

정상 청소년에서 맥파 속도와 발목 상완 동맥압 지수에 대한 연구

이화여자대학교 동대문병원 소아과, 서울특별시 학교보건진흥원*

김지혜 · 길태영 · 이희우* · 홍영미

Pulse wave velocity and ankle brachial index in normal adolescents

Ji Hye Kim, M.D., Tae Young Gil, M.D., Hee Woo Lee, M.D.*, and Young Mi Hong, M.D.

Department of Pediatrics, School of Medicine, Ewha Womans University,
Seoul School Health Promotion Center*, Seoul, Korea

Purpose : Pulse wave velocity (PWV) and ankle brachial index (ABI) are simple, non-invasive methods to assess arterial stiffness. These parameters are also known to be closely related to cardiovascular risk factors and diseases. The purposes of this study were to measure blood pressure, PWV, ABI in healthy Korean adolescents, set up their normal values and assess their correlations.

Methods : Three hundred ninety two healthy adolescents (213 boys and 179 girls) underwent measurement of brachial ankle pulse wave velocity (baPWV), ABI, body mass index(BMI) and blood pressure from four extremities. Linear regression analysis was performed to reveal the correlations between PWV, ABI and independent variables.

Results : Blood pressure and PWV were significantly higher in all extremities in males compared to females. Blood pressure of both brachial and ankle showed positive correlation with body weight, height, and BMI, whereas ABI showed no correlation with any of these indices.

Conclusion : Blood pressure increases as body weight, height and BMI increases. PWV shows positive correlation with blood pressure. It will be helpful to predict the risks of cardiovascular diseases in adolescents. (*Korean J Pediatr* 2007;50:549-555)

Key Words : Pulse wave, Arterial stiffness, Blood pressure

서 론

정상 심실은 박동하는 혈류를 탄력 있는 동맥계로 흐르도록 하기 때문에, 동맥의 탄력성은 정상 심혈관계를 유지시키는 데 매우 중요한 역할을 한다. 동맥의 경직도가 증가하면, 좌심실의 부담이 증가될 뿐만 아니라, 이완기 혈압이 감소되어 관상동맥 혈류가 감소되므로 결과적으로 심장의 기능을 감소시킨다^{1, 2)}. 노화는 동맥의 경직도를 증가시켜 심박출량을 감소시킨다³⁾.

맥파 속도는 이러한 동맥의 경직도를 정확하게 반영하는 중요한 임상적 지표로서, 성인에서 동맥경화증의 정도를 간편하고 비침습적인 방법으로 알아내는 데 유용하게 사용되어 왔다. 고혈압, 당뇨, 가족성 고콜레스테롤혈증, 비만, 신부전, 허혈성 심질환, 뇌혈관질환 등을 지닌 경우 건강한 성인보다 동맥의 경직도

가 증가하는 것으로 알려져 있다⁴⁾. 맥파 속도의 증가는 성인, 특히 노인에서 손상된 동맥의 팽창성을 의미하며, 심혈관계 질환의 사망과 이환에 대한 강력한 예측 인자이다⁵⁾.

맥파 속도는 유럽과 미국에서는 Asmar 등³⁾에 의해, 일본에서는 Yoshimura, Hasegawa 등⁶⁾에 의해 폭넓게 연구되어 왔는데, 최근 새로운 장비의 도입으로 사지의 혈압을 동시에 측정하고 맥파 속도와 발목 상완 지수를 간편하고 짧은 시간 내에 자동적으로 측정하는 것이 가능해졌다. 특히 기존의 경동맥이나 대퇴동맥에서의 방법보다 더 간단한 상완-발목 맥파 속도(brachial ankle pulse wave velocity, baPWV)가 개발되어 성인에서는 많은 연구가 이루어지고 있으며, 그 유용성이나 재현성에 있어서도 타당성이 확립되었다. 그러나 소아에서의 연구는 매우 적은 실정이다.

맥파 속도는 연령이 증가함에 따라 증가하는데, 이는 동맥벽의 변성, 즉 엘라스틴의 감소와 콜라겐의 증가에 의한 것이다. 동맥경화증은 소아기와 청소년기에 발생하여 성인기까지 무증상으로 서서히 진행하므로, 그 위험 집단을 조기에 발견하여 치료할 수 있어서 맥파 속도를 측정하는 것은 매우 중요하다⁷⁾.

접수 : 2007년 4월 13일, 승인 : 2007년 5월 2일
책임저자 : 홍영미, 이화여자대학교 동대문병원 소아과
Correspondence : Young Mi Hong, M.D.
Tel : 02)760-5427 Fax : 02)745-9545
E-mail : hongym@chollian.net

우리나라에서 소아 및 청소년에서 비만과 고혈압의 빈도가 증가하고 있다. 그렇지만 소아나 청소년에서는 동맥 경직을 진단할 수 있는 맥파 속도의 정상 기준치가 없어서 실제 동맥 경직의 표지자로서 적용하는데 어려운 실정이다.

본 연구에서는 성인기 심혈관 질환의 위험 인자를 예측하기 위하여 정상 청소년에서 맥파 속도와 발목 상완 동맥압 지수의 정상치와 기준치를 구하고, 체중, 신장, 체질량지수와와의 상관관계를 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

서울 시내 3개 고등학교에 재학 중인 15-16세 사이의 청소년 392명(남자 213명, 여자 179명)을 대상으로 각각 체중, 신장, 혈압, 체질량지수, 맥파 속도, 발목-상완 동맥압 지수를 측정하였다. 고혈압, 당뇨, 신질환, 가와사키 병을 포함한 혈관염 및 다른 기저 질환의 과거력이 있는 청소년은 조사 대상에서 제외하였다.

