

본태성 고혈압 청소년에서 pulse wave velocity와 ankle brachial index에 대한 연구

이화여자대학교 의과대학 동대문병원 소아과

주선영 · 조기영 · 조수진 · 홍영미

Pulse wave velocity and ankle brachial index in adolescents with essential hypertension

Sun Young Joo, M.D., Ki Young Cho, M.D., Su Jin Cho, M.D. and Young Mi Hong, M.D.

Department of Pediatrics, College of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea

Purpose : Pulse wave velocity(PWV) and ankle brachial index(ABI) are not only noninvasive methods used to assess arterial stiffness in adults, but also useful, simple ways to estimate the severity of hypertension, end stage renal disease and atherosclerosis in adults. But there are few studies on PWV and ABI in adolescents and children. In this study, hypertensive adolescents were compared to normal individuals to find out the usefulness of PWV as the index of progress in the disease.

Methods : 413 teenagers were divided into three groups. The first group consisted of adolescents that only had hypertension(Group 1:23 teenagers). The second group consisted of the adolescents who had hypertension with obesity(Group 2:17 teenagers), and the last group was the normal subjects(Group 3:328 teenagers). Weight, height and body mass index were measured. Simultaneous measurements of systolic, diastolic and average blood pressure were obtained from the four extremities. PWV, ABI, ejection time and preejection period were also measured.

Results : Right brachial-ankle PWV was significantly higher in both group 1 and group 2 compared with group 3, and significantly higher in group 2 compared with group 1. Likewise, left brachial-ankle PWV also showed significantly higher values in both group 1 and group 2 compared with group 3, and also higher values in group 2 compared with group 1. Positive correlations were found between the systolic, diastolic, average blood pressure and PWV. There were also positive correlations between the blood pressure and weight, body mass index.

Conclusion : Higher PWV was demonstrated in adolescents with essential hypertension compared to normal subjects. Follow-up study is needed to evaluate the progress. (Korean J Pediatr 2006;49:769-776)

Key Words : Pulse wave velocity, Hypertension, Adolescents

서론

동맥 경직은 나이가 들에 따라 증가하고¹⁾, 고혈압, 당뇨병²⁾, 동맥경화증³⁾, 말기 신장병⁴⁾에서 증가한다고 알려져 있다. 동맥 경직이 진행되면 수축기 혈압이 증가하고 확장기 혈압이 감소하

여 맥압이 증가되게 된다. 따라서 좌심실의 후부하가 증가되고 관상동맥의 관류 변화를 일으킨다⁴⁾. 높은 수축기 혈압과 맥압, 낮은 확장기 혈압, 좌심실 비대가 심혈관 질환의 이환율과 사망률을 증가시키는 독립적인 인자로 알려져 있다⁵⁻⁷⁾.

동맥 경직은 심혈관 질환으로 진행되는 독립된 위험 요소로 알려져 있고, 심혈관 이환과 사망에 대한 표적 장기 손상과 증가된 위험과 관계가 있다. 성인에서는 대동맥 특성의 평가에 대한 연구는 많지만 소아에서 대동맥 경직에 대한 연구는 적다.

성인에서 pulse wave velocity(PWV)와 ankle brachial index(ABI)는 동맥 경직을 측정할 수 있는^{8,9)} 비침습적 방법으로^{10,11)} 성인에서 고혈압, 말기 신장병, 동맥경화증의 정도를 평가할 수 있는 유용하고 간단한 방법으로 알려져 있다. 그러나 소

본 논문은 제55차 2005년도 대한소아과학회 추계학술대회에서 발표되었음.

접수 : 2006년 3월 21일, 승인 : 2006년 5월 3일
책임저자 : 홍영미, 이화여자대학교 동대문병원 소아과
Correspondence : Young Mi Hong, M.D.
Tel : 02/760-5427 Fax : 02/745-9545
E-mail : hongym@chollian.net

아 및 청소년에서 PWV에 대한 보고는 적다.

최근, 새로운 장비가 도입되어 양측 팔과 발목에서 동시에 사지의 혈압을 측정하고, pulse volume을 기록하여 PWV와 ABI를 진동으로 자동으로 측정하는 것이 가능하게 되었다^{12, 13}. 이 중에서 applanation tonography에 의한 경동맥 및 대퇴동맥에서 PWV가 가장 흔하게 사용되나 최근 더 간단하고 자동화된 진동 방법으로 측정이 가능한 baPWV가 개발되었고 이것의 타당성, 신뢰성, 유용성이 확립되고, 확인되었다¹⁴. 성인에서 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 소아에서는 baPWV 정상치가 없고 고혈압을 비롯하여 여러 질환에서의 연구가 거의 없는 실정이다.

소아에서도 Marfan 증후군¹⁵, Ehlers-Danlos 증후군¹⁶, 대동맥류가 있는 환아¹⁷, 대동맥 축착 수술 후¹⁸, 고콜레스테롤혈증¹⁹에서 대동맥 경직의 증가가 보고되고 있다. 선천성 심질환, 혈관염 증후군(대동맥염), William 증후군, 가와사키병²⁰에서 동맥 경직에 대해 보고되고 있다. 그러나 아직 소아에서 고혈압에서 동맥 경직에 대한 보고는 없는 실정이다. 서구식 음식과 식습관으로 인해 소아기에 비만의 빈도가 최근에 증가하고 있고 소아 및 청소년기 비만에서 고혈압, 지질 이상, 지방간과 같은 합병증이 관찰되고 있다. 소아 비만은 사춘기와 젊은 성인 남자에서 조기 동맥경화증과 관계가 있다. 동맥경화증을 포함한 혈관의 변화가 무증상의 상태로 어린 나이에 시작해서 진행되기 때문에 고혈압이나 비만이 있는 청소년에서 동맥 경직의 평가가 절실하게 필요하다. 본 연구에서는 고혈압 청소년을 정상 청소년과 비교함으로써 청소년에서 PWV의 유용성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

15-16세 사이의 청소년 413명(남자 236, 여자 177)을 고혈압군(1군:23명), 고혈압과 비만이 같이 있는군(2군:17명), 정상 대조군(3군:328명) 3개 군으로 나누었다.

