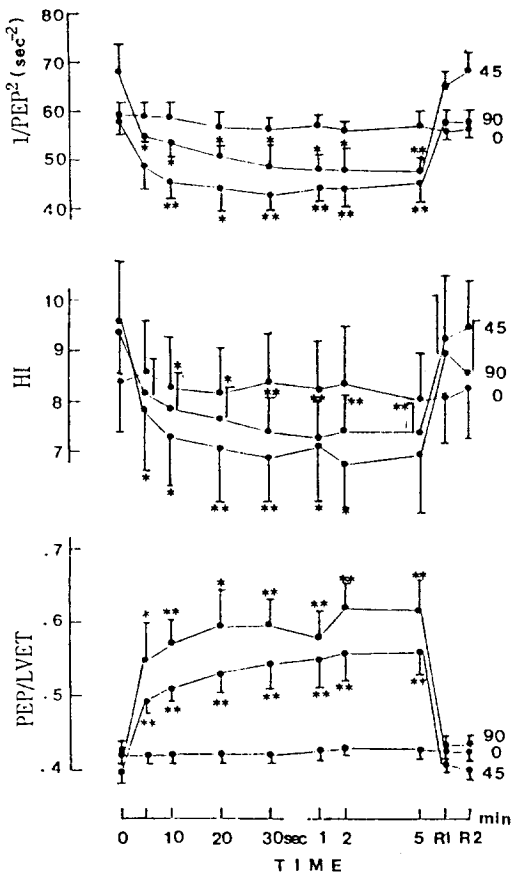


Figure 4. Time course response of PEP, LVET, Heather index and $1/PEP^2$ during the head up tilt. Significantly different from rest : * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

HI, PEP/LVET, $1/PEP^2$은 좌심실의 수축력과 관계되는 지표로서 Table 5, Figure 4, Figure 5에서 보는 것과 같다.

HI와 $1/PEP^2$은 두부상위에서 감소하며 두부하위에서 증가하였고, PEP/LVET는 그 반대경향을 보였다. 이들 사이의 상관관계는 모두 유의하게 ($p<0.001$) 높았다.

### 3-4. 안정시 값에 대한 변화량

체위에 따른 측정값들의 변화를 조사하기 위해 각 체위의 2분때 값에서 안정시의 값을 減한 평균을

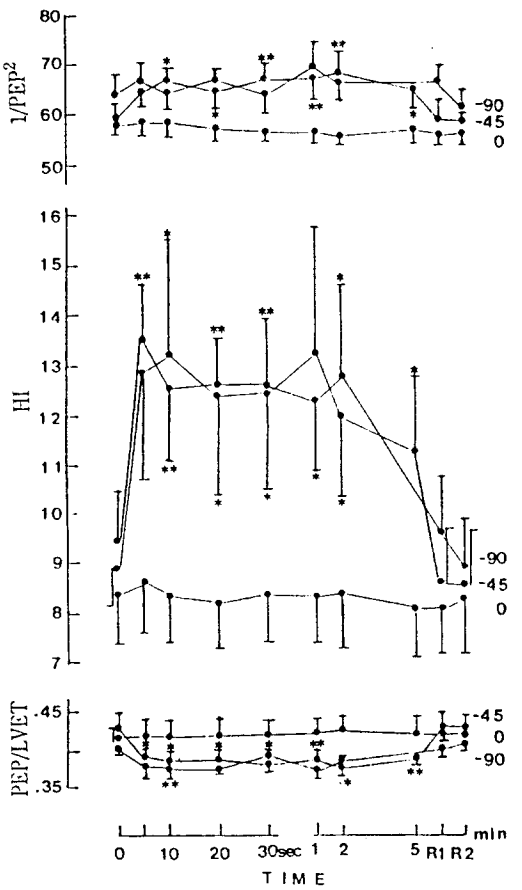


Figure 5. Time course response of PEP, LVET, Heather index and $1/PEP^2$ during the head down tilt. Significantly different from rest : * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Table 5. Response of Heather index(HI) on postural changes.