2. 방 법

1) 체질량지수

대상자들은 맨발로 선 상태에서 신장 측정계를 이용하여 신장을 측정하였다. 체중은 표준 체중계의 영점을 보정한 후 겹옷을 벗은 상태에서 측정하여 소수점 한 자리까지 측정하였다. 체질량지수는 체중(kg)을 신장의 제곱(m²)으로 나눈 값으로 정의하였다.

2) 박출 시간(ejection time, ET)과 전구출기(pre-ejection period, PEP)

전구출기는 심전도의 전기적 수축이 시작되는 QRS complex의 시작부터 도플러 심전도에서 반월판이 열릴 때까지의 시간 간격으로 정의하였다. 박출 시간은 도플러 심전도에서 반월판이 열려서부터 닫힐 때까지의 시간 간격으로 정의하였다.

3) 사지의 혈압과 맥파 속도

양와위 상태에서 사지(양상완, 양발목)에 혈압측정 커프를 감아 사지 혈압 측정을 지속적으로 시행하였다. 양 손목에 심전도 전극을 붙이고 흉골 좌연에 마이크론을 위치하였다. 저압으로 감은 커프내의 용적 맥파로부터 양상완과 양발목의 맥파를 얻어 시작 시간차(Δt)를 측정하였다. 대동맥관 입구-상완의 길이(Lb (cm)), 대동맥관 입구-발목의 길이(La (cm))는 많은 수의 데이터에서 구한 신장으로부터 산출한 계산식(La=0.8129×신장(cm)-2.0734, Lb=0.2195×신장(cm)+12.328)을 이용하였다⁸⁾. 상완발목간 맥파 속도는 신장으로부터 구한 (La-Lb)를 팔과 발목의 맥파 시작 시간차 Δt 로 나누어서 구하였다.

$$baPWV = La - Lb / \Delta t \text{ (cm/s)}$$

본 연구에서는 이러한 계측을 실용화한 일본 Colin사의 VP-

1000 기계를 통해 상완-발목 맥파 속도와 발목 상완 동맥압 지수를 측정하였다. 이 기계는 맥파, 혈압, 심전도와 심음을 동시에 기록하였다. 컴퓨터에 의하여 자동 해석된 맥파를 2차 미분법에 의해 시작의 변곡점을 검출하여 두 점 간의 시간차를 계측하였다. 발목 상완 동맥압 지수는 상완 동맥과 발목의 수축기 혈압의 비로 정의하므로, 본 기계는 사지의 혈압을 동시에 측정하게 되고 맥파 속도와 함께 발목 상완 동맥압 지수를 동시에 계측하는 장점이 있다. 각 발목에서 구한 발목 상완 동맥압지수 중 낮은 값이 데이터에 이용되었다.

3. 통계적 분석

데이터는 Student t-test를 이용하여 평균±표준 편차로 기록되었다. 각 변수 간의 통계 수치의 유의성은 Pearson's correlation coefficient 분석법을 이용하였다. 모든 통계 분석은 SPSS 11.0 software(SPSS, Chicago, USA)를 이용하였다.

결 과

1. 임상적 특성

신장은 남자에서 171.1± 5.2 cm, 여자에서 160.7± 5.1 cm이었으며, 체중은 남자에서 63.6± 12.1 kg, 여자에서 54.6± 8.7 kg로 신장과 체중 모두 남자에서 유의하게 큰 값을 보였다(P<0.05). 한편 체질량지수는 남녀에서 각각 21.8± 4.0 kg/m², 21.5± 3.6 kg/m²으로 유의한 차이가 없었다(P>0.05, Table 1).

2. 심박동수, 박출 시간, 전구출기

심박동수는 남자에서 75.9± 12.2 회/분, 여자에서 76.4± 8.3회/분으로 두 군 간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 박출 시간은 남자 278.5± 19.6 msec, 여자 282.7± 16.1 msec로 남자에서 유의하게 짧았으며(P<0.05), 맥파 속도와는 유의한 음의 상관관계(P<0.01)를 보였다. 전구출기/박출 시간(PEP/ET) 값은 남자에서 0.27± 0.06, 여자에서 0.31± 0.07을 보였다(Table 3).

3. 혈압 측정

남자의 우측 상완 수축기 혈압은 122.2± 11.1 mmHg, 좌측 상완 수축기 혈압은 122.2± 11.3 mmHg, 우측 발목의 수축기 혈압은 130.0± 13.5 mmHg, 좌측 발목의 수축기 혈압은 128.9±

Table 1. Anthropometric Data of Study Group

Anthropometric data	Male (n=213)	Female (n=179)
Height (cm)	171.1± 5.2*	160.7± 5.1
Weight (kg)	63.6± 12.1*	54.6± 8.7
BMI (kg/m ²)	21.8± 4.0	21.5± 3.6

*significantly different from female group P<0.05
Abbreviation : BMI, body mass index