2. 방법

1) 신체 계측

대상자들의 신장은 맨발로 선 상태에서 신장 측정계를 이용하여 측정하였고, 체중은 표준 체중계의 영점을 맞춘 후 겹옷을 벗은 상태에서 측정하여 모두 소수점 한자리까지 측정하였다.

2) 체질량지수(body mass index, BMI)

체질량지수의 정의는 체중(kg)을 신장의 제곱값(m²)으로 나눈 값으로 소수점 한자리까지 표기하였다. 체질량지수는 1999년 대한소아과학회에서 측정된 한국 소아 및 청소년의 신장별 체중 백분위의 95 백분위수 이상 값을 비만으로 정의하였고²¹, 남자 26.9(kg/m²) 이상, 여자 26.1(kg/m²) 이상으로 하였다.

3) 혈압 측정

혈압은 oscillometric 혈압계를 사용하여 적어도 10분 이상의

안정 상태를 취한 후에 팔두계의 2/3 너비의 혈압계로 오른쪽 상완에서 측정하였다. 2-3분 경과 후에 2회 반복 측정하여 이의 평균치를 대상자의 혈압값으로 취하였다. 고혈압의 정의는 수축기 혈압(systolic blood pressure, SBP)은 140 mmHg 이상, 이완기 혈압(diastolic blood pressure, DBP)은 90 mmHg 이상으로, 본 연구에서는 수축기 혈압이나 이완기 혈압 중 한가지만 정의에 만족하여도 고혈압이 있는 것으로 정의하였다.

4) pulse wave velocity(PWV), ankle brachial index (ABI), ejection time(ET), preejection period(PEP)

PWV와 ABI는 VP-1000(Colin Co. Ltd, Komaki, Japan) 기계를 사용하여 측정하였다. PWV, ABI, 사지의 혈압, 심전도, 심음을 동시에 측정하여 자동적으로 기록하였다. 전극을 좌 흉골 연에 붙이고, 커프를 양 팔과 발목에 감았다. 커프는 plethymographic sensor에 연결되어 volume pulse form을 결정하였고, oscillometric pressure sensor로 혈압을 측정하였다. PWV (cm/s)는 두 지점 사이의 거리(cm)를 맥파 전달 시간(s)으로 나눈 값으로 정의하였다. 본 연구에서, PWV는 상완 동맥(brachial artery)과 발목(ankle)으로부터 측정하였다(baPWV). ABI는 발목에서 측정된 수축기 혈압과 상완동맥에서 측정된 수축기 혈압과의 비율로 정의하였다.

모든 계측치는 규칙적인 동성 리듬 동안 측정되었다.

3. 통계 분석

조사된 자료와 검사의 모든 값은 평균±표준편차로 표기하였고, SAS system으로 Windows version 11.0을 이용하였다. Student t-test를 이용하였으며 각 변수간의 통계수치의 유의성은 Pearson's correlation coefficient 분석법을 이용하여 분석하였다. P값이 0.05미만인 경우를 유의하다고 판정하였다.

결 과

1. 임상적 특성

체중은 1군에서 71.2±9.5 kg, 2군에서 90.1±10.0 kg, 3군에서 56.7±8.3 kg로 2군에서 1군과 3군에 비해 유의하게 무거웠다(P<0.05). 체질량지수는 1군에서 24.2±2.3 kg/m², 2군에서 30.7±2.5 kg/m², 3군에서 20.5±2.4 kg/m²로 2군에서 1군과 3군에 비해 유의하게 무거웠다(P<0.05). 신장은 1군에서 171.1±7.4 cm, 2군에서 171.2±8.1 cm, 3군에서 166.0±7.4 cm로 세 군간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05)(Table 1).

2. 사지에서 동시에 측정한 혈압

우측 상완의 수축기 혈압은 2군 141.5±9.7 mmHg, 1군 139.7±11.6 mmHg으로 3군 114.8±10.6 mmHg에 비해 유의하게 높았다(P<0.05). 좌측 상완의 수축기 혈압은 2군 141.3±7.7 mmHg, 1군 139.1±10.5 mmHg으로 3군 114.1±11.2 mmHg에 비해 유의하게 높았다(P<0.05). 우측 발목의 수축기 혈압은 2군

Table 1. Anthropometric Data of Study Groups

Anthropometric data	Group 1	Group 2	Group 3
Number	23	17	328
Male/Female	22/1	14/3	167/161
Age	15.0±1.5	15.6±1.4	15.2±0.5
Height(cm)	171.1±7.4	171.2±8.1	166.0±7.4
Weight(kg)	71.2±9.5	90.1±10.0*	56.7±8.3
BMI(kg/m ²)	24.2±2.3	30.7±2.5*	20.5±2.4

Abbreviation : BMI, body mass index
*P<0.05 vs Group 3

Table 2. Simultaneous Measurement of Blood Pressure over the Four Extremities

Blood pressure (mmHg)	Group 1	Group 2	Group 3
RB			
Systolic BP	139.7±11.6*	141.5±9.7*	114.8±10.6
MAP	99.4±8.5*	99.8±8.1*	82.7±8.3
Diastolic BP	75.6±7.9*	76.5±6.1*	62.7±6.8
LB			
Systolic BP	139.1±10.5*	141.3±7.7*	114.1±11.2
MAP	99.7±7.4*	99.9±7.3*	82.4±8.9
Diastolic BP	76.6±8.0*	76.3±6.1*	62.3±6.7
RA			
Systolic BP	141.0±19.0*	146.4±12.7*, †	122.5±13.8
MAP	96.3±12.8*	97.9±7.4*	80.7±8.5
Diastolic BP	72.3±11.2*	75.0±7.5*	61.1±7.4
LA			
Systolic BP	141.7±17.9*	147.0±12.6*, †	120.9±13.6
MAP	95.8±11.4*	98.7±5.4*, †	80.7±8.7
Diastolic BP	73.7±11.1*	75.6±5.0*	61.0±6.9

*P<0.05 vs Group 3, †P<0.05 vs Group 1
Abbreviations : BP, blood pressure; RB, right brachial; LB, left brachial; RA, right ankle; LA, left ankle; MAP, mean arterial pressure

146.4±12.7 mmHg, 1군 141.0±19.0 mmHg으로 3군 122.5±13.8 mmHg에 비해 유의하게 높았고, 2군은 1군에 비해 유의하게 높았다(P<0.05). 좌측 발목의 수축기 혈압 역시 2군 147.0±12.6 mmHg, 1군 141.7±17.9 mmHg으로 3군 120.9±13.6 mmHg에 비해 유의하게 높았고, 2군은 1군에 비해 유의하게 높았다(P<0.05). 사지의 평균 및 이완기 혈압은 1군과 2군에서 3군에 비해 유의하게 높았다(P<0.05)(Table 2).

