

# 운동부하검사 시 혈압 및 심박수의 상승과 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도의 연관성

박재호\*, 진선아\*, 이영달, 성석우, 이현석, 김미주, 박광인, 오진경, 박수진, 안계택, 김준형, 박재형, 이재환, 최시완, 성인환, 정진옥

충남대학교 의학전문대학원 충남대학교병원 대전충남권역심혈관센터 심장내과

## Association of Blood Pressure and Heart Rate Response to Graded Exercise Test with Left Atrial Volume Index and Pulse Wave Velocity

Jae Ho Park, MD\*, Seon-Ah Jin, MD\*, Young-Dal Lee, MD, Seok-Woo Seong, MD, Hyeon Seok Lee, MD, Mi Joo Kim, MD, Kwang-In Park, MD, Jin Kyung Oh, MD, Kye-Taek Ahn, MD, Soo-Jin Park, MD, Jun-Hyung Kim, MD, Jae-Hyeong Park, MD, Jae-Hwan Lee, MD, Si-Wan Choi, MD, In-Wan Seong, MD, Jin-Ok Jeong, MD

Department of Internal Medicine, Regional Cardiovascular Center, Chungnam National University Hospital, Chungnam National University School of Medicine, Daejeon, Korea

### ABSTRACT

**Background:** Exaggerated blood pressure (BP) response to exercise can be an independent risk factor for cardiovascular mortality and morbidity. The purpose of this study was to define the factor that effect on early systolic BP response to exercise. **Methods:** We examined echocardiographic data, BP, heart rate from graded exercise test and brachial ankle pulse wave velocity (PWV) of 205 patients (137 men and 68 women; mean age  $58 \pm 11$  years; range, 19 to 83 years). Graded exercise test was conducted in BRUCE protocol. We define delta systolic blood pressure (SBP) as systolic BRUCE stage “n” BP minus baseline BP. **Results:** Resting BP ( $127 \pm 16$  mm Hg) was elevated to  $171 \pm 26$  mm Hg after peak graded exercise test. Resting heart rate ( $80 \pm 15$  bpm) was increased to  $146 \pm 27$  bpm after peak graded exercise test. Stepwise regression test between baseline SBP, delta SBP, maximal SBP and left atrial volume index (LAVI) was done. Supine SBP, delta SBP, maximal SBP was not associated with LAVI ( $p > 0.5$ ). But increased LAVI was significantly associated with delta SBP1 in woman ( $R^2 = 0.192$ ,  $p = 0.002$ ). PWV was significantly associated with base line ( $R^2 = 0.311$ ,  $p < 0.01$ ) and maximal SBP ( $R^2 = 0.051$ ,  $p < 0.01$ ). However, PWV was not associated with delta SBP. **Conclusions:** LAVI and PWV were not associated with early SBP response to exercise. But in women, elevation of early SBP during exercise is associated with LAVI.

(J Korean Soc Hypertens 2013;19(2):45-54)

**Key Words:** Exercise test; Pulse wave analysis; Blood pressure; Heart rate

논문접수일: 2013.3.26, 수정완료일: 2013.6.27, 게재승인일: 2013.9.23

교신저자: 정진옥

주소: 대전광역시 중구 문화로 282 충남대학교병원 권역심뇌혈관질환센터 심장내과

Tel: 042) 280-8227, Fax: 042) 280-8238

E-mail: jojeong@cnu.ac.kr

\* These authors are contributed equally to this work.

### 서론

단계적 운동 시 수축기혈압상승이 클수록 향후 고혈압의 유병률이 증가함은 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> 또한 단계적 운동 시

혈압의 상승<sup>3)</sup> 및 심박수의 회복지연이<sup>4)</sup> 심혈관질환의 위험인자이며, 운동 초기 혈압상승이 큰 경우 심혈관 사망 증가의 독립적인 인자임<sup>3)</sup>이 보고된 바 있다. Framingham offspring 연구는 Bruce protocol 2단계 운동 시 이완기혈압이 안정 시 혈압과 다른 위험인자와 무관하게 심혈관질환과 독립적인 연관성이 있다고 보고하였다.<sup>1)</sup>

혈압결정인자에는 심박출량(cardiac output) 및 말초혈관 저항이 있다. 심박출량은 일회 박출량 및 심박수에 의해 결정되며 말초혈관저항은 혈관구조 및 혈관의 기능에 의해 결정된다. 좌심방 용적지수(left atrial volume index)는 전부하 및 이완기 심기능과 연관이 있고,<sup>5)</sup> 좌심방 용적지수의 증가는 이완기 심기능의 저하 및 전부하의 증가와 관련이 있다. 맥파전달속도(pulse wave velocity)는 혈관 저항과 관련이 있어 현재 임상에서 동맥경화증을 예측하는 데 널리 사용되고 있으며, 맥파전달속도의 증가는 혈관의 경직도를 반영한다. 본 연구의 목적은 좌심방 용적지수가 크거나 맥파전달속도가 클수록 이완기 심기능 저하와 혈관경직도가 상승하므로 운동부하에 따른 혈압상승도 더 커져서 운동능력의 감소를 가져올 것이라는 가설 하에 운동부하검사 시 단계적 운동에 따른 혈압상승의 정도와 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도의 연관성을 조사하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구대상

2004년 1월 6일부터 2010년 12월 20일까지 충남대학교 병원 심장내과에 흉통 및 흉부 불편감으로 방문하여 운동부하검사, 심초음파, 맥파전달속도 측정을 모두 시행한 18세 이상의 성인 217명을 대상으로 하였다. 이 중 운동부하검사 기록지의 유실 혹은 결과지 기재가 명확하지 않은 환자 12명을 제외한 205명의 환자를 분석하였다.