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

BP (mmHg)	Systolic		Diastolic		Mean	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
RB	122.2± 11.1*	110.9± 10.1	65.8± 7.5*	61.4± 6.7	88.0± 8.5*	79.7± 8.0
LB	122.2± 11.3*	109.5± 9.9	66.2± 7.3*	60.6± 6.8	87.8± 8.5*	79.0± 8.4
LA	130.0± 13.5*	118.0± 13.8	63.9± 8.3*	60.3± 8.4	84.7± 9.4*	79.4± 8.8
RA	128.9± 14.2*	117.1± 13.6	64.1± 8.0*	60.2± 7.6	84.7± 9.4*	80.0± 9.5

*significantly different from female group $P<0.05$

Abbreviations : BP, Blood pressure; RB, Right brachial; LB, Left brachial; RA, Right ankle; LA, Left ankle

Table 3. Ejection Time and Pre-ejection Period

	Male	Female
HR (/min)	75.9± 12.2	76.4± 8.3
ET (msec)	274.2± 19.4	282.7± 16.1
PEP (msec)	78.5± 19.6*	87.5± 16.0
PEP/ET	0.27± 0.06 [†]	0.31± 0.07

*Significantly different from female group $P<0.05$

[†]Significantly different from female group $P<0.01$

Abbreviations : HR, Heart rate; ET, Ejection time; PEP, Pre-ejection period

14.2 mmHg이었다. 여자의 우측 상완 수축기 혈압은 110.9± 10.1 mmHg, 좌측 상완 수축기 혈압은 109.5± 9.9 mmHg, 우측 발목의 수축기 혈압은 118.0± 13.8 mmHg, 좌측 발목의 수축기 혈압은 117.1± 13.6 mmHg으로 남자에서 여자보다 유의하게 높은 값을 보였다($P<0.05$). 사지의 이완기 혈압과 평균 혈압도 마찬가지로 모두 남자에서 여자보다 유의하게 높았다($P<0.05$, Table 2).

4. 맥파 속도와 발목 상완 지수의 평균값과 기준값

상완-발목 맥파 속도는 우측 상완-발목 맥파 속도의 경우 남자에서 1,015.4± 130.0 cm/sec, 여자에서 947.6± 105.1 cm/sec로서 남자에서 유의하게 높은 값을 보였다($P<0.05$). 좌측 상완-발목 맥파 속도의 경우에도 마찬가지로 남자에서 1,023.4± 132.5 cm/sec, 여자에서 954.6± 102.4 cm/sec로 유의하게 높은 값을 보였다($P<0.05$). 우측 발목 상완 지수는 남자에서 1.05± 0.08, 여자에서 1.05± 0.08, 좌측 발목 상완 지수는 남자에서 1.05± 0.09, 여자에서 1.04± 0.08로서 남녀 간에 유의한 차이를 보이지 않았다($P<0.05$, Table 5). 위 결과로부터 구한 기준값은 우측 상완-발목 맥파 속도의 경우 남자에서 1,032.4 cm/sec, 여자에서 963.1 cm/sec이었고, 좌측 상완-발목 맥파 속도의 경우 남자에서 1,041.3 cm/sec, 여자에서 969.7 cm/sec이었다. 우측 발목 상완 지수의 기준값은 남자에서 1.06, 여자에서 1.06이었으며, 좌측 발목 상완 지수의 기준값은 남자에서 1.05, 여자에서 1.06이었다(Table 6).

Table 4. Correlation between Blood Pressure and Height, Weight, Body Mass Index, Pulse Wave Velocity

Blood pressure (mmHg)	Height	Weight	BMI	RbaPWV	LbaPWV	
LB	systolic	0.330*	0.452*	0.358*	0.532*	0.525*
	diastolic	0.201*	0.277*	0.223*	0.550*	0.544*
	mean	0.332*	0.390*	0.288*	0.481*	0.459*
RB	systolic	0.298*	0.455*	0.387*	0.515*	0.499*
	diastolic	0.303*	0.223*	0.184*	0.510*	0.499*
	mean	0.139*	0.345*	0.256*	0.526*	0.498*
LA	systolic	0.220*	0.393*	0.345*	0.445*	0.439*
	diastolic	0.090	0.297*	0.298*	0.548*	0.537*
	mean	0.071	0.170*	0.171*	0.537*	0.534*
RA	systolic	0.259*	0.411*	0.348*	0.419*	0.394*
	diastolic	0.064	0.127 [†]	0.122 [†]	0.529*	0.549*
	mean	0.109 [†]	0.312*	0.301*	0.552*	0.543*

* $P<0.01$, [†] $P<0.05$

Abbreviations : LB, Left brachial; RB, Right brachial; LA, Left ankle; RA, Right ankle; BMI, Body mass index; RbaPWV, Right brachial ankle pulse wave velocity; LbaPWV, Left brachial ankle pulse wave velocity

Table 5. Mean Values of Pulse Wave Velocity and Ankle Brachial Index

	Male	Female
RhaPWV (cm/sec)	416.3± 133.3*	385.6± 88.3
RbaPWV (cm/sec)	1015.4± 130.0*	947.6± 105.1
LbaPWV (cm/sec)	1023.4± 132.5*	954.6± 102.4
RABI	1.05± 0.08	1.05± 0.08
LABI	1.05± 0.09	1.04± 0.08

*Significantly different from female group $P<0.05$

Abbreviations: RhaPWV, Right heart ankle pulse wave velocity; 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. 맥파 속도, 발목 상완 지수와 신장, 체중, 체질량지수, 사지 혈압과의 상관관계