3. 심박동수(HR), Ejection time(ET), Pre-ejection period(PEP), Pre-ejection time과 Ejection Time 비의 비교

심박동수는 1군 87.8±18.2회/분, 2군 78.8±10.2회/분, 3군 76.3±10.8회/분으로 세 군간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 박출 시간은 1군 246.9±58.7 msec, 2군 254.9±68.9 msec, 3군 281.5±17.3 msec로 세 군 사이에 유의한 차이가 없었다(P>0.05). PEP는 1군 75.0±24.6 msec, 2군 74.8±23.4 msec, 3군

Table 3. Comparison of Heart Rate, Ejection Time, Pre-Ejection Period and the Ratio of Pre-Ejection Period and Ejection Time of Lft Ventricle

	Group 1	Group 2	Group 3
HR(/min)	87.8±18.2	78.8±10.2	76.3±10.8
ET(msec)	246.9±58.7	254.9±68.9	281.5±17.3
PEP(msec)	75.0±24.6	74.8±23.4	81.3±15.5
PEP/ET	0.30±0.08	0.29±0.06	0.29±0.06

P>0.05
Abbreviations : HR, heart rate; ET, ejection time; PEP, pre-ejection period

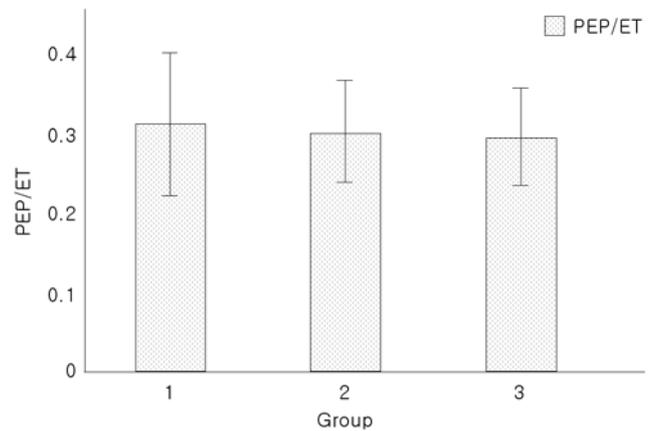


Fig. 1. Comparison of the ratio of pre-ejection period and ejection time of left ventricle(PEP/ET).

81.3±15.5 msec로 각 군에서 유의한 차이가 없었다(P>0.05). PEP/ET는 1군 0.30±0.08, 2군 0.29±0.06, 3군 0.29±0.06으로 세 군 사이에 유의한 차이가 없었다(P>0.05)(Table 3, Fig. 1).

4. Pulse wave velocity(PWV)와 Ankle brachial index(ABI)

우측 상완과 발목 사이의 PWV(RbaPWV)는 1군(1,186.4±134.9 cm/sec)과 2군(1,214.4±45.8 cm/sec) 모두에서 3군(939.1±84.3 cm/sec)에 비해 유의하게 높았으며(P<0.05), 2군에서 1군에 비해 유의하게 높았다(P<0.05). 좌측 상완과 발목 사이의 PWV(LbaPWV) 또한 1군(1,198.4±99.8 cm/sec)과 2군(1,219.7±43.2 cm/sec) 모두에서 3군(942.1±75.8 cm/sec)에 비해 유의하게 높았으며(P<0.05), 2군에서 1군에 비해 유의하게 높았다(P<0.05)(Table 4). RbaPWV와 LbaPWV는 유의한 차이가 없었고, 2군에서 가장 높고, 1군, 3군 순으로 낮았다(Fig. 2). 우측 ABI는 1군 100.0±11.0, 2군 103.7±5.9, 3군 105.4±7.5로 각 군에서 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 좌측 ABI 역시 1군 100.4±9.7, 2군 104.2±7.9, 3군 104.1±7.6로 각 군에서 유의한 차이가 없었다(P>0.05)(Table 4). 우측 ABI와 좌측 ABI는 유의한 차이가 없었다(Fig. 3).

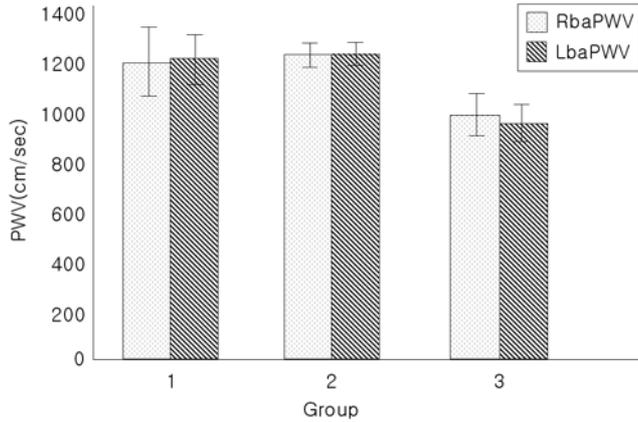


Fig. 2. Comparison of brachial ankle pulse wave velocity. Abbreviations: RbaPWV, right brachial ankle pulse wave velocity; LbaPWV, left brachial ankle pulse wave velocity.

