

정상혈압을 가진 성인에서 운동부하검사시 혈압상승과 Vascular Compliance의 관계

국립경찰병원 내과,¹ 성균관대학교 의과대학 내과학교실 삼성서울병원 심장혈관센터²

안석진¹ · 성지동² · 김필호² · 도준형² · 김용훈² · 오혜림²
천일석² · 이상훈² · 홍경표² · 박정의² · 서정돈²

Correlation between Vascular Compliance and Increase of Blood Pressure on Exercising in Normotensive Group

Seok Jin Ahn, MD¹, Jidong Sung, MD², Pil Ho Kim, MD², Joon Hyung Doh, MD²,
Yong Hoon Kim, MD², Hye Rim Oh, MD², IL Seok Chun, MD², Sang Hoon Lee, MD²,
Kyung Pyo Hong, MD², Jeong Euy Park, MD² and Jung Don Seo, MD²

¹Department of Internal Medicine, National Police Hospital, Seoul, ²Division of Cardiology, Cardiac and Vascular Center, Samsung Medical Center; Department of Internal Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives : Vascular compliance is known to be decreased in hypertension, even at an early stage. The blood pressure response to exercise reflects the future risk of developing hypertension. A study was performed on the relationship between the vascular compliance and blood pressure response to exercise, to evaluate whether the vascular compliance is decreased in normotensive persons with a relatively higher future risk of developing hypertension. **Subjects and Methods :** The subjects of the study were adults with normal blood pressure (SBP<120 mmHg, DBP<80 mmHg), who had undergone health screening and both echocardiography and treadmill test. Those patients with a history of diabetes mellitus or clinical cardiovascular diseases were excluded from the subjects. An index of overall vascular compliance (SVI/PP) was calculated using echocardiography. The relationship between the peak systolic blood pressure during exercise and vascular compliance was also investigated. **Results :** The subjects were 77 patients, 54 male and 23 female, with a mean age of 47.6 ± 7.7 years. The measured vascular compliance and average of peak systolic pressure on exercising were 1.08 ± 0.24 L/m²/mmHg and 154 ± 21 mmHg, respectively. The peak systolic pressure was correlated with the vascular compliance ($r = -0.24$, $p < 0.05$). The peak systolic pressure at stage 3 was also correlated with the vascular compliance ($r = -0.24$, $p < 0.05$). This relationship persisted after adjustment for age, gender, basal systolic blood pressure and maximal oxygen consumption ($p < 0.05$). **Conclusion :** The vascular compliance was lower in subjects with a larger increase in blood pressure during exercise whose basal blood pressure was even below 120/80 mmHg. This finding may suggest that a decreased vascular compliance precedes the changes of hypertension. A longitudinal follow-up study is warranted. (Korean Circulation J 2004;34(8):784-788)

KEY WORDS : Compliance ; Treadmill test ; Hypertension.

논문접수일 : 2004년 5월 19일

수정논문접수일 : 2004년 6월 7일

심사완료일 : 2004년 6월 10일

교신저자 : 성지동, 135-710 서울 강남구 일원동 50 성균관대학교 의과대학 내과학교실 삼성서울병원 심장혈관센터

전화 : (02) 3410-6893 · 전송 : (02) 3410-0054 · E-mail : sungjd@samsung.co.kr

서 론

고혈압은 심혈관계질환의 주된 위험인자로서 비교적 초기에 이미 말단장기손상이 관찰되는 것으로 알려지고 있다.¹⁾ 고혈압 환자에서는 정상인에 비해 일반적으로 혈관 탄성도(vascular compliance)가 떨어져 있다.²⁾³⁾

그러나, 혈관탄성도의 저하가 고혈압의 결과인지, 혹은 고혈압에 선행하는 구조적 변화인지에 대해서는 명확하지 않은 상태이며⁴⁾ 운동시 큰 폭의 혈압상승은 향후 고혈압 발생가능성의 유용한 지표임이 알려져 있다.⁵⁻⁷⁾ 그러나 기저혈압이 JNC-7 기준에 따른 정상, 즉 120/80 mmHg 미만인 사람에서 운동시 혈압상승과 혈관 탄성도의 관련성에 대해서는 연구된 바 없다.

