50대 남성의 운동 유발성 고혈압 반응과 동맥경직도 간의 연관성

고광준¹⁾ · 하지철¹⁾ · 강설중^{2)*}

1) 국민체력센터 2) 창원대학교

ABSTRACT

Kwang-Jun Ko · Gi-Chul Ha · Seol-Jung Kang. Relationship between Exercise-Induced Hypertension Response and Arterial Stiffness in Men Aged 50 Years. *KINESIOLOGY*, 2016, 18(2): 1-7. **[PURPOSE]** This study attempted to show the relationship between exercise-induced hypertension response and arterial stiffness in men aged 50 years. **[METHODS]** The subjects of the study were adults male with exercise induced hypertension group (n=45, age 56.22±2.60 years) and control group (n=61, age 56.01±1.57 years) who had undergone exercise test and arterial stiffness test. Exercise induces hypertension is defined as a peak systolic blood pressure ≥ 210 mmHg during treadmill tests. Exercise stress test was conducted using modified Balke protocol. Arterial stiffness was assessed based on brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV). **[RESULTS]** Exercise induced hypertension group showed significantly higher baPWV than that of control group (1416.5±154.09cm/sec vs. 1309.5±127.76cm/sec, $p<.001$). The peak systolic blood pressure was correlated with the resting heart rate ($r=0.198$, $p<.05$), resting systolic blood pressure ($r=0.190$, $p<.05$), and baPWV ($r=0.461$, $p<.001$). In multiple linear regression analysis, we found that the baPWV was a significant predictor of peak systolic blood pressure ($\beta=0.429$, $p<.001$). **[CONCLUSIONS]** Exaggerated blood pressure response to exercise was associated with arterial stiffness.

Key words : exercise stress test, exercise-induced hypertension, arterial stiffness

주요어 : 운동부하검사, 운동 유발성 고혈압, 동맥경직도

서론

고혈압은 혈관 내피세포 기능장애를 일으켜 동맥경화를 촉진하기 때문에 심혈관질환의 예측변수로 밝혀져 왔다(Trenkwalder et al., 1999). 이에 안정시 혈압에 근거로 하여 고혈압 발생을 예방하는 것이 중요시 되고 있다. 하지만 안정시 혈압뿐만 아니라 운동시 과잉 혈압 반응도 고혈압 발생의 예후적 정보를 제공하고 있다. 운동부하검사 시 혈류역학적 반응을 분석한 결과, 향후 고혈압에 이완될지의 여부로 운동 유발성 고혈압(exercise-induced hypertension)이 증명되어 왔다(Singh et al., 1999; Miyai et al., 2002). 즉 운동 시 과도한 혈압 상승을 보이는 경우 기저값의 혈압 수치는 정상임에도 불구하고 향후 고혈압 발생 가능성, 좌심실 비대와 심혈관질환 발생 위험 등을 높인다는 사실이 이미 여러 연구에서 보고되고 있다(Matthews et al., 1998; Miyai et al., 2002).

운동 유발성 고혈압 반응 기전에 대해서는 아직까지 명확하게 알려진 바가 없지만 일부 연구에 의하면 혈관 내피세포 기능부전으로 인한 동맥경직도(arterial stiffness)가 높아지면 혈관저항이 증가되어 운동 유발성 고혈압이 발생할 수 있는 것으로 제시되고 있다(Allison et al., 1999; Palatini, 1998). 동맥경직도는 고혈압과 연관된 심실의 후부하(after load) 상승과 심실의 이완 기능 저하로 관상동맥 혈류 공급을 방해시키게 되므로 심혈관질환 발생을 예측하는 데 유용한 지표가 되고 있다(Blacher et al., 1999). 동맥경직도는 맥파전도속도(pulse wave velocity; PWV)를 측정하여 유추할 수 있다(Kingwell et al., 2001; Mattace-Raso et al., 2006). PWV는 혈관의 신전성과 경직도를 측정할 수 있는 방법이며, 나이를 더 먹음에 따라 뚜렷하게 증가하고 안정시 기저 혈압이 높을수록 상승되는 것으로 나타났다(Bentos et al., 2002; Blacher et al., 1999). PWV에 영향

* 교신저자: sjkang803@hanmail.net

을 미치는 인자에 대한 연구에 의하면 고혈압과 연관이 있는 것으로 보고되고 있다(Asmar et al., 1995; Boutouyrie et al., 2002; Munakata et al., 2003).