맥파 속도는 사지 모두에서 수축기, 이완기, 평균 혈압이 높아질수록 유의한 양의 상관관계를 보였다($r=0.45$, $r=0.34$, $r=0.35$)

Table 6. Cut-off Values of Pulse Wave Velocity and Ankle Brachial Index

	Male	Female
RhaPWV (cm/sec)	434.3	398.6
RbaPWV (cm/sec)	1032.4	963.1
LbaPWV (cm/sec)	1041.3	969.7
RABI	1.06	1.06
LABI	1.05	1.06

Abbreviations: RhaPWV, Right heart ankle pulse wave velocity; RbaPWV, Right brachial ankle pulse wave velocity; LbaPWV, Left brachial ankle pulse wave velocity; RABI, Right ankle brachial index; LABI, Left ankle brachial index

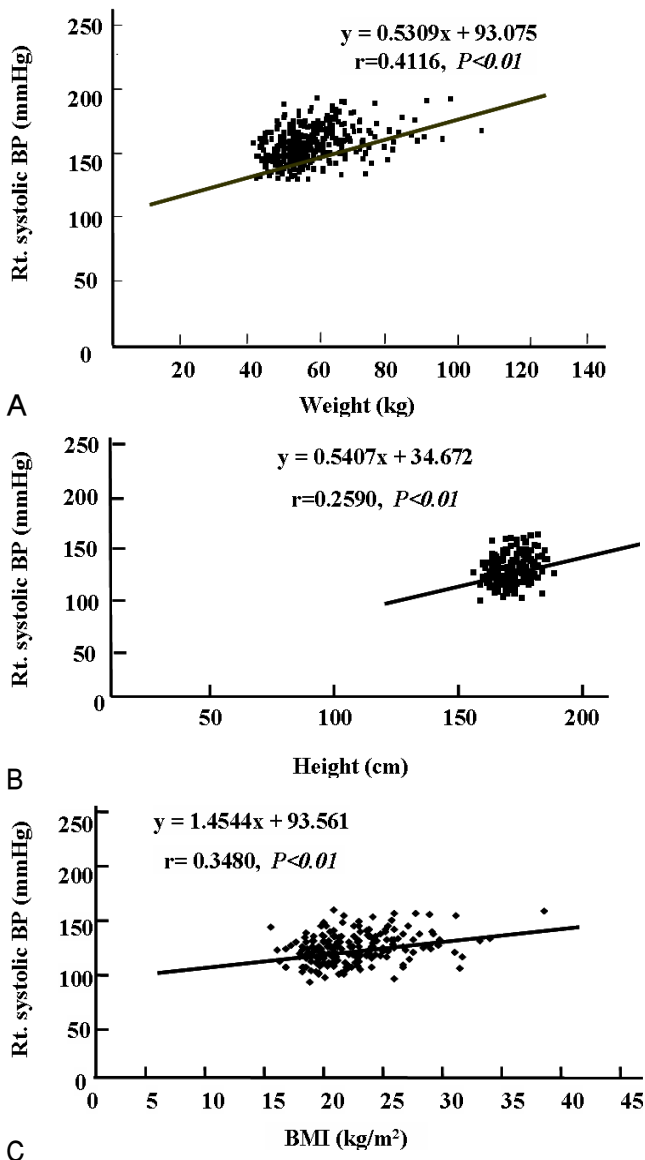


Fig. 1. There are strong correlations between right brachial systolic pressure and weight (A), height (B), and body mass index (C). Abbreviation: BP, Blood pressure; BMI, Body mass index

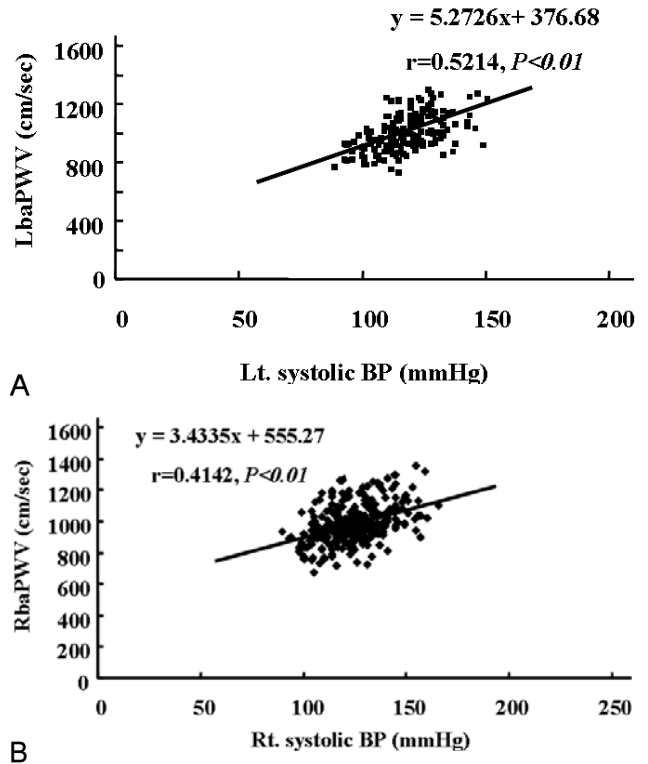


Fig. 2. A) Linear correlation exists between right brachial systolic pressure and right brachial pulse wave velocity. Abbreviation: BP, Blood pressure; RbaPWV, Right brachial ankle pulse wave velocity. B) Linear correlation exists between left brachial systolic pressure and left brachial pulse wave velocity. Abbreviation: BP, Blood pressure; LbaPWV, Left brachial ankle pulse wave velocity.