저자들은 기저혈압이 정상인 군에서 향후 고혈압 발생 위험성을 반영하는 소견인 운동시 혈압상승과 혈관 탄성도의 관련성을 연구함으로써 120/80 mmHg 미만의 정상혈압군 중 고혈압 발생 가능성이 비교적 클 것으로 예상되는 집단에서 혈관 탄성도가 감소되어 있는지에 대하여 알아보고자 하였다. 이는 혈관 탄성도의 감소가 고혈압에 선행하는 변화임을 시사하는 소견이라고 할 수 있을 것이다.

대상 및 방법

대 상

2002년 9월부터 2003년 5월까지 삼성서울병원에서 건강검진을 받은 사람 중 심장초음파와 운동부하검사를 같이 시행하고 안정상태에서 측정된 혈압이 SBP<120 mmHg, DBP<80 mmHg인 26세부터 61세까지의 성인을 대상으로 하였다. 당뇨, 뇌졸중, 심장병의 과거력이 있는 환자는 제외하였다.

방 법

Vascular compliance의 측정

심초음파검사(HDI 5000 CV, ATL)로 좌심실유출로의 직경과 대동맥 판막의 TVI(time velocity integral)를 이용하여 심장구출량(stroke volume)을 구하였다. 측정된 심장구출량을 체표면(body surface area, BSA)으로 나누어 심장구출을 지표(stroke volume index, SVI)를 구하고 이를 검사직후 양와위에서 측정된 기저

혈압의 맥압(pulse pressure, PP)으로 나누어 혈관 탄성도(SVI/PP)를 계산하였다.⁸⁾

$$SVI = (LVOT \text{ diameter}/2)^2 \times \pi \times (\text{aortic valve TVI}) / BSA$$

$$\text{Vascular compliance} = SVI / PP$$

좌심실유출로의 직경과 대동맥 판막의 TVI는 동일한 검사자가 각각 3차례 측정하여 평균값을 취하였다. 체표면(BSA)은 Mosteller 공식에 의하여 산출하였다.¹⁰⁾

운동부하검사

Bruce 프로토콜으로 시행하였다. 운동 중 3분 간격의 매 단계마다 혈압, 맥박과 산소소모량을 측정하였다. 피험자가 최대한 운동하여 더 이상 운동할 수 없거나, 심박동수가 목표 최대 심박수(220-나이)의 90% 이상 도달 하였을 때, 호흡교환지수가 1.15 이상일 때 운동부하검사를 중단하였다. 검사종료 후 회복기 때 30초 동안 1.2 mph의 속도로 걷은 뒤 5분간 의자에 앉은 자세로 휴식을 취하였다. 운동부하검사 중 대상자는 전방의 가로대에 손을 가볍게 얹을 수는 있으나 강하게 힘을 주어 잡을 수는 없도록 통제하였다.

운동부하검사이시 혈압, 최대산소 소모량을 측정하여 최고 혈압과 혈관 탄성도의 상관관계를 보았다.

통 계

모든 측정값은 평균값(표준편차 형식으로 표시하였다. 통계분석은 SAS for Windows version 8.0을 이용하였고 unpaired t-test, 다변량분석, 다중회귀분석을 하였다. Vascular compliance 와 여러 변수의 상관 관계는 Spearman 상관계수(r)를 이용하였으며, 혈관탄성도를 종속변수로, 운동 시 혈압을 독립변수로 하고, 기타 이에 영향을 줄 것으로 생각되는 변수들의 영향을 보정하기 위하여 다변량 분석을 시행하였다.