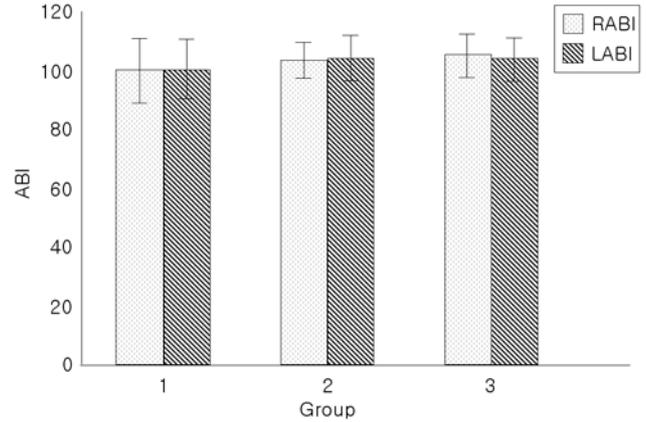


Fig. 3. Comparison of ankle brachial index. Abbreviations: RABI, right ankle brachial index; LABI, left ankle brachial index.

Table 4. Comparison of Pulse Wave Velocities(PWV) and Ankle-Brachial Index(ABI)

	Group 1	Group 2	Group 3
RbaPWV(cm/sec)	1,186.4 ± 134.9*	1,214.4 ± 45.8* [†]	939.1 ± 84.3
LbaPWV(cm/sec)	1,198.4 ± 99.8*	1,219.7 ± 43.2* [†]	942.1 ± 75.8
RABI	100.0 ± 11.0	103.7 ± 5.9	105.4 ± 7.5
LABI	100.4 ± 9.7	104.2 ± 7.9	104.1 ± 7.6

* $P < 0.05$ vs Group 3, [†] $P < 0.05$ vs Group 1
 Abbreviations: RbaPWV, right brachial-ankle pulse wave velocity; LbaPWV, left brachial-ankle pulse wave velocity; RABI, right ankle brachial index; LABI, left ankle brachial index

5. 사지 혈압과 신장, 체중, BMI, PWV와의 상관 관계

우측 상완의 수축기 혈압과 신장($r=0.360$), 체중($r=0.560$), BMI($r=0.480$), RbaPWV($r=0.643$), LbaPWV($r=0.612$)는 모두 유의한 양의 상관 관계가 있었다($P < 0.01$)(Fig. 4, 5). 사지의 수축기, 이완기, 평균 혈압은 신장, 체중, BMI, RbaPWV, LbaPWV와 유의한 양의 상관 관계가 있었다($P < 0.01$)(Table 5).

고 찰

소아에서 고혈압의 빈도는 1-2%이고 60세 이상이면 60-70%까지 올라간다. 최근 학동기 소아에서 고혈압의 빈도는 4.5%로 관찰되었다²²⁾.

고혈압의 정의는 수축기나 이완기 혈압이 95 퍼센타일 이상이지만 아직 우리나라에서 소아기 및 사춘기에서 고혈압에 대한 cut-off 치가 없기 때문에 본 연구에서는 수축기 혈압(systolic blood pressure, SBP)은 140 mmHg 이상, 이완기 혈압(diastolic blood pressure, DBP)은 90 mmHg 이상인 청소년을 대상으로 하였다. 이차적인 원인이 있는 고혈압은 본 연구에서 제외되었으며 본태성 고혈압을 가진 청소년을 대상으로 하였다.

일찍 시작하는 본태성 고혈압을 가진 사춘기 청소년은 심혈관 위험을 가진 어른 본태성 고혈압처럼 후기에 심혈관 위험을 갖는다²²⁾.

동맥 경직은 오래 지속되는 고혈압이나 다른 심혈관 질환의 결과로 간주되어 왔으나 어떤 경우에는 고혈압이 선행되지 않고도 동맥 경직이 일어난다는 몇몇의 보고가 있다. 고혈압을 가진 자손은 정상 혈압을 가진 자손에 비해 더 높은 혈압, 좌심실 질량의 증가, 정맥 탄성의 감소, 경동맥 경직의 증가, 경동맥 직경의 감소를 보고하였다²³⁾. 동맥 경직은 젊은 성인에서 고혈압과 관련된 혈관 변화의 이른 표식자일 수 있다. 고혈압으로 발전하는 대상자에서 큰 혈관의 이상이 일찍 존재할 수 있다. Li 등¹⁴⁾은 45-64세의 정상 혈압을 가진 성인을 6년 동안 추적 관찰한 결과 동맥의 탄력성 저하는 고혈압 발현에 증대한 예측 인자라고 보고하였다. 다시 말해 고혈압이 나타나기 전에, 혈관 벽의 탄력성 저하, 즉 동맥 경직이 선행한다고 짐작할 수 있다.

맥압 파형은 대동맥과 말초에서 다르다. 맥압은 젊은 개인에서 대동맥궁과 상완동맥 사이에 18-31%씩 증가한다. 고혈압 환자는 대조군보다 더 높은 맥압을 갖는다. 55세 이후에는 수축기 혈압은 증가하고 이완기 혈압은 감소하기 때문에 맥압의 증가를 초래한다²⁴⁾.

Doppler 초음파, MRI, PWV가 혈관 경직을 측정할 수 있다. 이중에서 applanation tonography에 의한 경동맥 대퇴동맥 PWV가 가장 흔하게 사용되나 최근 더 간단한 자동화된 진동 방법으로 측정이 가능한 baPWV가 개발되었고, 이것의 타당성, 신뢰성, 유용성이 확립되고, 확인되었다¹⁴⁾.