| P/T | 0 | 5" | 10" | 15" | 20" | 25" | 30" | 1' | 2' | 5' | R 1' | R 2' | R 5' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 8.4 | 8.6 | 8.3 | 8.5 | 8.2 | 8.3 | 8.4 | 8.3 | 8.4 | 8.1 | 8.1 | 8.3 | 8.5 |
| | 1.06 | 1.00 | .99 | .96 | .87 | .94 | .96 | .91 | 1.10 | .96 | .94 | 1.09 | .97 |
| +2° | 9.1 | 8.8 | 9.0 | 9.1 | 8.9 | 9.1 | 9.2 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | 8.4 * |
| | .96 | 1.19 | .88 | 1.14 | 1.09 | 1.11 | .94 | .95 | 1.00 | 1.10 | 1.00 | 1.10 | 1.00 |
| +45° | 9.4 | 8.2 | 7.9 * | 7.7 *# | 7.7 * | 7.5 *# | 7.4 ** | 7.3 ** | 7.4 ** | 7.4 ** | 9.3 # | 9.5 # | 8.9 |
| | 1.03 | .65 | .72 | .76 | .58 | .74 | .70 | .69 | .78 | .71 | 1.20 | .87 | .94 |
| +90° | 9.5 | 7.8 * | 7.3 * | 7.1 *# | 7.1 ** | 6.8 *# | 6.9 **# | 7.2 * | 6.8 * | 7.0 | 9.0 | 8.6 | 8.8 |
| | 1.34 | 1.15 | .98 | .86 | 1.13 | .94 | .90 | 1.12 | .94 | 1.26 | 1.15 | 1.04 | 1.15 |
| -2° | 9.3 | 9.4 | 9.4 | 9.8 | 10.1 # | 9.8 | 9.9 | 9.6 | 9.7 | 9.7 | 9.4 | 9.2 | 9.1 |
| | .83 | .90 | 1.04 | 1.14 | 1.18 | 1.12 | 1.03 | 1.09 | 1.13 | 1.31 | 1.16 | 1.21 | 1.12 |
| -45° | 8.9 | 12.9 | 13.2 # | 12.9 *# | 12.4 *# | 12.3 *# | 12.5 *## | 13.3 | 12.0 *# | 11.3 *# | 8.6 | 8.6 | 8.6 |
| | .96 | 2.22 | 2.33 | 2.13 | 1.99 | 1.74 | 1.95 | 2.34 | 1.64 | 1.51 | 1.11 | 1.08 | 1.01 |
| -90° | 9.4 | 13.5 **## | 12.5 **## | 13.3 **## | 12.6 **## | 12.5 **## | 12.6 **## | 12.3 **## | 12.8 *# | _ | 9.6 | 8.9 | 9.1 |
| | 1.21 | 1.19 | 1.38 | 1.36 | .95 | 1.05 | 1.32 | 1.45 | 1.85 | | 1.17 | 1.05 | 1.17 |

· Abbreviations (See Table 2).

Figure 6에 나타내었다.

HR, PEP, PEP/LVET는 -90°에서 +90°로 변할 때 값이 증가했으나 일회박출량(stroke volume), STI, LVET, $1/PEP^2$은 반대로 감소하였다. 이들의 변화는 경사도의 증감에 따라 Sigmoid형태를 보이는 특성이 있었다.

Table 6. Correlation of HI, PEP/LVET, $1/PEP^2$

| | $1/PEP^2$ | PEP/LVET | HI |
|---|---|---|---|
| PEP | -0.98** | 0.90** | -0.54** |
| $1/PEP^2$ | – | -0.86** | 0.53** |
| PEP/LVET | – | – | -0.51** |