결 과

대상환자의 임상적 특징

운동부하검사와 심초음파도를 같이 시행했던 건강검진 수진자 총 222명 중 대상이 되는 정상혈압(기저 혈압 120/80 mmHg 미만)군에 속하며 당뇨, 뇌졸중, 심장병의 과거력이 없는 사람은 총 77명(남자 54명)이었고 연령은 47.6 ± 7.7 세이었다. 평균 수축기 기저혈압은

Table 1. Clinical characteristics of the study population

No. of population (gender)	77 (M : F=54 : 23)
Age	47.6 ± 7.7 years
Baseline SBP	108.4 ± 8.8 mmHg
Baseline DBP	69.6 ± 7.5 mmHg
Average exercise time	9.9 ± 1.6 min
Average heart rate at peak exercise	154.0 ± 13.9 beat/min
Average SVI/PP	1.08 ± 0.24 L/m ² /mmHg
Average peak SBP at exercise	158 ± 21 mmHg
Average pulse pressure at exercise	50 ± 26 mmHg
Peak O ₂ consumption	32.5 ± 6.1 mL O ₂ /kg/min

SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, SVI/PP: stroke volume index/pulse pressure

Table 2. Correlation between vascular compliance and other factors

	r	p
Age	0.06	NS
Peak O ₂ consumption	0.19	NS
BMI	-0.03	NS
Maximal exercise SBP	-0.24	<0.05
Exercise SBP at stage 1	-0.11	NS
Exercise SBP at stage 2	-0.20	NS
Exercise SBP at stage 3	-0.24	<0.05

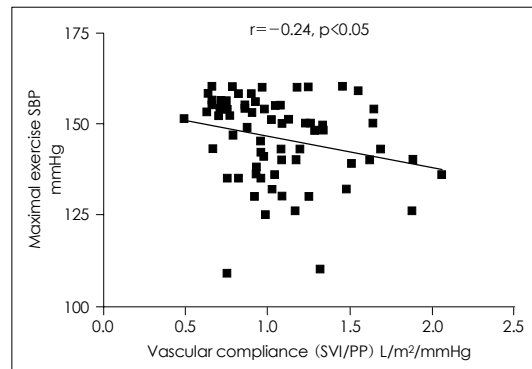
BMI: body mass index, SBP: systolic blood pressure

Table 3. Peak O₂ consumption adjusted multivariate analysis between vascular compliance and maximal exercise systolic blood pressure

	$\beta \pm SD$	p
Intercept	1.27 ± 0.26	
Peak O ₂ consumption	0.009 ± 0.004	0.07
Maximal exercise SBP	-0.003 ± 0.001	0.03

SBP: systolic blood pressure

108.4±8.8 mmHg, 평균 이완기 기저혈압은 69.6±7.5 mmHg 이었다. 전체 혈관 탄성도(SVI/PP)는 1.08±0.24 L/m²/mmHg이었고 운동시 최고혈압은 158±21 mmHg(range : 109~160)이었다. 최고 산소 소모량은 32.5±6.1 mL O₂/kg/min이었다(Table 1). 성별 간의 혈관 탄성도(남자 1.08±0.25 L/m²/mmHg, 여자 1.06±0.23 L/m²/mmHg)의 차이 및 흡연자(1.09±0.24 L/m²/mmHg)와 비흡연자(1.07±0.25 L/m²/mmHg) 사이의 혈관 탄성도의 차이는 통계적으로 유

**Fig. 1.** Correlation between maximal exercise systolic BP and vascular compliance. SBP: systolic blood pressure, SVI/PP: stroke volume index/pulse pressure, BP: blood pressure.

의하지 않았다.