($P < 0.01$)(Fig. 2A, 2B). 또한 신장이 커질수록, 체중이 증가할수록, 체질량지수가 커질수록 사지의 수축기 혈압($r = 0.35, r = 0.48, r = 0.38$), 이완기 혈압($r = 0.27, r = 0.25, r = 0.15$) 및 평균 혈압($r = 0.39, r = 0.33, r = 0.20$)과 유의한 양의 상관관계를 보였다($P < 0.01$)(Table 4, Fig. 1).

반면, 발목 상완 지수는 남녀 사이에 유의한 차이가 없었다. 이것은 또한 체중, 신장, 체질량지수 어느 것보다도 유의한 상관관계가 없었다.

고 찰

동맥의 경직도는 변화되는 혈압에 따른 혈관 용적의 변화를 의미한다. 동맥 경직도를 측정하는 방법 중 하나가 맥파 속도의 측정이다. 혈관 질환을 지닌 경우 혈관의 구조적, 기능적 변화에 의하여 맥파가 증가한다. 비록 간접적인 방법이지만, 맥파는 동맥 경직도를 알 수 있는 가장 좋은 지표로 알려져 있다⁹⁾. 성인의 맥파 속도의 참고치에 대해 많이 보고되어 있지만, 청소년에서 정상치에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

맥파 속도는 두 점의 맥파를 동시에 기록하여, 두 점간의 거

리를 L , 두 점의 맥파의 시간차를 ΔT 라고 하면 $L/\Delta T$ 로 얻어진다. 지금까지 가장 일반적으로 맥파를 측정하는 방법은 중심 동맥의 팽창성을 주로 반영하는 경동맥-대퇴동맥법(carotid-femoral pulse wave velocity, cfPWV)에 의한 것이다. 이는 계측이 번거롭고 기술이 요구되며, 대퇴 부위에 탐식자를 부착시킴으로서 환자에게 정신적 영향을 미쳐 경동맥-대퇴동맥간 맥파 속도의 값을 실제보다 높게 측정될 수 있게 할 뿐만 아니라, 맥파 속도 값에 영향을 주는 혈압이 동시에 측정되지 않는 불편함이 있다. 이를 보완하기 위하여 최근 널리 보급되고 있는 방법이 상완동맥-발목 동맥법으로 본 연구에서 이 방법으로 측정하였다. 이는 다른 연구들에 의해서 그 타당성과 신빙성이 확립되었을 뿐만 아니라¹⁰⁾, 경동맥-대퇴동맥 맥파 속도만큼 유용한 것으로 알려져 있다¹¹⁾. 또한, 계측자간 재현성(interobserver reliability, $r=0.98$, $P<0.01$)이나 계측자내 재현성(intraobserver reliability, $r=0.87$, $P<0.01$)에 있어서도 믿을 만한 결과를 보여 경동맥-대퇴동맥 맥파 속도보다 쉽고 유용하게 사용될 수 있다¹⁰⁾.

맥파 속도는 반복된 측정에도 불구하고 그 차이가 별로 없고, 일반 인구에서 혈관 손상의 고위험 인구를 가려내는데 유용하게 쓰일 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 혈관 보호 치료법의 효과 등을 평가하는 데에도 쓰일 수 있다는 것을 의미한다. 맥파 속도는 혈관 손상의 척도일 뿐만 아니라 예후 인자로 사용될 수 있다.

맥파 속도에 영향을 주는 인자로는 연령 증가, 혈압, 성별, 인종, 식생활, 운동 여부, 흡연 여부, 만성 염증¹²⁾, 기저 질환 등이 있다. 연구 대상의 수, 인종, 연령, 남녀에 따라 서로 다른 연구 결과를 보고하고 있다^{12, 13)}. 맥파 속도는 혈관 벽의 엘라스틴, 칼슘, 콜라겐의 양과 밀접한 관련이 있으며, 노화에 따른 맥파 속도의 변화는 연령이 증가할수록 대동맥벽의 엘라스틴이 감소하고 콜라겐이 증가하는 것, 즉 혈관벽의 변성에 의해 설명된다¹³⁾. 연령에 따라 혈관의 경직도가 증가하기 때문에, 맥파 속도는 청소년기부터 50세까지는 비교적 일정하게 유지되다가 그 이후로는 서서히 증가하는 경향을 보인다¹⁴⁾.

혈압과 맥파 속도와의 관계는 원인이기도 하고 결과이기도 해서 단순하지는 않지만, 일반적으로 고혈압이 있을수록 동맥벽 성상의 변화에 의하여 맥파 속도 값은 상승하는 것으로 알려져 있다¹⁵⁾. 한편 맥파 속도는 같은 사람에서도 혈압의 변동에 따라 변화하는데 그 이유는 혈압의 변동에 따라서 혈관벽의 장력이 변화하고 혈관의 탄성이 변하기 때문이다. 그러나 혈관벽의 상태에 의해서도 변화가 다르기 때문에 혈압 값에 의한 단순한 보정은 곤란하며, 맥파 속도를 혈압과 혈관벽의 상태를 종합적으로 나타내는 지표로 평가해야 한다. 2형 당뇨병에서는 고혈압, 고지혈증, 인슐린 저항성 등의 관동맥 질환 위험인자가 동반되기 쉬워 대부분의 보고에서 맥파 속도의 높은 값이 인정되고 있다¹⁶⁾.