또한 최근 연구에서도 안정시 정상 혈압이 정상인 사람에서 운동부하검사 시 높은 수축기 혈압이 동맥 경직도와 연관성이 있는 것으로 나타났다(Sung et al., 2012; Thanssoulis et al., 2012). 하지만 이들 선행연구에서는 운동부하검사 초기 단계의 수축기 혈압과 운동맥경직도 간의 연관성을 분석하였다. 이는 기존에 제시된 운동 유발성 고혈압을 반영하는 데 다소 제한점이 있다고 생각된다. 이러한 점에서 최대운동부하검사에 의한 운동 유발성 고혈압군과 대조군으로 구분하여 운동 중 최대 수축기 혈압과 동맥경직도 간의 연관성을 살펴볼 필요가 있다고 본다.

따라서 본 연구에서는 50대 남성을 대상으로 운동 유발성 고혈압 반응과 동맥경직도 간 연관성을 분석하여 임상적 의의를 알아보고자 하였다.

연구 방법

연구대상

본 연구의 대상자는 2015년 서울 지역 국민체력센터에서 운동부하검사와 동맥경직도 검사를 받은 동일 연령대인 50대 남성으로 근무 환경조건이 비슷한 소방공무원 중 항고혈압제를 복용 중인 환자, 심혈관질환 환자 및 운동부하검사 시 연령 대비 예측심박수의 85%에 도달하지 않은 사람을 제외한 106명이다.

연구대상자는 안정시 정상 혈압 수치 혹은 경계성 고혈압 수치($\leq 140/90$ mmHg)이면서 운동부하검사에 의해 최대 수축기 혈압이 210mmHg 이상 증가한 운동 유발성 고혈압군($n=45$ 명, 56.22 ± 2.60 세)과 운동유발성 고혈압 반응이 나타나지 않은 대조군($n=61$ 명, 56.01 ± 1.57 세)으로 구분하였다. 운동 유발성 고혈압은 Framingham Heart Study의 기준(남자, 수축기 혈압 ≥ 210 mmHg)으로 하였다(Lauer et al., 1992).

연구대상자의 신체적 특성은 <Table 1>에 나타난 바와 같으며 운동 유발성 고혈압군과 대조군 간 연령,

Table 1. Characteristics of subjects (M $\pm$ SD)

Variables	EIA group (n=45)	Control group (n=61)	t	P
Age(years)	56.22 $\pm$ 2.60	56.01 $\pm$ 1.57	0.51	<.614
Height(cm)	170.96 $\pm$ 4.27	169.62 $\pm$ 4.20	1.60	<.112
Weight(kg)	73.10 $\pm$ 7.28	70.45 $\pm$ 6.63	1.95	<.054
BMI(kg/m ²)	25.00 $\pm$ 2.06	24.50 $\pm$ 2.25	1.16	<.249
% Fat	23.76 $\pm$ 3.73	23.48 $\pm$ 3.80	0.37	<.708

EIA; exercise-induced hypertension

BMI; body mass index

신장, 체중, 체질량지수, 체지방율은 유의한 차이가 나타나지 않았다.

측정항목 및 방법

신체구성 검사

신장과 체중은 자동신체계측기(SH-9600A, Korea)를 이용하여 측정하였다. 체질량지수(Body Mass Index, BMI)는 체중(kg)/신장(m²)의 공식에 의해 산출하였다. 체지방률은 신체전기저항법에 의거하여 측정하였다(Jawon, Korea).

운동부하검사

운동부하검사는 운동부하검사 장비(Quinton, USA), 혈압측정기(Tango, USA), 가스분석 시스템(Jaeger, Germany)을 이용하여 혈압, 심박수 및 최대산소섭취량(VO₂ Peak)을 측정하였다.