모든 대상 환자는 운동부하검사 결과지 및 심초음파검사, 맥파전달속도를 의무기록 검토를 통해 후향적으로 분석하였다. 운동부하검사 결과지를 통해 기저혈압 및 Bruce protocol 단계적 운동 시 혈압 및 심박수, 회복시간 및 회

복기 심박수를 조사하였다. 심초음파 기록지를 통해 좌심방 용적지수에 대한 자료를, 맥파전달속도 기록지를 통해 혈압 및 혈관 탄성도에 대한 자료를 조사하였다. 의무기록을 통해 과거력, 가족력 및 혈액검사결과를 확인하였다.

운동부하검사는 Bruce protocol로 진행하였다. 기저혈압은 최소 5-10분의 휴식 및 5분 간격을 두고 좌측 상완에서 측정하였으며, 단계적 운동 시 단계별로 측정된 수축기혈압과 기저 수축기혈압의 절대값(mm Hg) 차이를 delta systolic blood pressure (delta SBP)라고 정의하였다. 운동부하검사 시 단계적 운동에 따른 혈압과 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도의 관계를 보기 위해 Bruce protocol 1, 2, 3, 4, 5단계와 안정 시와의 수축기혈압 차이를 delta SBP 1, 2, 3, 4, 5로 구분하여 분석하였다. 운동부하검사를 완주하지 못하고 중단 시, 중단하게 된 이유를 조사하였다(힘들어서/부정맥발생/ST change/흉통).

심초음파는 Vivid 7 (GE-healthcare, Waukesha, WI, USA)을 이용하였고 좌심방 용적은 area length 방법 [ $LA\ volume = (0.85 \times Area_{4ch} \times Area_{2ch}) / (longest\ atrial\ length)$ ]을 이용하여 측정하였다. 맥파전달속도는 BP-203RPE II (OMRON COLIN, Komaki, JAPAN)를 사용하였으며 brachial ankle pulse wave velocity (baPWV)로 측정하였다. 맥파전달속도의 경우 좌우 차가 유의하지 않아 분석에는 좌측 맥파전달속도만을 이용하였다.

### 2. 통계분석

통계분석은 상용 통계분석 프로그램인 마이크로소프트 윈도우용 IBM SPSS ver. 20.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 연속형 변수는 평균  $\pm$  표준편차로 나타냈다. 운동부하검사 시 측정한 기저혈압, 단계적 운동에 따른 수축기혈압의 변화(delta SBP)와 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도와 연관성은 회귀분석을 통해, 연속변수는 t-검정을 통해, 최종 질병에 따른 군 간의 차이분석은 일원분산분석을 통해 이루어졌으며, 사후검정방법으로 Turkey방법이 사용되었다. p값이 0.05 미만일 때 통계학적 유의성이 있다고 판단하였다.

## 결 과

### 1. 임상적 특성

총 205명의 환자(평균 연령  $58 \pm 11$  세, 남자 137명 [66.8%], 여자 68명 [33.2%])의 기본적인 특성은 Table 1과 같다. 여자가 남자보다 키와 몸무게가 유의하게 낮았고 ( $p < 0.001$ ), 총 운동능력(exercise capacity; metabolic equivalents, METs)은 남자에서 유의하게 높았다( $p = 0.02$ ). 그렇지만 남녀에서 Bruce protocol 단계 1을 완주한 사람의 비는 남녀에서 유의한 차이가 없었다. 심혈관질환 위험인자 및 혈액검사, 좌심방 용적지수를 포함한 심초음파 결과,

baPWV는 남녀 간의 유의한 차이가 없었다.

고혈압의 병력이 75명(36.5%)에서 있었으나 안정 시 혈압 140/90 mm Hg 미만인 사람은 161명(78.5%)이었다. 고혈압 약물을 복용한 75명의 환자 중 베타차단제 및 칼슘채널차단제를 복용하는 환자는 총 49명으로 그 중 베타차단제만 복용하는 환자는 20명, 칼슘채널차단제만 복용하는 환자는 24명, 둘 다 복용하는 환자는 5명이었다. 나머지는 안지오텐신전환효소억제제, 혹은 안지오텐신수용체차단제, 이뇨제 등을 복용하였다. 베타차단제나 칼슘채널차단제를 복용하지 않은 군의 기저혈압 및 단계 1, 최고 심박수, 수축기혈압, 이완기혈압은 양 군 간에 유의

Table 1. Baseline characteristics

Characteristic	Overall	Male	Female	p-value
Gender	205 (100)	137 (66.8)	68 (33.2)	
Age (yr)	$58 \pm 11$	$57 \pm 12$	$59 \pm 8$	0.101
Height (cm)	$163.8 \pm 8.6$	$168 \pm 6$	$154 \pm 5$	<0.001
Weight (kg)	$65.9 \pm 9.7$	$69 \pm 9$	$59 \pm 7$	<0.001
Body mass index	$24.5 \pm 2.8$	$24.4 \pm 2.8$	$24.6 \pm 2.7$	0.56
Cardiovascular risk factors				
Hypertension	75/205 (36.5)	50/137 (24.3)	25/68 (12.1)	0.970
Diabetes	35/205 (17.0)	18/137 (8.7)	17/68 (8.2)	0.052
Cerebral infarction	12/205 (5.8)	8/137 (3.9)	4/68 (1.9)	0.990
Smoking	54/205 (26.3)	34/137 (16.5)	20/68 (9.8)	0.484
Serum chemistry				
Total cholesterol (mg/dL)	$181.9 \pm 40$	$181 \pm 38$	$183 \pm 45$	0.797
Triglyceride (mg/dL)	$144.3 \pm 82$	$142 \pm 85$	$145 \pm 76$	0.682
LDL cholesterol (mg/dL)	$106 \pm 34$	$105 \pm 33$	$107 \pm 36$	0.701
Creatinin (mg/dL)	$0.88 \pm 0.26$	$0.89 \pm 0.28$	$0.88 \pm 0.21$	0.950
Left atrial volume index	$29 \pm 12$	$30.3 \pm 14.6$	$27.8 \pm 7.0$	0.176
Rt. PWV	$1,568 \pm 401$	$1,565 \pm 438$	$1,575 \pm 317$	0.868
Lt. PWV	$1,585 \pm 391$	$1,595 \pm 425$	$1,566 \pm 312$	0.615
Rt. ABI	$1.11 \pm 0.12$	$1.10 \pm 0.14$	$1.11 \pm 0.07$	0.537
Lt. ABI	$1.11 \pm 0.11$	$1.11 \pm 0.12$	$1.10 \pm 0.07$	0.767
Exercise capacity (METs)	$10.0 \pm 2.6$	$10.2 \pm 2.8$	$9.5 \pm 2.0$	0.02
Bruce protocol				
Stage 1	205 (100)	137 (100)	68 (100)	0.390
Stage 2	183 (89.2)	119 (86.8)	64 (94.1)	0.223
Stage 3	133 (64.8)	89 (64.9)	41 (60.2)	0.365
Stage 4	34 (16.5)	21 (15.3)	13 (19.1)	0.686
Stage 5	8 (3.9)	5 (3.6)	3 (4.4)	0.670