Vascular compliance와 운동시 혈압의 상관관계

최대혈압과 혈관 탄성도(SVI/PP) 간의 상관관계는 $r = -0.24$, $p < 0.05$ 이었다(Fig. 1). 기저혈압이 정상인 군에서 운동부하검사시 stage3 최고혈압과 SVI/PP와의 관련성이 가장 좋았다($r = -0.24$, $p < 0.05$). 운동부하검사시 각 단계별 수축기 혈압, peak O₂ consumption, BMI와 vascular compliance의 관계는 Table 2와 같다. 이러한 관계는 최고 산소섭취량으로 보정한 후에도 유의하였고($p < 0.05$) 성별, 연령, 기저 수축기혈압은 다변량 분석에서 혈관 탄성도의 독립적인 예측인자가 아니었고 운동시 최고 수축기 혈압이 혈관 탄성도를 예측하는 유일한 독립인자였다(Table 3).

고 찰

본 연구에서 대상환자는 건강검진 수진자 중 JNC-7에서¹⁴⁾ 정한 정상범위 안에 들어가는 사람만을 대상으로 분석하였다. 정상혈압인 사람에서 운동 중 수축기 혈압상승이 클수록 혈관 탄성도가 낮게 관찰되었다. 운동 중 혈압상승이 클수록 향후 고혈압 발생가능성이 높다는 사실은 이미 잘 알려져 있으며⁵⁻⁷⁾¹⁰⁾ 고혈압 환자에서는 혈관 탄성도가 감소되어 있음이 알려져 있다.²⁾³⁾ 기저혈압이 JNC-7의 하향 조정된 정상 혈압, 즉 120/80 mmHg 미만의 혈압을 보이는 사람에서 운동 시 혈압 상승정도와 혈관 탄성도의 관계에 대한 연구는 보고된

바가 없다.

Stamler 등¹⁾은 고혈압 초기에 이미 말단장기에 손상이 오는 것으로 보고하고 있으며 본 연구의 결과는 정상 혈압군에서 운동시 수축기 혈압 상승의 정도가 클수록 혈관 탄성도는 낮았으며, 이는 현재 정상 혈압이나 향후 고혈압 발생 가능성이 상대적으로 클수록 혈관 탄성도가 이미 낮아져 있다는 의미이며, 고혈압이 발생하기 전단계에도 이미 혈관계의 변화가 선행할 가능성을 시사하는 소견이라 할 수 있다.

혈관 탄성도는 연령의 증가 자체에 의해서도 떨어지는 것으로 알려지고 있으나⁸⁾¹¹⁾ 본 연구 결과에서는 연령과는 무관한 것으로 나왔다. 이는 아마도 대상집단이 건강검진을 목적으로 온 비교적 젊은 연령대의 사람들로 이루어져 있으며 정상 혈압군으로 대상을 한정하였기 때문으로 생각한다.

본 연구의 결과에서는 혈관 탄성도와 맥압(pulse pressure) 및 이완기 혈압 상승과는 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 맥압과 혈관 탄성도의 상관관계가 없는 것으로 나온 이유는 대상인의 숫자가 너무 적어서 일 것으로 생각하며 보다 많은 정상 혈압을 가진 사람을 대상으로 연구를 시행한다면 유의한 상관관계를 밝힐 수 있을 것으로 생각한다. 이완기 혈압상승과 유의한 상관관계를 보이지 않은 이유는 기저혈압이 정상인 환자에서는 운동시 혈압상승은 수축기혈압의 상승이 주로 일어나며 이완기혈압의 변화는 크지 않아서 일 것으로 생각한다. Beltran 등³⁾의 단독성 수축기 고혈압(isolated systolic hypertension)에서 맥압과 혈관 탄성도는 약한 역상관관계를 보였다고 보고하였다.

이 연구가 가지는 임상적인 의미는 주로 예방적인 측면과 관계되는 것이다. Cameron 등¹²⁾은 기저혈압이 정상인 사람에서 지속적인 운동이 혈관 탄성도를 증가시킨다고 보고하였다. 본 연구에서와 같이 기저 혈압이 높지 않더라도 혈관 탄성도가 낮은 집단을 가려내어 운동요법과 같은 적극적인 생활요법을 시행하는 대상으로 하는 예방 전략을 생각할 수 있다.