PWV는 성인에서 동맥 경직을 측정할 수 있는^{8,9)} 비침습적 방법으로^{10,12)} 성인에서 고혈압, 말기 신장병, 동맥경화증의 정도를 평가할 수 있는 유용하고 간단한 방법으로 알려져 있다¹²⁾. PWV는 동맥 경직의 지시자로 알려져 있고, 최근 연구는 혈관 손상의 표식자일 뿐만 아니라 예후 인자임이 보고되었다¹²⁾. 본 연구에서는 15-16세 사이의 청소년 413명을 대상으로 VP-1000

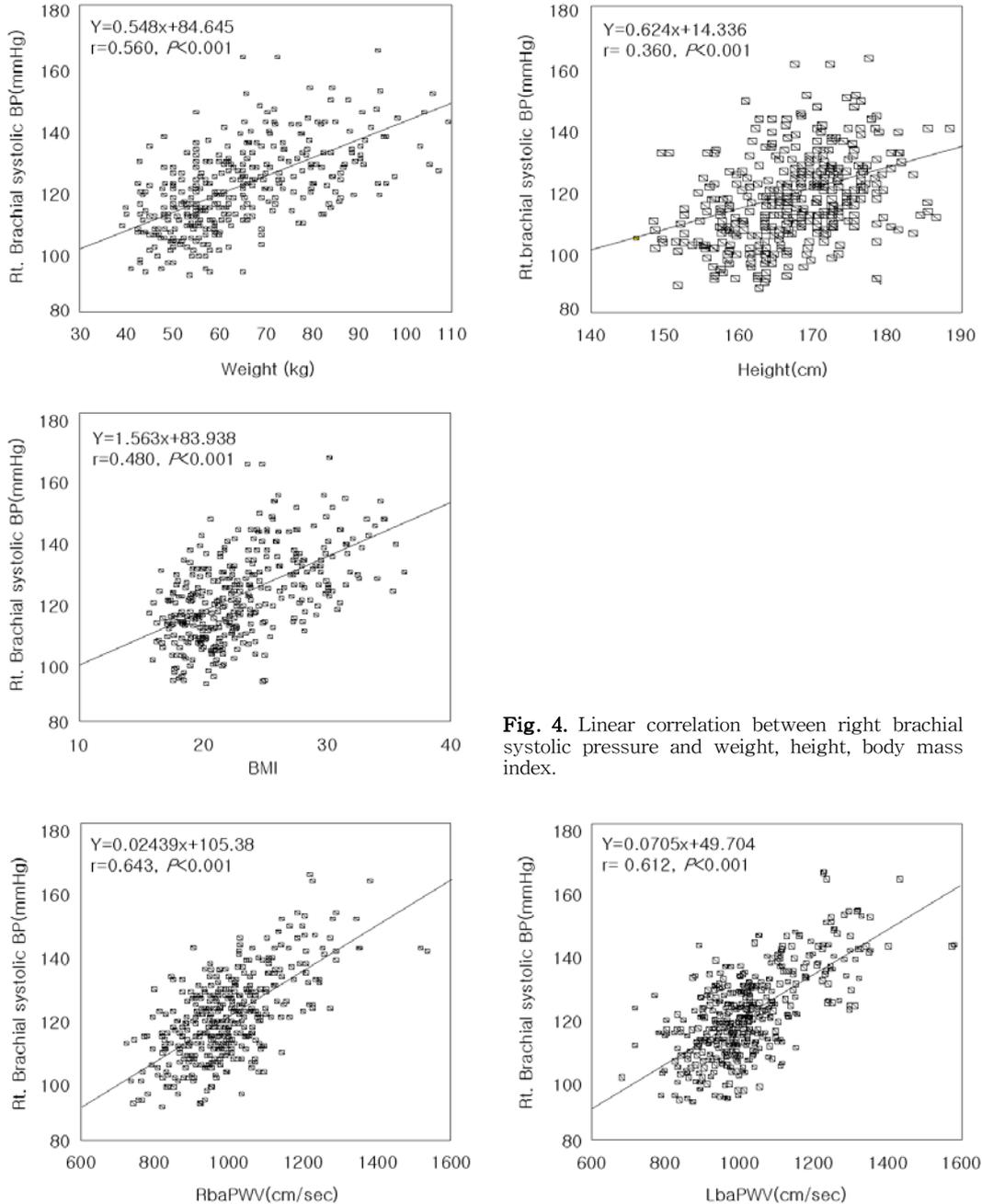


Fig. 4. Linear correlation between right brachial systolic pressure and weight, height, body mass index.

Fig. 5. Linear correlation between right brachial systolic pressure and right brachial pulse wave velocity, left brachial ankle pulse wave velocity.

(Colin Co. Ltd, Komaki, Japan) 기계를 사용하여 측정하였는데 PWV는 두 지점 사이의 거리를 맥압 통과 시간(transit time)으로 나눈 값으로 정의하였다. 본 연구에서도 상완-발목 PWV (baPWV)를 동맥 경직의 척도로 사용하였다. PWV를 측정된 결과, 고혈압 청소년이 정상 대조군에 비해 PWV가 유의하게 증가하였고, 사지의 혈압, 신장, 체중, 체질량지수가 높을수록 PWV가 유의하게 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 상완과 발

목을 둘러싸는 커프를 이용하여 측정하는 baPWV는 다른 비침투적 자동 기계보다 더 간단하다. 기계가 안전하고, 간단하고 측정 시간이 짧게 걸리기 때문에 대규모 연구에서 혈관 손상을 검색하는데 더 쉽게 사용할 수 있다¹²⁾.

고혈압에서 PWV는 일반적으로 높은 값을 보이는데, 이것은 혈압 값과는 또 달리 독립적으로 심혈관 합병증의 위험 인자임을 나타내고 있다. PWV가 13 m/sec 이상인 경우 동맥경화

Table 5. Comparison between Blood Pressure and Height, Weight, Body Mass index, Pulse Wave Velocity

Blood pressure (mmHg)	Height	Weight	BMI	RbaPWV	LbaPWV
RB					
Systolic BP	0.360*	0.560*	0.480*	0.643*	0.612*
MAP	0.362*	0.479*	0.387*	0.599*	0.561*
Diastolic BP	0.243*	0.429*	0.378*	0.607*	0.551*
LB					
Systolic BP	0.386*	0.558*	0.469*	0.624*	0.593*
MAP	0.378*	0.469*	0.369*	0.567*	0.518*
Diastolic BP	0.283*	0.422*	0.357*	0.604*	0.538*
RA					
Systolic BP	0.312*	0.490*	0.423*	0.515*	0.472*
MAP	0.214*	0.462*	0.431*	0.668*	0.581*
Diastolic BP	0.164*	0.373*	0.356*	0.611*	0.538*
LA					
Systolic BP	0.286*	0.505*	0.452*	0.528*	0.513*
MAP	0.197*	0.469*	0.449*	0.609*	0.554*
Diastolic BP	0.186*	0.409*	0.388*	0.611*	0.539*