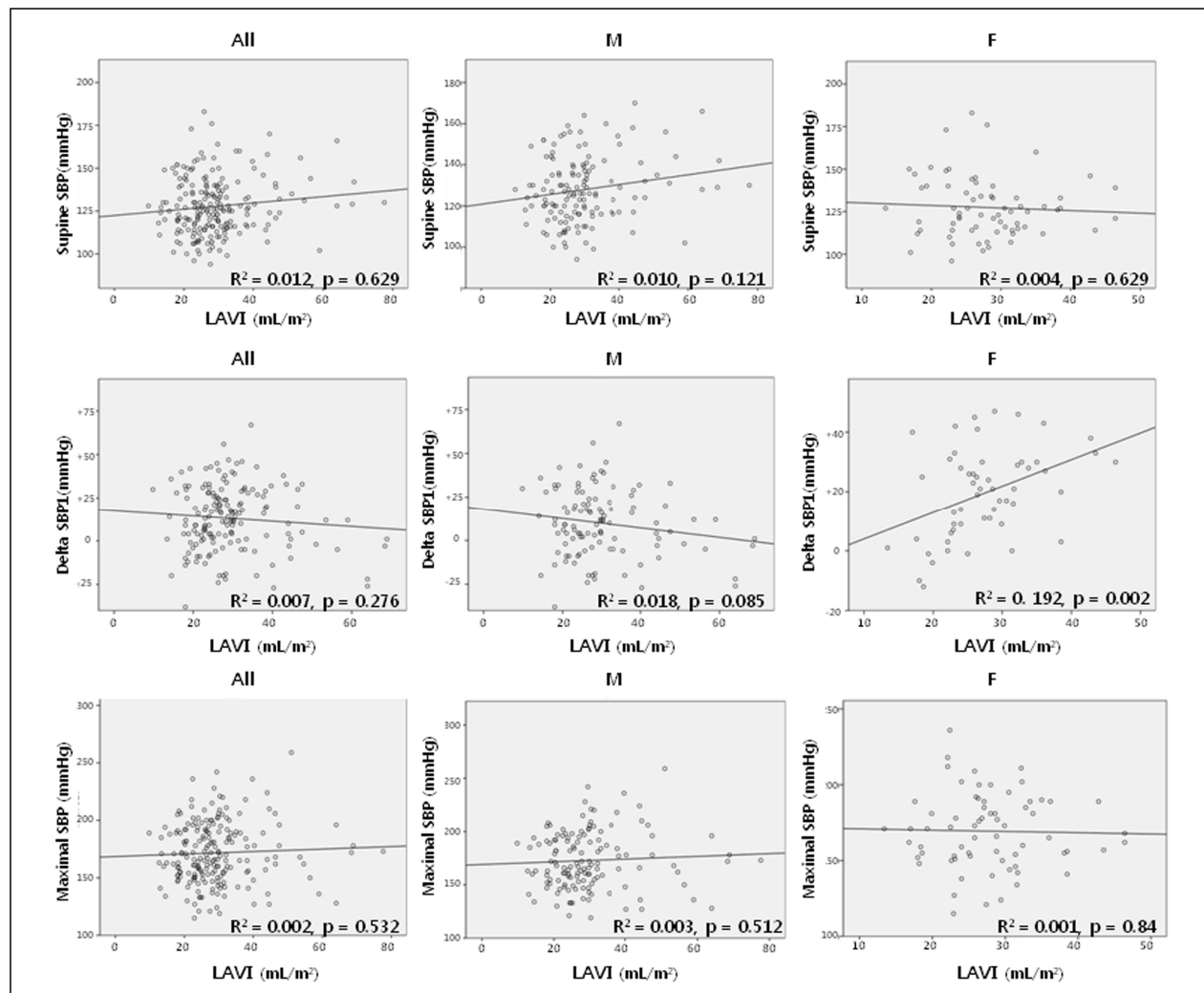
Values are presented as number (%) or mean  $\pm$  standard deviation.

LDL, low density lipoprotein; Rt, right; PWV, pulse wave velocity; Lt, left; ABI, ankle brachial index; METs, metabolic equivalents.

**Table 2.** BP and HR response to graded exercise test

Variable	Total (n = 205)	Male (n = 137)	Female (n = 68)	p-value
Resting SBP (mm Hg)	127 ± 16	127 ± 15	127 ± 17	0.980
Resting DBP (mm Hg)	74.1 ± 10	74.4 ± 10	73 ± 10	0.522
Resting HR (bpm)	80 ± 15	74 ± 10	79 ± 14	0.818
Peak exercise SBP(mmHg)	171 ± 26	172 ± 27	169 ± 24	0.394
Peak exercise DBP (mm Hg)	81 ± 16	80 ± 15	83 ± 18	0.164
Peak exercise HR (bpm)	146 ± 27	146 ± 29	144 ± 24	0.566
ΔSBP at stage 1 (mm Hg)	13 ± 18	9 ± 19	19 ± 14	<0.001
ΔSBP at stage 2 (mm Hg)	26 ± 27	22 ± 22	29 ± 23	0.97
ΔSBP at stage 3 (mm Hg)	33 ± 26	36 ± 24	28 ± 31	0.151

SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; HR, heart rate; ΔSBP at stage “n” delta, difference between baseline SBP and Bruce protocol “n” stage.