본 연구는 몇가지의 제한점을 가지고 있다. 혈관 탄성도를 측정하는 방법은 여러 가지가 알려져 있으나 아직 표준이 되는 방법은 정해져 있지는 않은데, 저자들은 심초음파를 이용하여 혈관 탄성도를 측정하는 방법을 사용하였으며⁸⁾ 이는 비교적 간편하고 특별한 추가장비 없이도 측정이 가능하나 재현성 측면에서는 다소 떨어져

고 심기능, 심박수에 영향을 받으며 대동맥(large artery)과 소동맥을 구분 지어서 탄성도를 반영하지 못하는 단점이 있다.

본 연구에서 혈관 탄성도와 운동시 수축기혈압 상승간의 상관관계수가 낮게 나온 것은 이러한 탄성도 측정 방법 상의 문제가 영향을 미쳤을 것으로 생각되고 pulse wave velocity와 같은 좀더 재현성이 높은 검사방법을 이용하여 혈관 탄성도를 측정하였다면 좀 더 높은 상관성을 보일 것으로 생각한다.

또한, 혈압의 측정에 있어서 1회 방문의 1회 앓은 자체 측정에 그쳤기 때문에 정상혈압군의 분류에 있어서 다소간의 부정확성이 있을 수 있다. 그러나, 고혈압 진단을 받거나 약물 치료 중인 사람을 병력을 통하여 제외하였고, 일반적으로 1회의 병원 측정 혈압은 실제 혈압을 다소 과대평가하는 경우가 많다는 점을 고려하면 고혈압인 사람이 정상으로 잘못 포함되었을 가능성은 상대적으로 낮다고 하겠다.¹³⁾

결론적으로, 기저혈압이 정상이면서 운동 중 혈압상승이 심하여 향후 고혈압 발생 가능성이 높은 군에서 혈관 탄성도가 낮게 관찰되었다. 연관 정도가 낮기는 하나 이는 혈관 탄성도의 저하가 고혈압에 선행하는 변화임을 시사하는 소견일 수 있을 것으로 생각되므로 앞으로 보다 많은 사람을 대상으로 전향적인 연구를 통해 이의 규명이 필요할 것으로 사료된다. 또한 이러한 관계의 규명은 향후 고혈압 발생을 예방하기 위한 전략을 수립하는 데에도 도움이 될 수 있을 것으로 보인다.

요 약

배경 및 목적 :

고혈압 환자에서 혈관 탄성도가 떨어지는 것이 알려져 있으며 이러한 소견은 고혈압 초기에도 나타나는 것으로 알려져 있다. 저자들은 기저혈압이 정상(120/80 mmHg 미만)인 군에서, 향후 고혈압 발생 위험성을 반영하는 소견인 운동시 혈압상승과 혈관 탄성도의 관련성을 연구함으로써 고혈압 발생 가능성이 큰 정상인에서 혈관 탄성도가 감소되어 있는지에 대하여 알아보고자 하였다.

방 법 :

2002년 9월부터 2003년 5월까지 삼성서울병원에서 건강검진을 받은 사람 중 심장초음파와 운동부하검사를

같이 시행하고 당뇨, 뇌졸중, 심장병 과거력이 없으며 안정 상태에서 측정된 혈압이 SBP<120 mmHg, DBP<80 mmHg인 성인을 대상으로 하였다. 심초음파검사로 심장구출량(stroke volume)을 계산하여 체표면(body surface area)으로 나누어 stroke volume index를 구하고 이를 기저혈압의 맥압(pulse pressure, PP)으로 나누어 혈관 탄성도(SVI/PP)를 계산하였다. 운동부하검사시 혈압을 측정하여 최고 혈압과 혈관 탄성도의 상관관계를 보았다.