Significant correlation ** $p < 0.001$

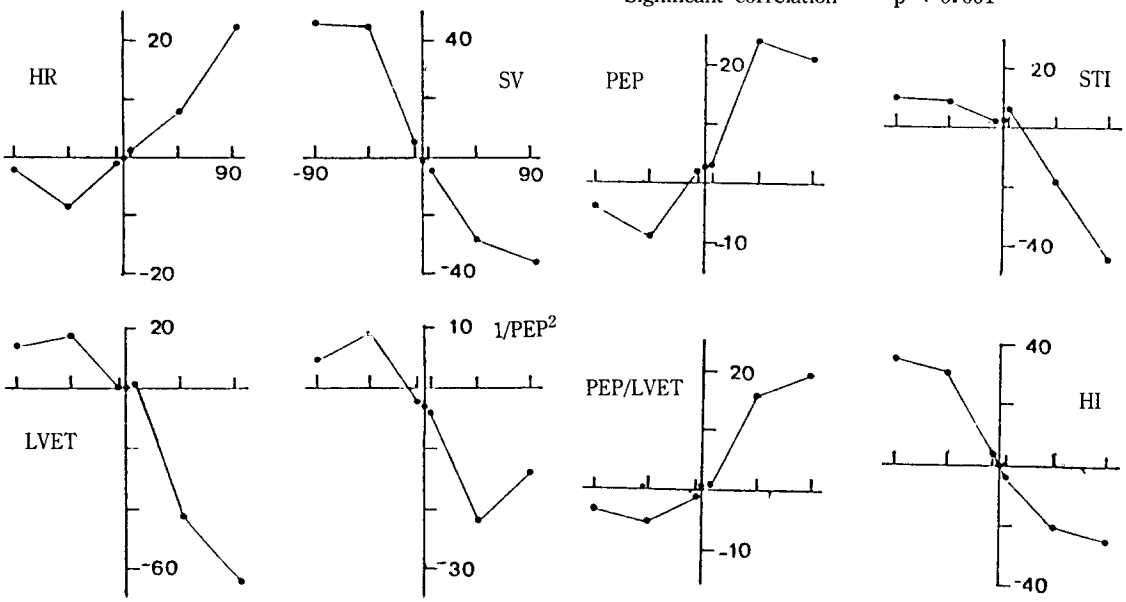


Figure 6. Mean changes from resting values in HR, SV, STIs (STI, PEP, LVET) $1/PEP^2$, PEP/LVET and HI produced by each posture at 2 min. $1/PEP^2$, PEP/LVET : index of cardiac contractility

### 3-5. 다중회귀방정식

STIs는 Table 7에서 보는 것과 같이 HR 및 경사도와 상관이 높았는데 이를 포함시켜 STIs의 추정식인 다중회귀방정식을 구할 수 있었다.

즉, $HR = 7.11 \sin \alpha + 59.0$ (beat/min)

$STI = -1.50\ HR - 7.86 \sin \alpha + 521.13$ (msec)

$PEP = 0.16HR - 10.84 \sin\alpha + 122.39$ (msec)

$LVET = -1.62\ HR - 18.94 \sin \alpha + 397.11$ (msec)

$HI = -0.06\ HR - 2.24 \sin \alpha + 13.63$

단, α는 경사각도 (°)

Table 7. Correlation STI, PEP, LVET, HI with HR, sin α during postural changes

| | HR | STI | PEP | LVET | HI |
|---|---|---|---|---|---|
| HR | | -0.79** | 0.38** | -0.80** | -0.40** |
| sin α | 0.49** | -0.57** | 0.59** | -0.72** | -0.54** |

Significant correlation ** $p < 0.001$
α : Tilting arc.

## Ⅳ. 고 찰

체위변화시 심장의 수축기 시간간격을 측정하는 일은 飛行시 중력의 상대적 크기 변화에 따른 심장기능의 반응을 간접적으로 측정하는 방법으로서, 항공임무수행을 위한 人的制限要素를 극복할 수 있는 방안을 강구하는데 보탬이 된다[10,17].