**Fig. 1.** Association of left atrial volume index (LAVI) by gender on early systolic blood pressure (SBP) response to exercise. Stepwise regression test between baseline SBP, delta SBP, maximal SBP and LAVI was done. Supine SBP, delta SBP, maximal SBP was not significantly associated with LAVI ( $p > 0.5$ ). Increased LAVI was significantly associated with delta SBP1 only in woman ( $R^2 = 0.192$ ,  $p = 0.002$ ). Delta SBP, SBP difference between Bruce protocol stage and baseline; All, both male and female; M, male; F, female.



한 차이는 없었다( $p > 0.2$ ).

## 2. 운동부하검사 시 기저혈압 및 단계적 운동부하에 따른 delta systolic blood pressure

운동부하검사 시 단계적 운동에 따른 혈압의 변동은 Table 2와 같다. 운동 시작 전 기저혈압은  $127 \pm 16$  mm Hg/ $74 \pm 10$  mm Hg에서 운동부하검사 후 최고 혈압  $171 \pm 26$  mm Hg/ $81 \pm 16$  mm Hg로 상승하였다. 심박수는 안정 시 분당  $80 \pm 15$ 회에서 최고 분당  $146 \pm 27$ 회로 상승하였다. Delta SBP 1, 2, 3은  $13 \pm 18$  mm Hg,  $26 \pm 27$  mm Hg,  $33 \pm 26$  mm Hg로 운동부하검사 단계가 올라가면서 상승하였다. 운동 초기 혈압상승의 지표인 delta SBP 1이 남자가  $9 \pm 19$  mm Hg, 여자가  $19 \pm 14$  mm Hg로 여자에서 유의하게 높았지만( $p < 0.001$ ), 그 외 다른 측정값의 남녀에 따른 유의한 차이는 없었다.

운동 시 혈압이 오히려 기저혈압에 비해 감소하였던 경우가(delta SBP 1이  $< 0$ ) 37명(18%)에서 발생하였는데, 남자 32명(23.3%) 여자 5명(7.3%)이었고 평균 11.7 mm Hg 감소하였다. Delta SBP 1이 감소한 정도는 남자 12 mm Hg 여자 5 mm Hg로 남자에서 더 많이 감소하였으나, 통계적인 유의성은 없었다( $p = 0.103$ ). 또한 초기 운동부하검사 시 혈압이 감소하였던 군은 혈압이 상승하였던 군에 비해 기저 수축기혈압이 7.9 mm Hg 높았지만( $p < 0.001$ ) 기본적인 환자 특성의 유의한 차이는 없었다.

## 3. 운동부하검사 시 기저혈압 및 delta systolic blood pressure와 좌심방 용적지수의 연관성

운동부하검사 시 기저혈압 및 delta SBP와 좌심방 용적지수의 연관성은 Fig. 1과 같다. 기저 수축기혈압, 운동 시 초기 혈압상승지표인 delta SBP 1, 단계적 운동에 따른 최고 혈압과 좌심방 용적지수와의 연관성을 살펴보았을 때, 전체적으로 유의한 연관성은 없었다( $R^2 = 0.004$ ,  $p > 0.5$ ). 그러나 여자의 경우 좌심방 용적지수가 증가함에 따라 delta SBP 1이 증가하게 되는 유의한 연관성이 관찰되었다( $R^2 = 0.192$ ,  $p = 0.002$ ) (Table 3, Fig. 1). 하지만 delta BP 2, 3, 4, 5와는 유의한 연관성이 없었다. 남자의 경우

delta SBP 1과 좌심방 용적지수와의 유의한 연관성은 없었다( $R^2 = 0.097$ ,  $p = 0.206$ ). 운동부하검사 시 최고 혈압 상승과 좌심방 용적지수와의 유의한 연관성은 없었다( $p = 0.980$ ,  $0.376$ ). 최고 심박수와 좌심방 용적지수는 연관성은 낮았지만 통계적으로 유의하였다( $R = 0.163$ ,  $p = 0.016$ ).

혈압 약의 영향을 고려하기 위해 베타차단제 및 칼슘채널차단제를 복용한 군과 복용하지 않은 군을 나누어 동일한 분석을 시행하였다. 단계별 회귀분석결과 복용군 및 미복용군 모두에서 여성의 경우 좌심방 용적지수가 증가함에 따라 delta SBP 1이 증가하게 되는 관계가 유의하였다(복용군:  $R^2 = 0.516$ ,  $p = 0.029$ ; 미복용군:  $R^2 = 0.118$ ,  $p = 0.021$ ). 남자의 경우 동일한 분석에서 모두 통계적으로 유의하지 않았다(복용군:  $R^2 = 0.024$ ,  $p = 0.438$ ; 미복용군:  $R^2 = 0.19$ ,  $p = 0.206$ ).

## 4. 운동부하검사 시 기저혈압 및 delta systolic blood pressure와 맥파전달속도의 연관성

운동부하검사 시 기저혈압, delta SBP 1, 최고 혈압과 맥파전달속도의 연관성은 Fig. 2와 같다. 기저혈압과 맥파전달속도의 연관성은 잘 알려진 대로 기저혈압이 높을수록 맥파전달속도가 유의하게 증가하였다( $R^2 = 0.311$ ,  $p < 0.01$ ). Delta SBP 1, 2, 3과 맥파전달속도의 연관성은 전체적으로 유의하지 않았으며( $R^2 = 0.026$ ,  $p > 0.1$ ), 남녀에 따른 차이도 없었다(Table 3, Fig. 2). 최고 수축기혈압과 맥파전달속도는 유의한 상관관계를 보였다( $R^2 = 0.051$ ,  $p = 0.01$ ).