운동부하검사에 이용된 프로토콜은 Balke의 프로토콜을 변형한 것으로 85m/min으로 속도를 고정시킨 후 경사도 0%에서 운동을 시작하여 1분마다 점증적으로 경사를 2.5%씩 증가시키는 방법으로 하였다. 안정시 혈압은 자동혈압측정기(Quinton Instrument Co, USA)를 이용하여 의자에 앉아 5분간 안정된 후 3분 간격으로 두 번 측정하여 낮게 측정된 혈압을 사용하였다. 운동 중 혈압은 각 운동단계의 마지막 15초 전에 자동혈압계(Tango, USA)로 측정하였다.

운동부하검사의 종료는 ACSM(2009)의 세부적인 지침에 따라 시행하였다.

동맥경직도 검사

동맥경직도 검사는 누운 자세에서 최소 10분 이상 안정을 하

도록 한 후 VP-2000(Colin Medical Technology, Japan)을 이용하여 맥파전도속도(pulse wave velocity; PWV)를 측정하였다.

PWV는 비침습적 방법으로 혈관의 탄력성이 감소하면 맥파의 전달 속도가 빨라지게 되는 원리로 토대로 한 혈관 기능 검사로 임상 현장에서 유용하게 활용되고 있다. 본 연구에서는 좌측과 우측의 상완-발목 맥파전도속도(brachial-ankle PWV; baPWV)는 맥파가 진행한 거리를 맥파의 전파시간을 나누어 산출하였으며 좌측과 우측의 평균 baPWV를 자료 분석에 이용하였다.

자료 처리

모든 자료 분석은 SAS 9.1을 이용하여 처리하였으며 운동 유발성 고혈압군과 대조군 간의 평균 수치를 비교하기 위하여 독립 t검정(independent t-test)을 실시하였다. 또한 최대 수축기 혈압과 안정시 심박수, 안정시 혈압, 동맥경직도 간의 연관성은 Pearson's 상관관계 분석(pearson correlation analysis)을 실시하였다. 최대 수축기 혈압에 영향을 주는 요인은 다중회귀 분석법(multiple linear regression analysis)을 이용하였다. 모든 분석에서 통계적 검정은 p 값 <0.05일 경우를 유의하다고 판정하였다.

결과

운동 유발성 고혈압군과 대조군 간의 혈압, 심박수, 운동능력, 동맥경직도 비교

baPWV; brachial-ankle Pulse Wave Velocity
EIA; Exercise-Induced Hypertension

Figure 1. Comparison of mean baPWV between EIA and control groups

운동 유발성 고혈압군과 대조군 간 안정 시 수축기 혈압과 이완기 혈압, 최대 심박수, VO_2 Peak 및 운동 시간은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 반면 운동 유발성 고혈압군이 대조군에 비해 안정시 심박수($p < .01$), 최대 수축기 혈압($p < .001$), 최대 이완기 혈압($p < .001$)이 유의하게 높게 나타났다<Table 2>.

또한 운동 유발성 고혈압군이 대조군에 비해 좌, 우측 baPWV(각각 $p < .001$) 및 평균 baPWV($p < .001$)가 유의하게 높게 나타났다<Table 2>, <Figure 1>.

최대 수축기 혈압과 안정시 심박수, 안정시 혈압, 동맥경직도 간의 상관관계

최대 수축기 혈압은 안정시 심박수($r=0.198$, $p < .05$), 안정시 수축기 혈압($r=0.259$, $p < .01$), baPWV($r=0.461$, $p < .001$) 간 유의한 상관관계를 보였다.

Table 2. Comparison of blood pressure, exercise capacity, baPWV between EIA and control groups (M±SD)