*P<0.01

Abbreviations : BP, blood pressure; RB, right brachial; LB, left brachial; RA, right ankle; LA, left ankle; RbaPWV, right brachial ankle pulse wave velocity; LbaPWV, left brachial ankle pulse wave velocity

증의 존재를 강력하게 시사해 주고, 심혈관 사망의 가장 강력한 예측 인자이다²⁵. 또한 고혈압 환자에서 심혈관 위험의 강력한 표식자와 예측자임이 제시되었다²⁵. 혈압에 대한 동맥 경직의 결과는 수축기 혈압과 맥압의 증가 뿐 아니라 이완기 혈압을 감소시킨다. Li 등¹⁴은 흑인이 백인보다, 남자가 여자보다 더 높은 baPWV를 보여 혈관 경직의 증가를 발표하였다. Blacher 등²⁶은 대동맥의 PWV가 심혈관 합병증의 발현이나 사망과 관련이 많음을 보고하였고, Laurent 등²⁷은 평균 50세의 고혈압 1,980례를 112개월 추적하여 PWV가 모든 사망 및 심혈관 질환에 의한 사망과 밀접하게 관계가 있음을 처음으로 보고하였다.

baPWV에 대한 많은 단면 연구들이 있다. baPWV가 대동맥 손상²⁸과 말초 동맥 경직²⁹을 측정하는데 유용하다고 하였다. 더 우기, Yamashina 등¹²은 baPWV의 정확도를 입증하기 위해 카테터로 직접 경동맥-대퇴동맥 PWV를 측정하였고, 측정된 경동맥-대퇴동맥 PWV와 baPWV는 r=0.87(P<0.01)로 유의한 상관성이 있다고 보고하였다. 또한, 재현성에 있어서는 관찰자 사이의 신뢰성(interobserver reliability r=0.98) 및 관찰자 안에서의 신뢰성(intraobserver reliability, r=0.87) 모두 양호하였다. Cortez-Cooper 등³⁰은 동맥 경직과 ABI를 측정하는 자동화된 장비의 정확성과 변이성을 보고하였다.

동맥경화증을 포함한 혈관의 변화가 무증상 상태로 어린 나이에 시작해서 진행되기 때문에 청소년 고혈압, 비만 환자에서 동맥 경직의 평가가 절실하게 필요하다.

고혈압, 비만 청소년에서 PWV를 추적 관찰함으로써 동맥경화증으로의 진행을 예측하고 이에 대한 적극적인 예방과 치료와

필요할 것으로 생각한다. 동맥경화증을 포함한 혈관의 변화는 일찍, 무증상 질환으로 시작되고 심혈관 위험 요소와 관련이 있다¹⁶. 소아기 심혈관 위험이 젊은 성인에서 측정되는 동맥 경직과 얼마나 관련이 있는지 또는 소아기에서 성인까지의 축적된 부담이 동맥 경직과 관련이 있는지에 대한 자료가 없는 실정이다. 소아기 이후의 수축기 혈압은 성인에서의 baPWV의 지속적이고 독립된 예측 인자이다. 젊을 때 관찰되는 높은 혈압의 초기 단계는 일반적으로 교감신경 활동과 말초혈관 저항에 의해 지배되어 동맥 경직을 초래하는 반면, 후기 노인에서 고혈압은 교감신경 활동보다 중심 혈관 경직의 증가에 의해 영향을 받는다¹⁴. 성인에서의 수축기 혈압, HDL 콜레스테롤, 중성 지방, 담배가 baPWV와 관계가 있다.

동맥 경직의 관련 인자로서 HDL 콜레스테롤, 중성지방은 동맥 경직에 혈액학 스트레스 외에 대사 요소로 역할을 한다. 소아기에 시작되는 수축기 혈압은 증상이 없는 젊은 성인에서 동맥 경직의 지속적인 예측 인자이다¹⁴.

비만도가 PWV를 증가시키는 원인으로 밝혀졌다. Bugalusa 심장 연구에 의하면 비만 소아의 77%가 17세 이후에 비만으로 남아있다³¹. 비만은 지질이상, 고혈압, 염증³²과 관련해서 심혈관 건강에 나쁜 영향을 미친다.

비만은 동맥 경직을 증가시킴으로 나쁜 영향을 미치고 고혈압의 선행 요소가 되고 혈관이 일찍 노화하게 된다. 증가된 체지방, 복부 내장 지방, 더 큰 허리 둘레는 노인에서 동맥 경직의 위험 요소로 밝혀졌다. 정상 체중을 가진 사람에 비해 비만인에서 PWV가 40-90 cm/sec이 더 높다. Toto-Muokouo 등³³은 고혈압 남성에서 60 cm/sec 이상, 고혈압 여성에서 정상 체중을 가진 대상자에 비해 50 cm/sec 이상의 더 높은 말초 PWV를 보였다. 20-30세 사이의 젊은 비만인에서 정상인에 비해 47 cm/sec의 PWV의 증가를 보였다. 본 연구에서도 고혈압이 있는 청소년보다 비만이 같이 있는 경우 PWV가 더 높았다.

체중이 혈관 경직에 관여하는 여러 기전이 있다³¹. 인슐린 저항성이 비만과 동반되고 인슐린 저항이 고인슐린혈증과 증가된 혈당을 통해 혈관 효과를 갖게 된다. 혈관계에 대한 고인슐린혈증의 효과는 아직 완전하게 알려지지 않았지만 나트륨의 재흡수의 촉진³⁴, 교감신경의 자극³⁵, 혈관 평활근 세포 성장³⁶의 촉진 등이 동맥 경직의 증가에 관여한다. 높은 혈당은 동맥 벽에 단백질의 glycation을 일으키고 이 glycation은 장기 손상과 동맥경화증과 관련이 있다³⁷. 이 수용체에 결합된 인슐린은 내피에 유도된 NO 유리를 통해 혈관 확장 효과를 갖는다³¹. 그래서 혈관 벽의 손상에 대한 가능성이 증가되고 결국에는 혈관 벽의 경직을 초래한다.