## 5. 운동부하검사 시 최고 혈압상승과, 심박수와 허혈성 심장질환과의 연관성

대상군을 관동맥조영술결과에 따라 비전형적 흉통군, 안정형 협심증군, 불안정형 협심증군으로 나누었을 때 운동부하검사 시 최고 수축기, 이완기혈압의 상승 정도는 유의한 차이가 없었다(Table 4, Fig. 3). 그러나 운동부하검사 시 최고 심박수는 비전형적 흉통군 152회/분, 안정형 협심증 136회/분, 불안정형 협심증 132회/분으로 유의하게 감소하였다(비전형적 흉통 vs. 안정형 협심증, 불안정형 협

심증:  $p = 0.006$ ,  $p = 0.0001$ ; 안정형 협심증 vs. 불안정형 협심증:  $p = 0.553$ ). 이는 허혈성 심장질환이 있는 군에서 운동능력의 감소 혹은 조기 중단으로 인한 것으로 생각된다.

## 고 찰

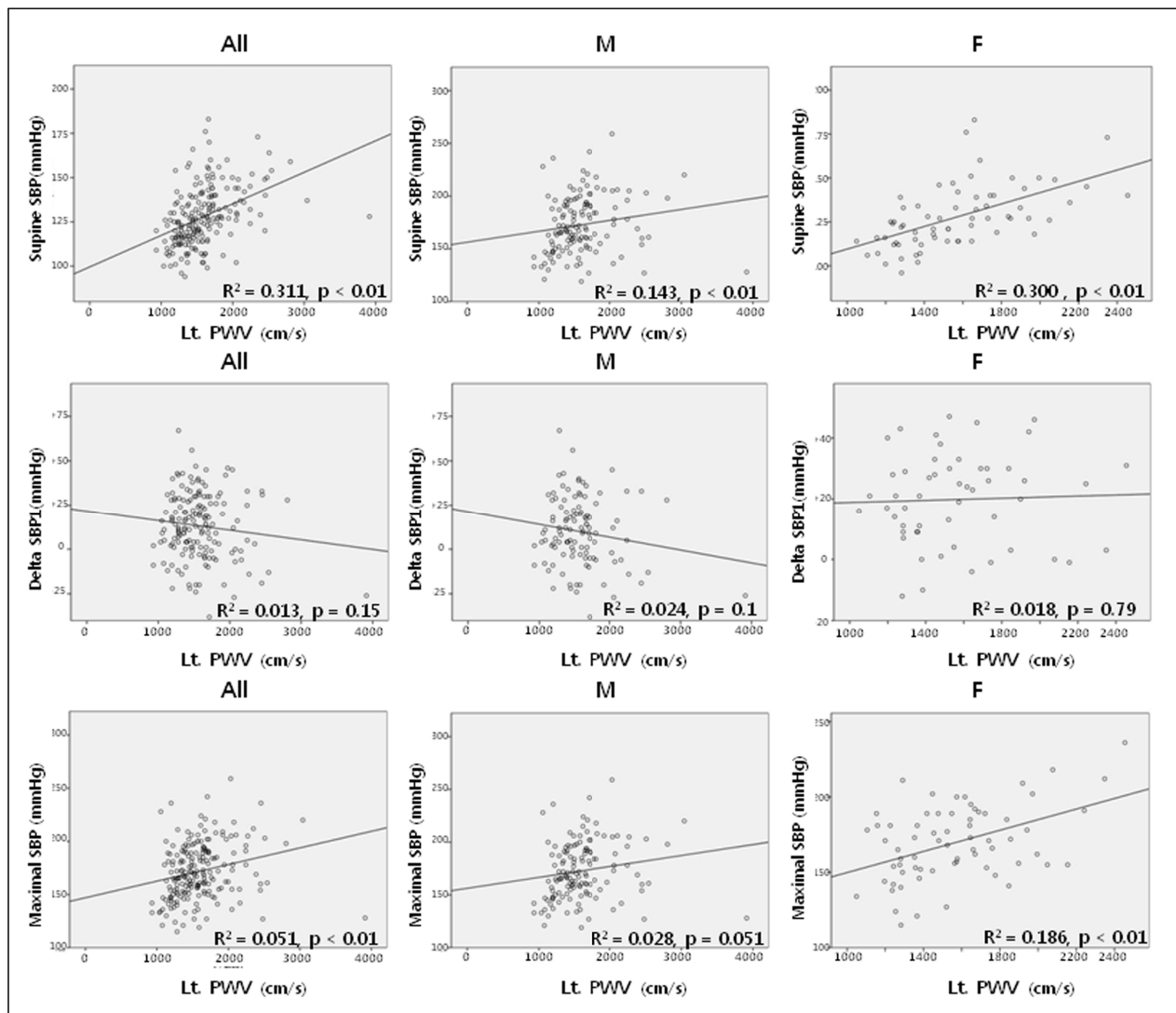
본 연구는 좌심방 용적지수가 크거나 맥파전달속도가 클수록 운동부하에 따른 혈압상승이 커질 거라는 가설하에 운동부하검사의 단계적 운동에 따른 혈압상승 정도와 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도의 연관성을 조사하여

다음과 같은 결과를 얻었다.

**Table 3.** Stepwise analysis of association with delta systolic blood pressure

Variable		$\beta$	R	p-value
LAVI	Male	-0.119	0.260	0.206
	Female	0.445	0.438	0.002
Right PWV	Male	0.102	—	0.379
	Female	0.634	—	0.211
Left PWV	Male	0.102	—	0.379
	Female	-0.580	—	0.254

LAVI, left atrial volume index; PWV, pulse wave velocity.



**Fig. 2.** Association of left pulse wave velocity (PWV) on early systolic blood pressure (SBP) response. PWV was significantly associated with baseline SBP ( $R^2 = 0.311$ ,  $p < 0.01$ ) and maximal SBP ( $R^2 = 0.051$ ,  $p < 0.01$ ). But PWV was not associated with delta SBP. All, both male and female; M, male; F, female; Lt, left.