먼저, STI는 PEP와 LVET의 합으로서 좌심실의 기능을 간접적으로 측정하는 수단이 된다. 본 연구에서 STI는 체위증가에 따라 간격이 짧아지는 양상을 보여주며, LVET 역시 같은 경향을 보이나 PEP는 체위증가와 함께 간격이 길어졌는데 이러한 결과는 先行硏究[6]와 일치된 것으로서 중력의 작용방향과 상대적 크기변화에 따른 체액의 이동[9] 효과가 원인이 되어 나타난 현상으로 볼 수 있다.

PEP는 좌심실의 preload와 관계[18]되며 Frey 등[19]은 심실수축도를 나타낸다고 하였다. 체위변화시 PEP의 반응은, 두부상위의 경우 다량의 체액이 심장 아래 하체로 이동함으로써 좌심실의 filling volume은 감소하고 확장기말 용적(end diastolic volume)도 적어져 심근의 수축길이는 짧아지게 된다. 이는 혈액이 박출되기 직전의 isovolumic phase때 심실의 내압을 감소시키는 결과를 가져오고 PEP는 길어지게 된다[20]

LVET는 정맥환류량을 즉시로 반영하며 일회박출량과 상관관계가 높고 preload와 after load의 변화에 많은 영향을 받는다[20]. 두부상위에서 LVET는 짧아졌는데 이는 정맥환류량의 감소로 preload가 작아지고 after load가 커져 교감신경을 자극함으로써 심장의 활동이 항진되었기 때문이다. 결국 두부상위에서 정맥환류량의 감소로 인해 심박수가 증가하고 LVET는 짧아지며 일회박출량은 감소하게 되는 것이다[18].

그런데 본 연구의 $\pm 2^{\circ}$에서는 체위변화로 인한 STIs의 유의한 반응이 조사되지 않았으며, $\pm 45^{\circ}$ 이상에서만 관찰되었는데 이는 Matalon[21]의 지적처럼 sin α의 크기가 심장기능의 반응에 영향을 주는 것으로 생각된다. 이와 함께 $\pm 90^{\circ}$에서는 다른 체위에 비해 자세지탱을 위한 physical work 및 심리적 긴장[22]의 효과로 인해 더 큰 반응이 없거나 오히려 반응 폭이 감소한 것으로 해석된다. 특히 $-90^{\circ}$에서는 Nixon[14]의 연구에서 보듯이 두부충혈에 의한 reflex activity의 변화와 Coonan 등[23]이 밝힌 것 처럼 두부하위에서 머리방향으로 혈액 쏠림이 심화되는 효과가 관계하는 것으로 생각된다.

결국, 본 연구에서는 두부상위에서의 변화기전(mechanism)이 두부하위에서 역으로 작용할 것으로 보아 체위변화시 STIs를 추정하기 위해 심박수와 sin α로 구성된 多重回歸方程式을 구하였으나, 앞으로는 이 방정식에 두부하위시 심리적 효과, 머리방향으로의 혈액 쏠림과 이에따른 reflex activity 변화도 고려되어야 할 것으로 보인다.

STIs를 이용한 심장의 수축도를 평가하는 데에는 여러 연구들이 유용한 지표[4,6,7,19,24]들을 제시하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 지표들 사이의 상관관계를 조사하였는데 특히 PEP와 PEP/LVET는 상관관계가 유의하게($P<0.001$) 높았다. PEP/LVET의 경우 Weissler[7]의 정상값 0.35±0.04보다는 대체로 높은 값을 형성하고 있었는데 향후 이들 지표를 이용함에 있어 보다 많은 연구가 선행되어야 할 것으로 본다.

체위변화시 심장기능의 변화는 여러 연구에서도 연구된 바 있는데 본 연구는 선행연구와 다른 측정방법인 임피던스 심장기록법을 이용하여 체위변화 初期의 반응을 정확하게 측정할 수 있었던 것은 대단히 意義있는 일이라 생각된다. 특히 이 방법은 매박동시마다 측정이 가능하여 장차 航空生理 및 運動, 作業生理分野의 연구에 유용할 것으로 보인다.