동맥경화증이나 그 전구 증상은 이환 및 사망과 자주 관련되어 있고 소아에서 시작되어 성인기로 서서히 진행된다. 가족성

고콜레스테롤혈증, 당뇨병, 비만, 신부전, 혈관염을 가진 소아에서 심한 내피 기능의 이상을 일으켜 조기 동맥경화증을 일으킨다는 보고가 있다¹⁷⁾.

과거의 다양한 성인 연구에서 맥파 속도의 기준값을 제시하였다. Amar 등¹⁸⁾은 남서부 프랑스의 35-64세 사이 993명의 성인을 대상으로 단면 연구를 시행하였는데 이에 의하면, 맥파 속도의 10 백분위수와 90 백분위수에 해당하는 값이 치료받지 않은 군에서는 각각 710 cm/sec와 1,060 cm/sec였으며, 치료받은 군에서는 770 cm/sec와 1,220 cm/sec였다. Blacher 등¹⁹⁾은 맥파 속도의 심혈관 위험 인자를 예측하는 기준값으로서 1,300 cm/sec를, van Popele 등²⁰⁾은 1,400 cm/sec를 기준값으로 보고하였다. 위의 연구는 모두 성인에서의 연구로 본 연구결과보다 기준값이 높았다.

본 연구에서는 우리나라 정상 청소년의 맥파 속도와 발목 상완지수의 정상치와 기준값을 확립하고자 하였다. 본 연구는 15-16세의 청소년을 대상으로 하였고 우측 상완-발목 맥파 속도는 남자에서 1,032.4 cm/sec, 여자에서 963.1 cm/sec였고, 좌측 상완-발목 맥파 속도는 남자에서 1,041.3 cm/sec, 여자에서 969.7 cm/sec였다. 일본 Niboshi 등¹⁷⁾의 결과와 비교해 보면 15-17세 사이의 남자 청소년에서 95 백분위수 이상은 1,225 cm/sec, 여자에서는 1,121 cm/sec로 본 연구 결과에 비해 높게 나왔다. 그러나 baPWV의 평균값은 본 연구에서 남자는 1,015.4-1,023.4 cm/sec, 여아에서 947.6-954.6 cm/sec으로 일본 결과와 유사하였다. 본 연구에서도 일본 결과와 마찬가지로 남자에서 여자보다 유의하게 높았다. 상완-발목 맥파 속도는 성별에 의해 영향을 받아 남자에서 여자보다 높은 값을 보인다는 연구들이 있다. 60세 이후와 폐경 이후에는 성별 간의 맥파 속도에 차이를 보이지 않는다. 이는 동맥 경직도에 여성 호르몬이 유익한 영향을 미치기 때문으로 설명된다. 에스트로겐이 혈관벽의 평활근의 증식을 억제할 뿐만 아니라 엘라스틴과 콜라겐의 비율을 변화시키는 것으로 보인다²¹⁾.

연령, 혈압, 심박동수는 남녀 모두에서 의미 있는 baPWV의 결정 인자이고 비만도와는 유의한 상관관계가 없었다. 본 연구에서의 맥파 속도는 사지 모두에서 혈압이 높아질수록 유의한 양의 상관관계를 보였다. 또한 신장이 커질수록, 체중이 증가할수록, 체질량지수가 커질수록 사지의 혈압과 유의한 양의 상관관계를 보였다.

소아에서도 Marfan 증후군²²⁾, Ehlers-Danlos 증후군²³⁾, 대동맥류가 있는 환자²⁴⁾, 대동맥 축착 수술 후²⁵⁾, 고콜레스테롤혈증²⁶⁾에서 대동맥 경직의 증가가 보고되고 있다. 선천성 심질환, 혈관염 증후군, William 증후군, 가와사키병²⁷⁾에서 동맥 경직에 대해 보고되고 있으므로 이들 환자에서 동맥 경직을 조기에 예측하려면 맥파 속도를 주기적으로 추적하여 측정해야 한다.

발목 상완 동맥압 지수는 맥파 속도와 마찬가지로, 간단하고, 비침습적이며, 저렴한 방법으로, 하지 말초 혈관 질환의 지표로서 널리 이용되어 왔다. 이는 무증상 집단에서 추후 심혈관 질