첫째, 기저 수축기혈압, 운동 시 초기 혈압상승지표인  $\Delta$  SBP 1, 단계적 운동에 따른 최고 혈압과 좌심방 용적지수는 전체적으로 유의한 연관성은 없었다( $R^2 = 0.004$ ,  $p > 0.5$ ). 단계적 운동 시 초기 혈압상승지표인  $\Delta$  SBP 1의 증가는 좌심방 용적지수와 유의한 상관관계가 없었으나, 여자의 경우 좌심방 용적지수가 증가함에 따라  $\Delta$  SBP 1이 의미 있게 증가하였다( $R^2 = 0.192$ ,  $p = 0.002$ ).

둘째, 기저혈압과 맥파전달속도의 연관성은 잘 알려진 대로 기저혈압이 높을수록 맥파전달속도가 유의하게 증가하였으나( $R^2 = 0.311$ ,  $p < 0.01$ ), 단계적 운동 시 초기 혈압상승지표인  $\Delta$  SBP 1, 2, 3과 맥파전달속도의 연관성은 전체적으로 유의하지 않았으며( $R^2 = 0.026$ ,  $p > 0.1$ ), 남녀에 따른 차이도 없었다. 그러나 최고 수축기혈압과 맥파전달속도는 유의한 상관관계를 보였다( $R^2 = 0.051$ ,  $p = 0.01$ ). 셋째, 허혈성 심장질환 유무에 따른 운동부하검사 시 최고 수축기, 이완기혈압의 상승 정도는 유의한 차이가 없었으나, 최고 심박수는 허혈성 심장질환이 있는 군에서 비전형적 흉통군에 비해 유의하게 감소하였다. 이는 허혈성 심장질환이 있는 군에서 운동능력의 감소 혹은 조기 중단으로 인한 것으로 생각된다.

운동 시 혈압 및 심박수 상승은 심혈관질환의 유병과 관련이 있다. 좌심방 용적지수는 혈압에 따른 좌심실 이완기말 압력과 좌심방 압력과의 연관이 있어서 이완기 심부전<sup>6)</sup> 및 심방세동, 전부하를 반영하고, 맥파전달속도는 노화 및 동맥경화로 인한 혈관탄성도의 변화를<sup>7)</sup> 반영한다. 따라서 좌심방 용적지수가 크거나 맥파전달속도가 클수록 심부전을 비롯한 심혈관질환의 유병이 높다. 본 연구에서 운동부하검사 시 혈압상승 정도와 좌심방 용적지수와의 연관성을 살펴보았을 때, 전체적으로 유의한 연관성은 없었으나, 여자만 분석하였을 때 좌심방 용적지수가 증가함에 따라 운동 초기 혈압이 상승하게 되는 유의한 연관성이 관찰되었다( $R^2 = 0.192$ ,  $p = 0.002$ ). 이런 연관성이 여자에서만 유의하게 나타난 이유는 명확하지는 않지만 본 연구에서 남자의 경우  $\Delta$  SBP값이 음성으로, 즉 혈압이 오히려 운동 초기에 감소하는 경우가 여자에 비해 더 많았기 때문으로 보이며(남자 32명 [23.3%] vs. 여자

5명 [7.3%]), 통계학적인 유의성은 없으나 남자의 경우 혈압하강 폭이 11 mm Hg로 여자의 5 mm Hg에 비해 더 하강 폭이 큰 것도 고려해보아야 한다고 생각한다. 운동 부하검사 시 초기 혈압감소를 보인 환자들의 경우 대부분 심혈관질환과 연관되어 있다는 보고<sup>8)</sup>와 단일 단계의 운동부하검사 후 혈압강하가 있었던 군에서 심혈관 사건의 위험비율(hazard ratio)이 높다는 보고<sup>9)</sup>가 있었다. 그러나 본 연구에서 초기 혈압이 감소하였던 환자가 실제 심혈관 질환으로 인한 혈압하강인지는 명확하지 않으며, 오히려 검사에 따른 긴장으로 초기 혈압이 지나치게 높게 측정되었을 가능성이 있는 이종(heterogeneous)성 때문에 좌심방 용적지수와  $\Delta$  SBP와의 연관도가 떨어져 보일 수 있다. 성별에 따른 운동 시 혈압반응의 차이는 최고 심박출량 및 일회 박출량의 차이,<sup>10)</sup> 생리학적인 차이<sup>11)</sup> 및 호르몬<sup>12)</sup>에 의한 차이에 기반할 수 있어 이에 대한 추후 분석이 필요하다.

운동에 따른 증가된 혈압반응에 대한 연구들은 다양하게 보고되어 있는데 대부분 수축기혈압에 관하여 보고되었으며<sup>13-15)</sup> 몇몇은 수축기 및 이완기 반응을 고려하여 보고 하였다.<sup>16)</sup> Singh 등<sup>1)</sup>이 저술한 Framingham offspring study를 연구한 논문에서 따르면 Bruce protocol 2에서 이완기혈압의 상승이 향후 고혈압 발생에 독립적인 영향을 미친다. 본 연구에서는 Bruce protocol 1에서의 혈압증가에 좌심방 용적지수가 연관되었으며 Bruce protocol 2에서는 통계학적인 유의성을 갖지 못하였다. 이 결과는 운동 시 ST 분절하강 및 혈압저하가 있었던 환자 군에 의한 영향으로 보인다.

운동에 따른 혈압 변화는 재현가능하며<sup>17,18)</sup> 미래의 고혈압에 기여한다.<sup>2)</sup> 이러한 점을 고려하였을 때, 여성에서 운동 시 증가된 혈압은 좌심방 용적지수의 증가에 기여하고 향후 고혈압 발생에도 기여하는 것으로 보인다. 추후 더 많은 환자를 대상으로 검증이 필요하다.