이 임피던스 심장기록법은 인체의 조직 중에서 고유저항이 낮은 혈액이 조직내로 유입될 때 그 부위의 임피던스가 낮아지는 원리를 이용하여 흉곽에서의 임피던스 변화를 기록하는 것이다. 즉, 수축기 동안에 혈액은 좌심실에서 대동맥으로 박출되는데 박출된 혈액은 그대로 말초로 유출되지 않고 팽창된 대동맥과 대동맥 분지에 일시적 혈액저장현상(Windkessel vessel)을 일으켜 緩衝作用을 하게 되는데 이것은 흉곽내에 혈액이 유입되어 혈류량이 증가된 것과 같은 상태가 되어 임피던스가

낮아지게 되는 것이다[25,26].

결국, 본 연구에서 임피던스 심장기록법을 이용하여 체위변화시 심장기능을 조사하였을때 초기의 반응을 정확히 측정할 수 있었으며, 체위변화중 심장기능변화 기전을 모색해 본 것은 의의있는 일이었다. 또한 STIs가 체위변화시 sin α 및 심박수에 주로 영향을 받는 것으로 볼 때 항공임무중에 정상적인 심장기능 유지를 위한 체력단련[3] 방법 개발과 같은 연구가 계속되어야 할 것으로 본다.

## V. 요 약

체위변화시 심장기능의 반응을 구명하기 위해 6명의 건강한 남자를 대상으로 수축기 시간간격(STIs)과 Heather index(HI)등을 임피던스 심장기록법을 이용하여 측정하였다. 변화체위는 $0^{\circ}$, $\pm 2^{\circ}$, $\pm 45^{\circ}$, $\pm 90^{\circ}$로 구성하였으며 안정기, 체위변화기, 회복기의 연속된 절차로 진행하였다.

측정결과 심박수, 구혈전기(PEP), PEP/LVET는 경사대의 sin α값에 비례하여 증가했으나, STI, 좌심실구혈시간, HI 및 $1/PEP^2$은 감소하였다. 이러한 결과는 심박수와 경사각에 의해 영향을 받았는데, 체위변화로 인한 체액이동, filling volume 변화, 심장의 pre and after load의 변화, 교감신경계 작용 등이 관여한 것으로 생각된다.

결론적으로, STIs는 체위변화시 심장기능을 평가하는데 비관혈적인 방법으로서 가치가 높다고 보며, 특히 본 연구는 임피던스 심장기록법을 이용하여 체위변화 초기의 반응을 정확히 측정한 것은 의의있는 일이었으며 항공산업의 발달과 함께 대두될 人的制限要素 극복을 위한 기초자료로서 기여하는 바 클 것으로 기대된다.

## REFERENCES

[1] 강두희. "생리학", 3판 신광출판사, 서울, pp.8.1-8.101, 1988.

[2] 고성경, 황수관. "비행시간에 따른 전투조종사의 체지방, 혈압 및 심전도 시간간격의 변화", 공사논문집 30:231-278, 1991

[3] 최시호, 김영진, 이원정, 주영은. "체력단련이 심장수축기 시간간격에 미치는 효과", 경북의대 잡지 24:305-315, 1984.

[4] 황수관, 김덕원, 연동수, 고성경, 김정열, 이정희, 강두희. "운동시 임피던스 심장기록법을 이용한 운동선수의 심장 기능의 변화", 대한스포츠의학회지 7:35-50, 1989.

[5] Kubicek, R.D. and Karnegnis, J.N., Patterson, R.P., Witsoe, D.A. and Mattson, R.H.. "Development and evaluation of an impedance cardiac output system", Aerospace Medicine 37:1208-1212, 1966.

[6] Hill, D.W. and Merrifield, A.J.. "Left ventricular ejection and heather index measured by non invasive methods during postural changes in man", Acta Anaesth. Scand. 20:313-320, 1976.

[7] Weissler, A.M., Harris, W.S. and Schonfeld, C.D.. "Bedside technics for the evaluation of ventricular function in man", Am. J. Cardiol. 23:577-583, 1969.