Variables	EIA group(n=45)	Control group(n=61)	t	P
Resting SBP(mmHg)	127.80±10.21	124.34±11.21	1.63	<.101
Resting DBP(mmHg)	79.57±5.58	75.32±7.50	1.76	<.081
Peak SBP(mmHg)	222.04±8.62	184.38±15.33	14.83	<.000
Peak DBP(mmHg)	93.06±8.90	82.85±9.15	5.96	<.000
Resting heart rate(betes/min)	72.88±9.08	68.54±8.17	2.58	<.012
Peak heart rate(betes/min)	154.84±8.20	155.90±9.86	-0.58	<.548
VO_2 Peak(ml/min/kg)	37.04±5.55	37.49±4.27	-0.47	<.652
Exercise time(min)	8.86±1.12	8.92±0.99	-1.33	<.748
Right baPWV(cm/sec)	1406.6±161.77	1303.6±134.79	3.58	<.000
Left baPWV(cm/sec)	1426.2±157.69	1310.0±132.31	4.12	<.000
Mean baPWV(cm/sec)	1416.5±154.09	1306.8±127.76	4.00	<.000

EIA; Exercise-Induced Hypertension, SBP; systolic blood pressure, DBP; diastolic blood pressure, baPWV; brachial-ankle Pulse Wave Velocity

또한 안정시 심박수와 안정시 수축기 혈압($r=0.243$, $p<.05$), baPWV($r=0.314$, $p<.01$) 간 유의한 상관관계를 보였다. 안정시 수축기 혈압과 baPWV($r=0.259$, $p<.01$) 간에도 유의한 상관관계를 보였다(Table 3).

최대 수축기 혈압의 독립적인 영향력에 대한 다중회귀분석

최대 수축기 혈압에 영향을 미치는 요인을 알아본 결과, baPWV는 독립적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다($\beta=0.429$, $p<.001$). 하지만 안정시 심박수, 안정시 수축기 혈압 간에는 유의한 연관성이 관찰되지 않았다(Table 4).

논의

본 연구는 향후 고혈압 발생 위험성을 반영하는 소견인 운동 유발성 고혈압 반응과 동맥경직도 간의 연관성을 파악하고자 운동부하검사와 상완-발목 맥파전도속도(baPWV) 검사를 50대 남성을 대상으로 실시하였다. 본 연구의 결과 운동 유발성 고혈압군이 대조군에 비해 baPWV가 유의하게 높은 것으로 나타났다. 또한 운동부하검사 시 최대 수축기 혈압과 baPWV 간 유의한 관련성이 있는 것으로 나타났으며 다중회귀분석 결과, 운동 유발성 고혈압에 영향력이 있는 독

립예측변인은 baPWV인 것으로 나타났다.

운동부하검사는 심혈관질환의 진단, 혈액동력학적 반응(hemodynamic response) 및 심폐능력 수준의 평가를 위해 시행되고 있다. 특히 운동부하검사 중 혈압 반응은 심혈관질환의 진단적 및 예후적 정보를 제공하며, 향후 고혈압 진단에 유용한 운동 유발성 고혈압에 대해서도 연구가 진행되어 왔다(Sharabi et al., 2001). 선행 연구에서 운동 유발성 고혈압 기준은 안정시 수축기와 이완기 혈압이 각각 140/90mmHg 미만이면서 운동 중 수축기 혈압이 남성의 경우 200~210mmHg 이상으로 제시하고 있다(Ilia et al., 1988; Lauer et al., 1992). 운동 중 수축기 혈압의 상승은 심박출량 변화와 말초혈관기능 및 좌심실 수축 예비력(inotropic reserve)을 반영한다. 하지만 심박출량 증가에 비해서 수축기 혈압이 과도하게 상승하게 될 경우 심실의 작업수행이 부적절해지게 된다. 운동 시 과도한 수축기 혈압 반응을 보인 경우 추적 관찰을 한 결과, 고혈압과 심혈관질환 발생 가능성이 높은 것으로 나타났다(Fagard et al., 1991; Filipovsky, Ducimetiere & Safar, 1992).