운동부하검사 시 혈압상승 정도와 맥파전달속도와와의 연관성을 보았을 때 전체적으로 유의한 연관성은 없었고 남녀에 따른 유의한 연관성도 없었다. 맥파전달속도와 혈압증가가 통계학적 유의성을 갖지 못하였던 이유로 첫째,

연구에서 측정된 맥파전달속도는 baPWV로 맥파전달속도 자체가 혈압에 의해 결정되기 때문이며<sup>19,20)</sup> 심박수의 영향을 받기 때문이다.<sup>21)</sup> 본 연구에서 기저혈압증가에 따른 맥파전달속도의 변화가 선형으로 보이는 것 또한 같은 맥락으로 보인다. 둘째, 정상시의 운동능력, 기존 질병 등의 특성이 복합적으로 작용하기 때문으로 운동에 따른 혈압상승과의 연관성을 분석하기에는 부족한 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 대상군이 이종적이어서 다양한 질환을 가지고 있었는데, 특히 고혈압 유무에 상관없이 혈압상승의 정도를 분석한 제한점이 있었다. 따라서 추후 고혈압 유무에 따른 혈압의 상승 정도를 비교하는 것이 도움이 될 것으로 생각된다. 둘째, 후향적 연구로 과거 환자의 운동력 등을 조사할 수 없어서 이에 대한 차이를 고려할 수 없었다. 셋째, 운동부하검사 및 맥파전달속도, 심초음파검사를 동시에 시행하지 않았기 때문에 매 순간 변하는 혈압상승과의 연관성을 분석하는 데 한계가 있을

수 있다. 또한 질병이 있는 군에서 심박수가 유의하게 낮은 점은 질병 유무에 따른 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도의 분석에 제한점일 것이다.

결론적으로 운동부하검사 시 혈압 및 심박수의 상승과 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도의 유의한 연관성은 없었지만, 여성에서 운동 시 초기 혈압상승은 좌심방 용적지수와 유의한 연관성이 있었다.

## 요 약

**연구배경:** 본 연구는 운동부하검사 단계적 운동에 따른 혈압상승의 정도와 좌심방 용적지수(left atrial volume index) 및 맥파전달속도(pulse wave velocity)의 연관성을 조사하였다.

**방법:** 충남대학교병원 심장내과에 흉통 및 흉부 불편감으로 방문하여 운동부하검사, 심초음파, 맥파전달속도 측

Table 4. Inter-group analysis of heart rate

Maximal heart rate of group		Mean difference (bpm) (1) - (2)	p-value
(1)	(2)		
Atypical chest pain	Stable angina	14.2	0.006
Atypical chest pain	Unstable angina	20.2	<0.001
Stable angina	Unstable angina	6.0	0.553

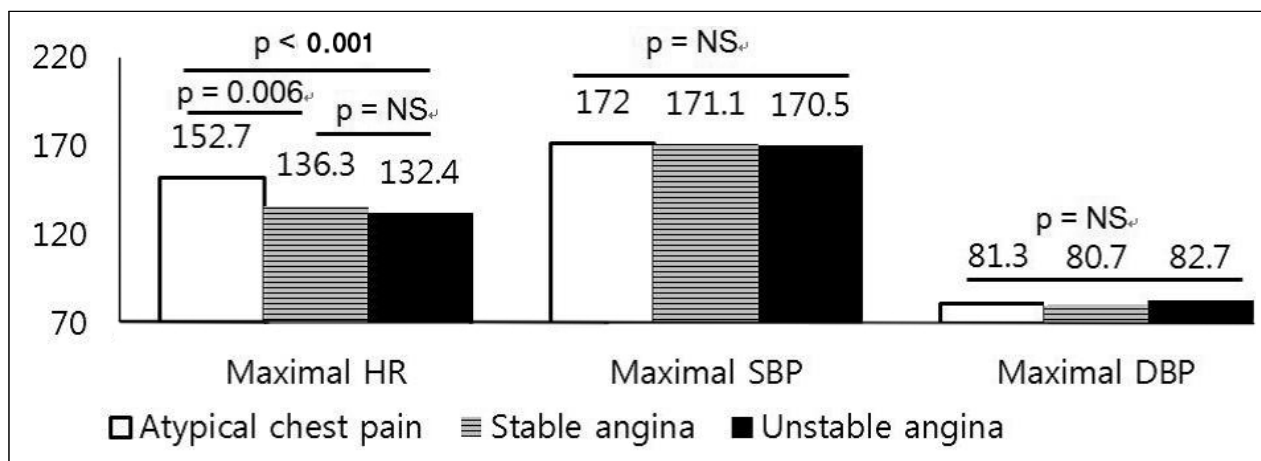


Fig. 3. Average maximal heart rate was decreased in order of atypical chest pain, stable angina and unstable angina. Maximal heart rate was significantly different according to ischemic heart disease (atypical chest pain vs. stable angina and unstable angina,  $p = 0.006$ ,  $< 0.001$ ). However maximal SBP and maximal DBP were not significantly different according to ischemic heart disease. NS, non-specific; HR, heart rate; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure.

정을 모두 시행한 성인 환자 205명을 대상으로 하였다. 각 단계별로 혈압을 측정하였고, 기저혈압 각각의 차를  $\Delta$  systolic blood pressure ( $\Delta$  SBP)로 명명하였다. 회귀분석을 통해 좌심방 용적지수, 맥파전달속도와 기저혈압, 운동 시 단계별 혈압 변화, 최고 혈압과 연관성을 구하였다.