환의 강력한 예측 인자로서 인정되어 왔다. 낮은 발목 상완 동맥압 지수는 높은 맥파 속도와 함께 심혈관 질환의 고위험 군에서 관상 동맥 질환의 존재를 알 수 있는 중요한 표지이다²⁸⁾. 맥파 속도가 주로 탄성 동맥의 경직도를 반영하는 데 반해, 발목 상완 동맥압 지수는 심실의 수축과 관련이 있으며 근성 동맥의 경직도를 반영한다⁹⁾. 실제 임상과 역학적 연구에서는 성인에서 발목 상완 동맥압 지수가 0.9 이하인 경우를 기준으로 하지 말초 혈관 질환의 유무를 결정한다²⁹⁾. 여러 연구에서 발목 상완 동맥압 지수는 중년의 하지 동맥 질환이나 고혈압 환자들의 심혈관계 유병률과 사망률을 예측할 수 있는 중요한 인자임이 밝혀졌다³⁰⁾. 그러나 Doobay 등³¹⁾에 의하면 발목 상완 동맥압 지수는 특이도는 높지만 심혈관계 질환을 예측하는데 있어서 민감도는 높지 않다. 즉, 발목 상완 동맥압 지수가 낮은 경우 심혈관 질환의 고위험 군이라고 할 수 있지만, 반대로 발목 상완 동맥압 지수가 정상 값을 보이는 경우 심혈관 질환을 지니지 않았다고 말할 수 없다. 이러한 특성으로 인하여 발목-상완 동맥압 지수를 일반 인구 집단에서 선별 검사로 이용하기보다는 고위험 집단에서 선택적으로 사용하여 위험도를 정하는데 활용하는 것이 합당할 것이다. 본 연구에서 발목 상완 동맥압 지수는 남녀 사이에 유의한 차이가 없었다. 이것은 또한 체중, 신장, 체질량 지수 어느 것보다도 유의한 상관관계가 없었다.

본 연구는 우리나라 청소년 인구에서 처음으로 맥파 속도와 발목 상완 동맥압 지수의 정상치를 제시하였다는 데 의의가 있다. 하지만 제한점으로는, 단지 392명의 15-16세 사이 청소년으로 이루어진 작은 집단을 대상으로 하였다는 점이다. 이들은 전체 우리나라 청소년을 대표하기에는 한계가 있으며, 서울 지역에 국한되었다는 단점이 있다. 이는 앞으로 좀 더 넓은 소아 연령군을 대상으로 다양한 집단에서 장기적인 연구를 통해 보완되어야 할 것이다.

결론적으로, 본 연구는 우리나라 정상 청소년에서 맥파 속도와 발목 상완 동맥압 지수의 정상치를 구하였으며, 이를 향후 심혈관 질환의 위험도를 예측하는 데 활용할 수 있을 것으로 생각한다.

요 약

목적 : 성인에서 맥파 속도와 발목 상완 동맥압 지수는 동맥 경직도를 측정할 수 있는 비침습적 방법이며 혈압, 고지혈증 등의 심혈관계 위험 인자와 연관성이 있어 심혈관계 질환과 관련이 있음이 알려져 있다. 본 연구는 우리나라 청소년에서 신장, 체중, 체질량 지수와 혈압, 맥파 속도, 발목 상완 동맥압 지수를 측정하였고 이들 사이의 상관성을 알아보고 정상 기준값을 확립하고자 하였다.

방법 : 서울 시내 3개 고등학교에 재학 중인 15-16세 사이의 청소년 392명(남자 213명, 여자 179명)을 대상으로 신장, 체중, 체질량지수, 좌우 상완 및 발목의 수축기, 이완기, 평균 혈압과

양측 맥파 속도, 발목 상완 동맥압 지수, 박출 시간, 전구출기를 VP-1000(Colin사, Komaki, Japan)을 이용하여 측정하였다.

결과 : 사지의 수축기, 이완기 평균 혈압은 남자에서 여자보다 유의하게 높은 값을 보였다($P<0.05$). 우측 상완-발목 맥파 속도는 남자에서 $1,015.4 \pm 130.0$ cm/sec, 여자에서 947.6 ± 105.1 cm/sec로서 남자에서 유의하게 높은 값을 보였다. 좌측 상완 발목 맥파 속도도 마찬가지로 남자에서 $1,023.4 \pm 132.5$ cm/sec, 여자에서 954.6 ± 102.4 cm/sec로 남자에서 유의하게($P<0.05$) 높은 값을 보였다. 발목 상완 동맥압 지수는 남녀 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 우측 상완-발목 맥파 속도의 기준값은 남자에서 $1,032.4$ cm/sec, 여자에서 963.1 cm/sec이었고, 좌측 상완-발목 맥파 속도는 남자에서 $1,041.3$ cm/sec, 여자에서 969.7 cm/sec이었다. 우측 발목 상완 동맥압 지수의 기준값은 남자에서 1.06, 여자에서 1.06이었으며, 좌측 발목 상완 동맥압지수의 기준값은 남자에서 1.05, 여자에서 1.06이었다. 맥파 속도는 사지 모두에서 혈압이 높아질수록, 유의한 양의 상관관계를 보였다. 또한 신장이 커질수록, 체중이 증가할수록, 체질량지수가 커질수록 사지의 혈압이 증가하는 유의한 양의 상관관계를 보였다. 반면, 발목 상완 동맥압 지수는 남녀 사이에 유의한 차이가 없었으며, 체중, 신장, 체질량지수 어느 것보다도 유의한 상관관계가 없었다.