결 과 :

대상 환자는 총 77명(남자 54명)이었고 연령은 47.6±7.7세이었다. 전체 혈관 탄성도는 1.08±0.24 L/m²/mmHg이었고 운동 중 평균 수축기 최고혈압은 154±21 mmHg(range : 109~160)이었다. 최대혈압과 혈관 탄성도 간의 상관관계는 r=-0.24, p<0.05이었다. 기저혈압이 정상인 환자군에서 운동부하검사시 3단계 최고혈압과 혈관 탄성도의 관련성이 가장 좋았다 (r=-0.24, p<0.05). 이러한 관계는 성별, 연령, 기저 수축기혈압은 다변량 분석에서 혈관 탄성도의 독립적인 예측인자가 아니었고, 최고산소 섭취량으로 보정한 후에도 유의하였다(p<0.05) (측정값 : 평균±표준편차).

결 론 :

기저혈압이 정상이면서 운동 중 혈압상승이 심하여 향후 고혈압 발생 가능성이 높은 군에서 혈관 탄성도가 낮게 관찰되었다. 이는 혈관 탄성도의 저하와 고혈압 발생간의 선후관계를 추정하는데 도움이 될 수 있는 소견으로 앞으로 전향적인 연구를 통해 이의 규명이 필요할 것으로 사료된다.

중심 단어 : 혈관 탄성도 ; 운동 부하검사 ; 고혈압.

REFERENCES

1) Stamler J. Blood pressure and high blood pressure: aspects of risk. *Hypertension* 1991;18 (Supl):195-107.

2) McVeigh GE, Burns DE, Finkelstein SM, McDonald KM, Mock JE, Feske W, Carlyle PF, Flack J, Grimm R, Cohn JN. Reduced vascular compliance as a marker for essential hypertension. *Am J Hypertens* 1991;4:245-51.

3) Beltran A, McVeigh G, Morgan D, Glasser SP, Neutel JM, Weber M, Finkelstein SM, Cohn JN. Arterial compliance abnormalities in isolated systolic hypertension. *Am J Hypertens* 2001;14:1007-11.

4) Mulvany MJ. Are vascular abnormalities a primary cause or secondary consequence of hypertension? *Hypertension* 1991;18:152-7.

5) Tsumura K, Hayashi T, Hamada C, Endo G, Fujii S, Okada K. Blood pressure response after two-step exercise as a powerful predictor of hypertension. *J Hypertens* 2002;20:1507-12.

6) Lund-Johansen P. Blood pressure response during exercise as a prognostic factor. *J Hypertens* 2002;20:1473-5.

7) 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.

8) de Simone G, Roman MJ, Daniels SR, Mureddu G, Kimball TR, Greco R, Devereux RB. Age-related changes in total arterial capacitance from birth to maturity in a normotensive population. *Hypertension* 1997;29:1213-7.

9) Mosteller RD. Simplified calculation of body surface area. *N Engl J Med* 1987;317:1098.

10) Matthews CE, Pate RR, Jackson KL, Ward DS, Macera CA, Kohl HW, Blair SN. Exaggerated blood pressure response to dynamic exercise and risk of future hypertension. *J Clin Epidemiol* 1998;51:29-35.

11) Pini R, Cavallini MC, Bencini F, Stagliano L, Tonon E, Innocenti F, Baldereschi G, Marchionni N, di Bari M, Devereux RB, Masotti G, Roman MJ. Cardiac and vascular remodeling in older adults with borderline isolated systolic hypertension. *Hypertension* 2001;38:1372-6.

12) Cameron JD, Dart AM. Exercise training increases total systemic arterial compliance in humans. *Am J Physiol* 1994;266:H693-701.

13) Pickering TG. Ambulatory monitoring and the definition of hypertension. *J Hypertens* 1992;10:401-9.

14) Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL Jr, Jones DW, Materson BJ, Oparil S, Wright JT Jr, Roccella EJ. Seventh report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. *Hypertension* 2003;42:1206-52.