동맥경직도는 동맥의 탄성 저하로 인한 것이며 좌심실 비대, 좌심실 후부하 증가 및 혈관내피세포 손상에 의한 혈류장애 등이 나타나게 되므로 심혈관질환 발생 위험도를 예측할 수 있다(Blacher et al., 1999; Zieman, Melenovsky & Kass, 2005). 동맥경직도를 평가하는 여러 지표 중 baPWV는 비침습적인 방법으로 측정이 간단하여 임상적으로 심혈관질환의 위험 예측에 유용하게 활용되고 있다(Laurent et al., 2001; Tomiyama et

Table 3. Correlation coefficients of between peak systolic blood press and resting heart rate, blood pressure, baPWV

Variables	Peak SBP		Resting HR		Resting SBP		Resting DBP		baPWV	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
Peak SBP	-	-	0.198	<.041	0.190	<.050	0.173	<.075	0.461	<.000
Resting HR			-	-	0.243	<.012	0.017	<.858	0.314	<.001
Resting SBP					-	-	0.530	<.000	0.259	<.007
Resting DBP							-	-	0.158	<.104
baPWV									-	-

HR; heart rate, SBP; systolic blood pressure, DBP; diastolic blood pressure, baPWV; brachial-ankle pulse wave velocity

Table 4. Multiple regression analysis for peak systolic blood pressure as dependent variable

Dependent variable	Variables	B	SE	β	<i>t</i>	<i>P</i>
Peak systolic blood pressure	Resting HR	0.120	0.241	0.046	0.50	<.618
	Resting SBP	0.141	0.191	0.067	0.74	<.463
	baPWV	0.065	0.014	0.429	4.56	<.000

HR; heart rate, SBP; systolic blood pressure, DBP; diastolic blood pressure, baPWV; brachial-ankle pulse wave velocity

al., 2005). 본 연구의 결과 운동 유발성 고혈압군이 대조군에 비해 baPWV가 유의하게 높게 나타났다. 본 연구와 유사하게 기저 혈압이 정상이면서 운동 중 수축기 혈압 상승이 높을수록 심장초음파 검사로 분석한 혈관 탄성도(vascular compliance)가 낮은 것으로 나타났다(Ahn et al., 2004). 이러한 결과는 동맥경직에 의한 혈관 탄성의 감소가 혈관확장 장애를 유발시켜 동일한 정도의 심박출량 증가에도 불구하고 운동 중 혈압 상승이 더욱 높게 나타나기 때문으로 볼 수 있다. 즉 본 연구는 운동 유발성 고혈압 반응에 동맥경직도가 영향을 있음을 확인하는 데 의미를 둘 수 있다.

또한 본 연구의 결과 운동부하검사 시 최대 수축기 혈압과 baPWV 간 연관이 있는 것으로 나타났다. Sung et al.(2012)의 연구에서도 임상적으로 심혈관질환이 없는 정상 혈압자의 동맥경직도는 운동부하검사 초기 단계의 높은 수축기 혈압과 연관이 있는 것으로 나타났다. Thanssoulis et al.(2012)도 Framingham 연구에 참가한 대상자들의 운동부하검사 시 Bruce 프로토콜 2단계의 높은 수축기 혈압과 동맥경직도 간 연관이 있는 것으로 나타났다. 이처럼 운동 중 과잉 혈압 반응은 동맥경직도가 직접적인 연관성이 있는 것으로 생각된다. 특히 본 연구는 기존 연구의 운동부하검사 초기 단계에서 측정된 혈압 반응이 아닌 최대 운동부하검사 시 운동 유발성 고혈압 반응이 나타난 대상자를 선정하여 동맥경직도 간의 연관성을 분석하였다는 데 의의가 있다고 본다.

최대 운동 중 수축기 혈압에 대한 독립 예측변인을 알아보기 위해 다중회귀분석을 실시한 결과에서도 baPWV가 영향력이 있는 것으로 나타났다. 이는 운동 중 과잉 수축기 혈압 반응에 동맥경직도가 원인이 될 수 있음을 시사한다고 본다. 따라서 안정시 혈압이 정상인 사람에서 운동 중 과잉으로 혈압 상승이 관찰된 경우 동맥경직도 개선이 차후 고혈압 발생 위험도를 낮추는 데 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 본 연구의 제한점으로는 단면적 연구이기에 운동 유발성 고혈압 반응과 동맥경직도 간의 인과관계를 정확히 알 수 없다. 이에 대해 앞으로 전향적인 연구와 병태생리학적 기전을 밝힐 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 대상자의 선정에 있어 일개 지역의 50대 남성을 대상으로 하였기에 선택 편견과 일반

화하기 어려운 점이 있다고 본다. 이러한 연구의 제한점에도 불구하고 본 연구는 운동 유발성 고혈압 반응에 동맥경직도가 연관되어 있다는 사실을 제시한 점에서 의미가 있다고 생각된다.