결론 : 혈압은 신장, 체중, 체질량지수에 따라 높아지며 맥파 속도와 혈압 사이에도 유의한 양의 상관관계가 있다. 정상 청소년에서 측정된 맥파 속도의 기준값을 바탕으로 심혈관계 질환의 위험도를 조기 발견하고 예측하는데 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

References

- 1) Elizinga G, Westerhof N. Pressure and flow generated by the left ventricle against different impedances. *Circ Res* 1973;32:178-86.
- 2) Sunagawa K, Maughn WL, Sagawa K. Stroke volume effect of changing arterial input impedance over selected frequency ranges. *Am J Physiol* 1985;248:477-84.
- 3) Asmar R, Benetos A, Topouchian J, Laurent P, Pannier B, Brisac AM. et al. Assessment of arterial distensibility by automatic pulse wave velocity measurement. *Hypertension* 1995;26:485-90.
- 4) Lehmann ED, Hopkins KD, Rawesh A, Joseph RC, Kongola K, Coppack SW, et al. Relation between number of cardiovascular risk factors/events and noninvasive Doppler ultrasound assessments of aortic compliance. *Hypertension* 1998;32:565-9.
- 5) Dhillon R, Clarkson P, Donald AE, Powe AJ, Nash M, Novelli V, et al. Endothelial dysfunction late after Kawasaki Disease. *Circulation* 1996;94:2103-6.
- 6) Yoshimura S, Sugai J, Hashimoto H, Okamura T, Yamagishi N, Hasegawa M, et al. An estimation of arteriosclerosis by the measurement of pulse wave velocity and an

- analysis of the clinical effect of therapeutic agents on arteriosclerosis. *Cor Vasa* 1968;10:173-82.
- 7) McGill HC Jr, McMahan CA, Herderick EE, Malcom GT, Tracy RE, Strong JP. Origin of atherosclerosis in childhood and adolescence. *Am J Clin Nutr* 2000;72(5 Suppl):1307S-15S.
 - 8) Matsui Y, Kario K, Ishikawa J, Eguchi K, Hoshida S, Shimada K. Reproducibility of arterial stiffness indices (Pulse wave velocity and augmentation index) simultaneously assessed by automated pulse wave analysis and their associated risk factors in essential hypertensive patients. *Hypertens Res* 2004;27:851-7.
 - 9) O'Rourke MF, Staessen JA, Vlachopoulos C, Duprez D, Plante GE. Clinical applications of arterial stiffness: definitions and reference values. *Am J Hypertens* 2002;15:426-44.
 - 10) Yamashima 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.
 - 11) 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.
 - 12) Andoh N, Minami J, Ishimitsu T, Ohruji M, Matsuoka H. Relationship between markers of inflammation and brachial-ankle pulse wave velocity in Japanese men. *Int Heart J* 2006;47:409-20.
 - 13) 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.
 - 14) Khoshdel AR, Thakkinstian A, Carney SL, Attia J. Estimation of an age-specific reference interval for pulse wave velocity: a meta-analysis. *J Hypertens* 2006;24:1231-7.
 - 15) Simon AC, Levenson J, Bouthier J, Safar ME, Avolio AP. Evidence of early degenerative changes in large arteries in human essential hypertension. *Hypertension* 1985;7:675-80.
 - 16) Taniwaki H, Kawagishi T, Emoto M, Shoji T, Kanda H, Maekawa K, et al. Correlation between the intima-media thickness of the carotid artery and aortic pulse-wave velocity in patients with type 2 diabetes. *Vessel wall properties in type 2 diabetes*. *Diabetes Care* 1999;22:1851-7.
 - 17) Niboshi A, Hamaoka K, Sakata K, Inoue F. Characteristics of brachial-ankle pulse wave velocity in Japanese children. *Eur J Pediatr* 2006;165:625-9.
 - 18) Amar J, Ruidavets JB, Chamontin B, Drouet L, Ferrieres J. Arterial stiffness and cardiovascular risk factors in a population-based study. *J Hypertens* 2001;19:381-7.
 - 19) 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.
 - 20) van Popele NM, Bos WJ, de Beer NA, van Der Kuip DA, Hofman A, Grobbee DE, et al. Arterial stiffness as underlying mechanism of disagreement between an oscillometric blood pressure monitor and a sphygmomanometer. *Hypertension* 2000;36:484-8.
 - 21) London GM, Guerin AP, Pannier B, Marchais SJ, Stimpel M. Influence of sex on arterial hemodynamics and blood pressure. Role of body height. *Hypertension* 1995;26:514-9.
 - 22) Sonesson B, Hansen F, Lanne T. Abnormal mechanical properties of the aorta in Marfan's syndrome. *Eur J Vasc Surg* 1994;8:595-601.
 - 23) 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.
 - 24) 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.
 - 25) 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.
 - 26) Iannuzzi A, Rubba P, Pauciullo P, Celentoano E, Capano G, Sartorio R, et al. Stiffness of the aortic wall in hypercholesterolemic children. *Metabolism* 1999;48:55-9.
 - 27) 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.
 - 28) Koji Y, Tomiyama H, Ichihashi H, Nagae T, Tanaka N, Kenji T, et al. Comparison of ankle-brachial pressure index and pulse wave velocity as markers of the presence of coronary artery disease in subjects with a high risk of atherosclerotic cardiovascular disease. *Am J Cardiol* 2004;94:868-72.
 - 29) Criqui MH, Langer RD, Fronek A, Feigelson HS, Klauber MR, McCann TJ, et al. Mortality over a period of 10 years in patients with peripheral arterial disease. *N Eng J Med* 1992;326:381-6.
 - 30) McKenna M, Wolfson S, Kuller L. The ratio of ankle and arm arterial pressure as an independent predictor of mortality. *Atherosclerosis* 1991;87:119-28.
 - 31) Doobay AV, and SS. Sensitivity and specificity of the ankle-brachial index to predict future cardiovascular outcomes: a systematic review. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2005;25:1463-9.