**결과:** 운동부하검사에서 안정 시 수축기혈압은  $127 \pm 16$  mm Hg에서 운동 후 최고 수축기혈압  $171 \pm 26$  mm Hg로 상승하였다. 심박수는 안정 시 분당  $80 \pm 15$ 회에서 최고 분당  $146 \pm 27$ 회로 상승하였다. 단계적 회귀분석을 통해 연관성을 보았고 기저 수축기혈압, 운동 시 초기 혈압상승지표인  $\Delta$  SBP 1, 단계적 운동에 따른 최고 혈압과 좌심방 용적지수는 전체적으로 유의한 연관성은 없었다( $p > 0.5$ ). 단계적 운동 시 초기 혈압상승지표인  $\Delta$  SBP 1의 증가는 좌심방 용적지수와 유의한 상관관계가 없었으나, 여자의 경우 좌심방 용적지수가 증가함에 따라  $\Delta$  SBP 1이 의미 있게 증가하였다( $R^2 = 0.192$ ,  $p = 0.002$ ). 기저혈압과 맥파전달속도의 연관성은 잘 알려진 대로 기저혈압이 높을수록 맥파전달속도가 유의하게 증가하였으나( $R^2 = 0.311$ ,  $p < 0.01$ ). 단계적 운동 시 초기 혈압상승지표인  $\Delta$  SBP 1, 2, 3과 맥파전달속도의 연관성은 전체적으로 유의하지 않았으며( $R^2 = 0.026$ ,  $p > 0.1$ ), 남녀에 따른 차이도 없었다. 그러나 최고 수축기혈압과 맥파전달속도는 유의한 상관관계를 보였다( $R^2 = 0.051$ ,  $p = 0.01$ ).

**결론:** 운동부하검사 시 혈압 및 심박수의 상승과 좌심방 용적지수 및 맥파전달속도의 유의한 연관성은 없었지만, 여성에서 운동 시 초기 혈압상승은 좌심방 용적지수와 유의한 연관성이 있다.

### Conflict of interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

### Acknowledgements

We are grateful to Sukhoon Lee, PhD for help in stat-

istical analysis and.

### References

1. Singh JP, Larson MG, Manolio TA, O'Donnell CJ, Lauer M, Evans JC, et al. Blood pressure response during treadmill testing as a risk factor for new-onset hypertension. The Framingham heart study. *Circulation*. 1999;99:1831-6.
2. Miyai N, Arita M, Miyashita K, Morioka I, Shiraishi T, Nishio I. Blood pressure response to heart rate during exercise test and risk of future hypertension. *Hypertension*. 2002;39:761-6.
3. Weiss SA, Blumenthal RS, Sharrett AR, Redberg RF, Mora S. Exercise blood pressure and future cardiovascular death in asymptomatic individuals. *Circulation*. 2010;121:2109-16.
4. Lauer MS, Okin PM, Larson MG, Evans JC, Levy D. Impaired heart rate response to graded exercise. Prognostic implications of chronotropic incompetence in the Framingham Heart Study. *Circulation*. 1996;93:1520-6.
5. Pritchett AM, Mahoney DW, Jacobsen SJ, Rodeheffer RJ, Karon BL, Redfield MM. Diastolic dysfunction and left atrial volume: a population-based study. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:87-92.
6. Tsang TS, Barnes ME, Gersh BJ, Bailey KR, Seward JB. Left atrial volume as a morphophysiologic expression of left ventricular diastolic dysfunction and relation to cardiovascular risk burden. *Am J Cardiol*. 2002;90:1284-9.
7. Choi CU, Kim EJ, Kim SH, Shin SY, Choi UJ, Kim JW, et al. Differing effects of aging on central and peripheral blood pressures and pulse wave velocity: a direct intraarterial study. *J Hypertens*. 2010;28:1252-60.
8. Watson G, Mechling E, Ewy GA. Clinical significance of early vs late hypotensive blood pressure response to treadmill exercise. *Arch Intern Med*. 1992;152:1005-8.
9. de Liefde IL, Hoeks SE, van Gestel YR, Klein J, Verhagen HJ, van Domburg RT, et al. Prognostic value of hypotensive blood pressure response during single-stage exercise test on long-term outcome in patients with known or suspected peripheral arterial disease. *Coron Artery Dis*. 2008;19:603-7.
10. Ogawa T, Spina RJ, Martin WH 3rd, Kohrt WM, Schechtman KB, Holloszy JO, et al. Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*. 1992;86:494-503.
11. Sheffield LT, Maloof JA, Sawyer JA, Roitman D. Maximal

- heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation*. 1978;57:79-84.
12. Martin WH 3rd, Ogawa T, Kohrt WM, Malley MT, Korte E, Kieffer PS, et al. Effects of aging, gender, and physical training on peripheral vascular function. *Circulation*. 1991;84: 654-64.
13. Tanji JL, Champlin JJ, Wong GY, Lew EY, Brown TC, Amsterdam EA. Blood pressure recovery curves after sub-maximal exercise: a predictor of hypertension at ten-year follow-up. *Am J Hypertens*. 1989;2(3 Pt 1):135-8.
14. Wilson MF, Sung BH, Pincomb GA, Lovallo WR. Exaggerated pressure response to exercise in men at risk for systemic hypertension. *Am J Cardiol*. 1990;66:731-6.
15. Manolio TA, Burke GL, Savage PJ, Sidney S, Gardin JM, Oberman A. Exercise blood pressure response and 5-year risk of elevated blood pressure in a cohort of young adults: the CARDIA study. *Am J Hypertens*. 1994;7:234-41.
16. Dlin RA, Hanne N, Silverberg DS, Bar-Or O. Follow-up of normotensive men with exaggerated blood pressure response to exercise. *Am Heart J*. 1983;106:316-20.
17. Franz IW. Exercise hypertension: its measurement and evaluation. *Herz*. 1987;12:99-109.
18. Pescatello LS, Fargo AE, Leach CN Jr, Scherzer HH. Short-term effect of dynamic exercise on arterial blood pressure. *Circulation*. 1991;83:1557-61.
19. Park HJ, Rho TH, Park CS, Jang SW, Shin WS, Oh YS, et al. The relationship between the acute changes of the systolic blood pressure and the brachial-ankle pulse wave velocity. *Korean J Intern Med*. 2007;22:147-51.
21. Kim NH, Jeong JW, Choi JH, Song M, Park EM, Kim YK, et al. Effect of hemodynamic changes on pulse wave velocity. *Korean Hypertension J*. 2006;12:16-22.