다른 기전은 염증을 통해서이다. 체중의 증가는 낮은 정도의 염증과 관련이 있다³². 순환하는 면역계 세포의 높은 수치는 동맥 벽의 경직을 증가시킨다. 20-30세의 연령을 가진 비만인에서 정상인보다 혈관 경직의 더 큰 위험이 있는 것 같지는 않지만 연령이 증가할수록 동맥 경직이 증가한다. 41-59세가 되면 시간

이 지남에 따라 비만이 만성적이고 축적되는 효과를 나타내게 된다. 사춘기에서 더 많은 연구가 필요하다.

ABI는 말초 동맥질환의 존재를 검색할 수 있는 유용한 도구이고 사망 위험률 증가와 관계가 있다³⁸⁾. 낮은 ABI는 관상동맥 질환, stroke의 위험을 증가시킨다. ABI가 0.9 이하일 때 위험은 증가되고 동맥경화증은 연령이 증가할수록 증가한다³⁸⁾. 본 연구에서 ABI는 고혈압 청소년과 정상 대조군 사이에 유의한 차이가 없었다. 소아 및 사춘기에서 ABI에 대한 연구가 전혀 없고, 아직 소아에서의 기준치가 없기 때문에 소아 및 사춘기에서 광범위한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

요 약

목 적 : 성인에서 PWV와 ABI는 동맥 경직을 측정할 수 있는 비침습적 방법으로 성인에서 고혈압, 말기 신장병, 동맥경화증의 정도를 평가할 수 있는 유용하고 간단한 방법으로 알려져 있다. 그러나 소아를 비롯한 청소년에서의 연구는 많지 않은 실정이다. 동맥경화증을 포함한 혈관의 변화가 무증상의 상태로 어린 나이에 시작해서 진행되기 때문에 청소년 고혈압, 비만 환자에서 동맥 경직의 평가가 절실하게 필요하다. 본 연구에서는 고혈압 청소년을 정상 청소년과 비교함으로써 청소년에서 PWV의 유용성을 평가하고자 하였다.

방 법 : 15-16세의 청소년 413명을 고혈압군(1군 : 23명), 고혈압과 비만이 같이 있는군(2군 : 17명), 정상 대조군(3군 : 328명) 3개의 군으로 나누었다. 신장, 체중, 체질량지수를 측정하였고, Colin사의 VP-1000을 이용하여 사지의 수축기, 이완기, 평균 혈압과 양측 PWV, ABI, ET, PEP를 측정하여 비교분석 하였다.

결 과 : 우측 상완과 발목 사이의 PWV(RbaPWV)는 1군(1,186.4±134.9 cm/sec)과 2군(1,214.4±45.8 cm/sec) 모두에서 3군(939.1±84.3 cm/sec)에 비해 유의하게 높았으며($P<0.05$), 2군에서 1군에 비해 유의하게 높았다($P<0.05$). 좌측 상완과 발목 사이의 PWV(LbaPWV) 또한 1군(1,198.4±99.8 cm/sec)과 2군(1,219.7±43.2 cm/sec) 모두에서 3군(942.1±75.8 cm/sec)에 비해 유의하게 높았으며($P<0.05$), 2군에서 1군에 비해 유의하게 높았다($P<0.05$). PEP/ET는 각 군 사이에 유의한 차이가 없었다. 사지의 수축기, 이완기, 평균 혈압과 PWV는 유의한 양의 상관 관계가 있었다. 사지의 수축기, 이완기, 평균 혈압은 모두 체중, 체질량지수와 유의한 양의 상관 관계가 있었으며 ABI는 체중, 체질량지수 어느 것보다도 유의한 상관 관계가 없었다.

결 론 : 본태성 고혈압 청소년에서 정상 청소년에 비해 PWV가 높게 측정되었으므로 예후를 평가하기 위해서 추적 관찰이 필요하다.

References

1) Avolio AP, Chen SG, Wang RP, Zhang CL, Li MF,

O'Rourke MF. Effects of aging on changing arterial compliance and left ventricular load in a northern Chinese urban community. *Circulation* 1983;68:50-8.
 2) Lehmann ED, Gosling RG, Sonksen PH. Arterial wall compliance in diabetes. *Diabet Med* 1992;9:114-9.
 3) Wada T, Kodaira K, Fujishiro K, Maie K, Tsukiyama E, Fukumoto T, et al. Correlation of ultrasound-measured common carotid artery stiffness with pathological findings. *Arterioscler Thromb* 1994;14:479-82.
 4) London GM, Marchais SJ, Safar ME, Genest AF, Guerin AP, Metivier F, et al. Aortic and large artery compliance in end-stage renal failure. *Kidney Int* 1990;37:137-42.
 5) Darne B, Girerd X, Safar M, Cambien F, Guize L. Pulsatile versus steady component of blood pressure: a cross-sectional analysis and a prospective analysis on cardiovascular mortality. *Hypertension* 1989;13:392-400.
 6) Wittman JC, Grobbee DE, Valkenburg HA, van Hemert AM, Stijnen T, Burger H, et al. J-shaped relation between change in diastolic blood pressure and progression of aortic atherosclerosis. *Lancet* 1994;343:504-7.
 7) Fang J, Madhavan S, Cohen H, Alderman MH. Measures of blood pressure and myocardial infarction in treated hypertensive patients. *J Hypertens* 1995;13:413-9.
 8) Lehmann ED. Clinical value of aortic pulse-wave velocity measurement. *Lancet* 1999;354:528-9.
 9) Asmar R, Benetos A, Topouchian J, Laurent P, Pannier B, Brisac AM, et al. Assessment of arterial distensibility by automatic pulse wave velocity measurement. Validation and clinical application studies. *Hypertension* 1995;26:485-90.
 10) Cohn JN. Vascular wall function as a risk marker for cardiovascular disease. *J Hypertens Suppl* 1999;17:S41-4.
 11) van Popele NM, Grobbee DE, Bots ML, Asmar R, Topouchian J, Reneman RS, et al. Association between arterial stiffness and atherosclerosis: the Rotterdam Study. *Stroke* 2001;32:454-60.
 12) Yamashina A, Tomiyama H, Takeda K, Tsuda H, Arai T, Hirose K, et al. Validity, reproducibility, and clinical significance of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement. *Hypertens Res* 2002;25:359-64.
 13) Kubo T, Miyata M, Minagoe S, Setoyama S, Maruyama I, Tei C. A simple oscillometric technique for determining new indices of arterial distensibility. *Hypertens Res* 2002; 25:351-8.
 14) Li S, Chen W, Srinivasan SR, Berenson GS. Childhood blood pressure as a predictor of arterial stiffness in young adults: The Bogalusa heart study. *Hypertension* 2004;43:541-6.
 15) Sonesson B, Hansen F, Lanne T. Abnormal mechanical properties of the aorta in Marfan's syndrome. *Eur J Vasc Surg* 1994;8:595-601.
 16) Sonesson B, Hansen F, Lanne T. The mechanical properties of elastic arteries in Ehlers-Danlos syndrome. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1997;14:258-64.
 17) Lanne T, Sonesson B, Bergqvist D, Bengtsson H, Gustafsson D. Diameter and compliance in the male human abdominal aorta: influence of age and aortic aneurysm. *Eur J Vasc Surg* 1992;6:178-84.
 18) Ong CM, Canter CE, Gutierrez FR, Sekarski DR, Goldring DR. Increased stiffness and persistent narrowing of the