결론

본 연구에서 50대 남성의 운동 유발성 고혈압군이 대조군에 비해 동맥경직도를 반영하는 맥파전도속도가 유의하게 증가되어 있는 것으로 나타났다. 또한 운동부하검사 시 최대 수축기 혈압과 맥파전도속도 간 연관이 있는 것으로 나타났다. 이는 운동 유발성 고혈압 반응에 동맥경직도가 영향을 있을 것으로 볼 수 있다. 따라서 동맥경직도를 낮추는 것으로 알려진 운동 혹은 신체활동이 중요하다고 생각된다.

참고문헌

- ACSM (2009). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 8th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ahn, S. J., Sung, J. D., Kim, P. H., Doh, J. H., Kim, Y. H., Oh, H. R., Chun, I. S., Lee, S. H., Hong, K. P., Park, J. E., & J. D. (2004). Correlation between vascular compliance and increase of blood pressure on exercising in normotensive group. *Korean Circulation Journal*, 34(8): 784-788.
- Allison, T. G., Cordeiro, M. A., Miller, T. D., Daida, H., Squires, R. W., & Gau, T. G. (1999). Prognostic significance of exercise-induced systemic hypertension in healthy subjects. *American Journal of Cardiology*, 83: 371-375.
- Asmar, R., Benetos, A., Topouchian, J., Laurent, P., Pannier, B., Brisac, A., Target, R., & Levy B. (1995). Assessment of arterial distensibility by automatic pulse wave velocity measurement:

- validation and clinical application studies. *Hypertension*, 26: 485-490.
- Bentos, A., Waeber, B., Izzo, J., Mitchell, G., Resnick, L., Asmar, R., & Safar, M. (2002). Influence of age, risk factors, and cardiovascular and renal disease of arterial stiffness: clinical application. *American Journal of Hypertension*, 15: 1101-1108.
- Blacher, J., Asmar, R., Djane, S., London, G. M., & Safar, M. E. (1999). Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. *Hypertension*, 33(5): 1111-1117.
- Blacher, J., Guerin, A. P., Pannier, B., Marchais, S. J., Safar, M. E., & London, G. M. (1999). Impact of aortic stiffness on survival in end-stage renal disease. *Circulation*, 2434-2439.
- Boutouyrie, P., Tropeano, A. I., Asmar, R., Gautier, I., Benetos, A., Lacolley, P., & Laurent, S. (2002). Aortic stiffness is an independent predictor of primary coronary events in hypertensive patients: a longitudinal study. *Hypertension*, 39: 10-15.
- Fagard, R., Straessen, J., Thijs, L., & Amery, A. (1991). Prognostic significance of exercise versus resting blood pressure in hypertensive men. *Hypertension*, 17: 574-578.
- Filipovsky, J., Ducimetiere, P., & Safar, M. E. (1992). Prognostic significance of exercise blood pressure and heart rate in middle-aged men. *Hypertension*, 20: 333-339.
- Ilia, R., Carmel, S., Tsatskis, B., & Gueron, M. (1988). Exaggerated blood pressure response at exercise in normotensive subjects: demographic and stress performance characteristics. *American Heart Journal*, 136: 499-503.
- Kingwell, B. A., Medley, T. L., Waddell, T. K., Cole, T. J., Dart, A. M., & Jennings, G. L. (2001). Large artery stiffness: structural and genetic aspects. Clinical Experiment. *Pharmacology Physiology*, 28(12): 1040-3104.
- Lauer, M. S., Levy, D., Anderson, K. M., & Plehn, J. F. (1992). Is there a relationship between exercise systolic blood pressure response and left ventricular mass? *Annual International Medicine*, 116: 203-210.
- Laurent, S., Boutouyrie, P., Asmar, R., Gautier, I., Laloux, B., Guize, L., Ducimetiere, P., & Benetos, A. (2001). Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension*, 37: 1236-1241.
- Mattace-Raso, F. U., van der Cammen, T. J., Hofman, A., van Popele, N. M., Bos, M. L., Schalekamp, M. A., Asmar, R., Reneman, R. S., Hoeks, A. P., Breteler, M. M., & Witteman, J. C. (2006). Arterial stiffness and risk of coronary heart disease and stroke: the Rotterdam study. *Circulation*, 113: 657-663.
- Matthews, C. E., Pate, R. R., Jackson, K. L., Ward, D. S., Macera, C. A., Kohl, H. W., & Blair, S. N. (1998). Exaggerated blood pressure response to dynamic exercise and risk of future hypertension. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51: 29-35.
- Miyai, N., Arita, M., Miyashita, K., Morioka, I., Shiraishi, T., & Nishio, I. (2002). Blood pressure response to heart rate during exercise test and risk of future hypertension. *Hypertension*, 39: 761-766.
- Munakata, M., Ito, N., Nunokawa, T., & Yoshinaga, K. (2003). Utility of automated brachial ankle pulse wave velocity measurements in hypertensive patients. *American Journal of Hypertension*, 16: 653-657.
- Palatini, P. (1998). Exaggerated blood pressure response to exercise: pathophysiologic mechanisms and clinical relevance. *Journal of Sports Medicine Physiology Fitness*, 38: 1-9.
- Park, J. H., Jin, S. H., Lee, Y. D., Seong, S. W., Lee,