[8] Blomqvist, C.G.. "Cardiovascular adaptation to weightless", Med. Sci. Sports Exerc. 15:428-431, 1983.

[9] Hargens, A.R.. "Fluid shift in vascular and extravascular space during and after simulated weightlessness", Med. Sci. Sports Exerc. 15:421-427, 1983.

[10] Bullard, B.W.. "Physiological problems of space travel", Ann. Rev. Physiol. 34:205-234, 1972.

[11] Space Science Board. "Human factors in long duration space flight", National Academy of Science, Washington, pp.31-69, 1972.

[12] Department of the Air Force. "Air force pamphlet : physiological training", Washington, pp.2.1-2.10, 1975.

[13] Nagano, J., Torikoshi, S., Yokozawa, K.,

Itoh, K. Fukase, Y. and Suzuki, Y.. "Effects of LBPP stocking on cardiovascular responses during rest and exercise in LNBP and upright position in woman", Physiologist(suppl), 30:s72-73, 1987.

[14] Nixon, J.V., Murray, R.G., Bryant, C., Jr Jonson, R.V., Mitchell, J.H., Brayan, H.O., Gomezssanchez, C., Vergne-Marini, P. and Blomqvist, C.G.. "Early cardiovascular adaptation to simulated zero gravity", J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol. 46:541-548, 1979.

[15] Kim, D.W.. "Detection of physiological events by impedance", Yonsei Medical J. 30:1-11, 1989.

[16] Hwang, S.K., Kim, D.W., Ko, S.K. and Kim, C.K.. "Changes of cardiac output during treadmill exercise by impedance cardiography", Yonsei Medical J. 32:58-63, 1991.

[17] Miyamoto, Y., Higuchi, J., Abe, Y., Hiura, T., Nakazono, Y. and Mikami, T.. "Dynamics of cardiac output and systolic time intervals in supine and upright exercise", J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol. 55:1674-1681, 1983.

[18] Schlant, R.C. and Sonnenblick, E.H.. "Normal physiology of the cardiovascular system. In the heart, edited by Hurst, J. W.." 7th ed. McGraw-Hill, New York, pp. 35-71, 1990.

[19] Frey, M.A.B. and Doerr, B.M.. "Correlations between ejection times measured from the carotid pulse contour and the impedance cardiogram", Aviat. Space Environ. Med. 54:894-897, 1983.

[20] Dikshit, M.B., Banerjee, P.K., Rao, P. L.N. and Iyer, E.M.. "Systolic time intervals in pilots during $70^{0}$ head up tilt." Aviat. Space Environ. Med. 57:332-335, 1986.

[21] Matalon, S.V. and Farhi, L.E.. "Cardiopulmonary readjustment in passive tilt." J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol. 47:503-507, 1979.

[22] Leverett, S.D. and Whinnery, J.E.. "Biodynamics : sustained acceleration. In fundamentals of aerospace medicine edited by DeHart, R.L.", Lea & Febiger, Philadelphia, pp.202-249, 1985.

[23] Coonan, T.J. and Hope, C.E.. "Cardiorespiratory effects of change of body position", Can. Anesth. Soc. J. 30:424, 1983.

[24] Reitan, J.A., Smith, N.T., Borison, V. S. and Kadis, L.B.. "The cardiac pre ejection period : a correlate of peak ascending aortic blood flow acceleration", Anesthesiology, 36:76-80, 1972.

[25] Åstrand, P.O. and Rodahl, K.. "Textbook of work physiology : physiological bases of exercise", 3rd ed. McGraw-Hill, New York, pp.174-197, 1986.

[26] Denniston, J.C., Maher, J.T., Reeves, J.T., Cruz, J.C., Cymerman, A. and Grover, R.T. · "Measurement of cardiac output by electrical impedance at rest and during exercise", J. Appl. Physiol. 40: 91-95, 1976.

[27] Timbal, J., Colin, J. and Marotle, H. : "Circardian variations of systolic time intervals", Aviat. Space Environ. Med. 57: 642-646, 1986.