- aorta after successful repair of coarctation of the aorta : relationship to left ventricular mass and blood pressure at rest and with exercise. *Am Heart J* 1992;123:1594-600.
- 19) Iannuzzi A, Rubba P, Paucillo P, Celentoano E, Capano G, Sartorio R, et al. Stiffness of the aortic wall in hypercholesterolemic children. *Metabolism* 1999;48:55-9.
 - 20) Okubo M, Ino T, Takahashi K, Kishiro M, Akimoto K, Yamashiro Y. Age dependency of stiffness of the abdominal aorta and the mechanical properties of the aorta in Kawasaki Disease in children. *Pediatr Cardiol* 2001;22:198-203.
 - 21) Hong YM, Moon KR, Seo JW, Sim JG, Yoo KW, Jeong BJ, et al. National wide study on body mass index, skinfold thickness, arm circumference in Korean children. *Korean J Pediatr* 1999;42:1186-206.
 - 22) Varda NM, Gregoric A. A diagnostic approach for the child with hypertension. *Pediatr Nephrol* 2005;20:499-506.
 - 23) Yasmin, Falzone R, Brown MJ. Determinants of arterial stiffness in offspring of families with essential hypertension. *Am J Hypertens* 2004;17:292-8.
 - 24) Schiffrin EL. Vascular stiffening and arterial compliance. Implications for systolic blood pressure. *Am J Hypertens* 2004;17:39S-48S.
 - 25) Blacher J, Asmar R, Djane S, London GM, Safar ME. Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. *Hypertension* 1999;33:1111-7.
 - 26) Blacher J, Safar ME, Guerin AP, Pannier B, Marchais SJ, London GM. Aortic pulse wave velocity index and mortality in end-stage renal disease. *Kidney Int* 2003;63:1852-60.
 - 27) Laurent S, Boutouyrie P, Asmar R, Gautier I, Laloux B, Guize L, et al. Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension* 2001;37:1236-41.
 - 28) Nakamura U, Iwase M, Nohara S, Kanai H, Ichikawa K, Iida M. Usefulness of brachial-ankle pulse wave velocity measurement : correlation with abdominal aortic calcification. *Hypertens Res* 2003;26:163-7.
 - 29) Munakata M, Ito N, Nunokawa T, Yoshinaga K. Utility of automated brachial ankle pulse wave velocity measurements in hypertensive patients. *Am J Hypertens* 2003;16:653-7.
 - 30) Cortez-Cooper MY, Supak JA, Tanaka H. A new device for automatic measurements of arterial stiffness and ankle brachial index. *Am J Cardiol* 2003;91:1519-22.
 - 31) Wildman RP, Mackey RH, Bostom A, Thompson T, Sutton-Tyrrell K. Measures of obesity are associated with vascular stiffness in young and older adults. *Hypertension* 2003;42:468-73.
 - 32) Weyer C, Yukin JS, Stehouwer CD, Schalkwijk CG, Pratley RE, Tataranni PA. Humoral markers of inflammation and endothelial dysfunction in relation to adiposity and in vivo insulin action in Pima Indians. *Atherosclerosis* 2002;161:233-42.
 - 33) Toto-Moukouo JJ, Achimastos A, Asmar RG, Hugues CJ, Safar ME. Pulse wave velocity in patients with obesity and hypertension. *Am Heart J* 1986;112:136-40.
 - 34) Stenvinkel P, Bolinder J, Alvestrand A. Effects of insulin on renal haemodynamics and the proximal and distal tubular sodium handling in healthy subjects. *Diabetologia* 1992;35:1042-8.
 - 35) Young JB. Effect of experimental hyperinsulinemia on sympathetic nervous system activity in the rat. *Life Sci* 1988;43:193-200.
 - 36) Begum N, Song Y, Rienzie J, Ragolia L. Vascular smooth muscle cell growth and inulin regulation of mitogen-activated protein kinase in hypertension. *Am J Physiol* 1998;275:C42-9.
 - 37) Ulrich P, Cerami A. Protein glycation, diabetes, and aging. *Recent Prog Horm Res* 2001;56:1-21.
 - 38) Chuang SY, Chen CH, Cheng CM, Chou P. Combined use of brachial-ankle pulse wave velocity and ankle-brachial index for fast assessment of arteriosclerosis and atherosclerosis in a community. *Int J Cardiol* 2005;98:99-105.