- H. S., Kim, M. J., Park, K. I., Oh, J. K., Ahn, K. T., Park, S. J., Kim, J. H., Park, J. H., Lee, J. H., Choi, S. W., Seong, I. W., & Jeong, J. O. (2013). Association of blood pressure and heart rate response to graded exercise test with left arterial volume index and pulse wave velocity. *Journal of Korean Society Hypertension*, 19(2): 45-54.
- Sharabi, Y., Ben-Cnaan, R., Hanin, A., Martonovitch, G., & Grossman, E. (2001). The significance of hypertension response to exercise as a predictor of hypertension and cardiovascular disease. *Journal of Human Hypertensions*, 15: 353-356.
- Singh, J. P., Larson, M. G., Manolio, T. A., O'Donnell, C. J., Lauer, M., Evans, J. C., & Levy, D. C. (1999). Blood pressure response during treadmill testing as a risk factor for new-onset hypertension. The Framingham heart study. *Circulation*, 99: 1831-1836.
- Sung, J. D., Choi, S. H., Choi, Y. H., Kim, D. K., & Park, W. H. (2012). The relationship between arterial stiffness and increase in blood pressure during exercise in normotensive persons. *Journal of Hypertension*, 30(3): 587-591.
- Thanssoulis, G., Lyass, A., Benjamin, E. J., Larson, M. G., Vita, J. A., Levy, D., Hamburg, N. M., Widlansky, M. E., O'Donnell, C. J., Mitchell, G. F., & Vasan, R. S. (2012). Relations of exercise blood pressure response to cardiovascular risk factors and vascular function in the Framingham Heart Study. *Circulation*, 125: 2836-2843.
- Tomiyama, H., Koji, Y., Yambe, M., Shiina, K., Motobe, K., Yamada, J., & Shiina, K. (2005). Brachial-ankle pulse wave velocity is a simple and independent predictor of prognosis in patients with acute coronary syndrome. *Circulation Journal*, 69: 815-822.
- Trenkwalder, P., Hendricks, P., Schoniger, R., Rossberg, J., Lydtin, H., & Hense, H. W. (1999). Hypertension as a risk factor for cardiovascular morbidity and mortality in an elderly German population; the prospective STEPHY II study. *European Heart Journal*, 20: 1752-1756.
- Zieman, S. J., Melenovsky, V., & Kass, D. A. (2005). Mechanisms, pathophysiology, and therapy of arterial stiffness. *Arteriosclerosis Thrombosis, Vascular Biology*, 25: 932-943.

논문투고일 : 2016. 02. 29
 1차 수정일 : 2016. 04. 11
 2차 수정일 : 2016. 05. 01
 3차 수정일 : 2016. 05. 17
 게재확정일 : 2016. 05. 20