

5단계 가압 맥파측정에 의한 연령별 혈관 경화도 분석

권선민¹ · 강희정² · 임윤경³ · 이용흠¹

¹연세대학교 보건과학대학 의공학과 한의공학연구소, ²대요메디(주),
³대전대학교 한의과대학 경락경혈학교실

Analysis of Arterial Stiffness by Age Using Pulse Waveform Measurement of 5-levels Graded Pressure

Sun-Min Kwon¹, Hee-Jung Kang², Yun-Kyoung Yim³, Yong-Heum Lee¹

¹Dept. of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University, ²Daeyomedi Co., Ltd.
³Dept. of Meridian & Acupoint, College of Oriental Medicine, Daejeon University

Abstract

Objectives : The aim of this study is to measure pulse waveforms by applying 5-level graded pressure, and selecting optimum pulse waveforms. Also to proposing the possibility of using AW(Area of the 1/3 upper height of h1) rate in respect to AT(Total Area) for risk assessment of hypertension or arteriosclerosis is another aim of the study.

Methods : Pulse waveforms of normotensive were measured by 5-level graded pressure. The pulse waveforms well reflecting properties of blood vessel(having the largest h1) were selected for optimum pulse waveforms. Various parameters(h-parameter, t-parameter, and others) of optimum pulse waveforms were analyzed. AIx(Augmentation index) was calculated by height-parameters to assess arterial stiffness. The area rate of the 1/3 upper height for h1 in respect to total area was analyzed according to aging.

Results : According to aging

1. in height-parameter, h2 and h3 were increased but h5 was decreased.
2. In time-parameter, t2, t3, and t5 were getting short.
3. Area of systolic period was increased, and that of diastolic period decreased.
4. AIx rose by aging.
5. AW was significantly increased despite no changes in AT.

Conclusions : By analyzing optimum pulse waveforms of 5-level graded pressure method, we could complement weakness of single graded pressure method. Also, possibility of applying the AW rate to risk assessment of hypertension or arteriosclerosis was confirmed in normotensive population which might not be assessed by AIx.

Key words : Hypertension, Arteriosclerosis, Risk assessment, 5-level graded pressure, Optimum pulse waveforms, AIx, AW

1. 서 론

최근 고령사회 진입 및 당뇨, 비만 등으로 성인병 환자들이 급증하고 있으며 생명을 위협하는 고혈압, 뇌혈관 질환, 동맥경화, 심장질환 등 심혈관 질환으로 인한 질병 발생

· 교신저자: 이용흠, 강원도 원주시 흥업면 매지리 234
연세대학교 보건과학대학 의공학과 한의공학연구소,
Tel. 033-760-2920, 2863, E-mail:
koaim@yonsei.ac.kr

· 투고 : 2010/05/22 심사 : 2010/06/07 채택 : 2010/06/11

률이 증가하고 있다. 혈관질환의 원인으로는 스트레스, 혈압, 콜레스테롤, 중성지방, 흡연, 과체중, 운동부족 등을 예로 들 수 있으며¹⁻⁶⁾ 혈관질환을 진단하기 위해 고혈압의 유·무 혹은 콜레스테롤 수치의 고·저를 확인하는 방법이 주로 이용된다. 그러나 정상혈압이거나 30세 이하의 낮은 연령층에서 뇌혈관 질환이 증가하고 있으며 이는 혈압 측정방법만으로는 위험도를 정확히 진단하고 평가하기 어려움을 의미한다. 또한, 동맥경화는 혈압상승 및 혈액순환장애의 주요 원인이기에 대한 진단평가 방법이 필요하다. 이를 위한, 방법으로 혈류맥파를 이용한 혈관질환을 진단하기 위한 연구가 진행되고 있다⁷⁻⁹⁾.

맥파는 혈액이 심장에서부터 박출되어 대동맥에 머물렀다가 혈관을 통해 온몸으로 흐를 때에 혈액이 혈관에 가하는 압력을 시간에 따라 나타낸 그래프로 심장에서부터 말초로 진행되는 진행과와 말초혈관으로부터 되돌아오는 반사파가 합쳐진 형태로 나타난다. 이러한 맥파는 높이변수(h), 시간변수(t), 혈관경화도(Augmentation Index :AIx) 등 다양한 정보를 가지고 있으며, 특히 혈관의 순응성, 혈관벽의 탄성 등의 정보를 가지고 있어 혈관 특성을 보여준다^{10,11)}. 이러한 맥파의 다양한 정보를 이용하여 혈관 질환의 맥파 특성을 분석하는 연구^{12,13)}가 이미 진행되고 있으며 특히 연령 증가에 따른 맥파 변화에 대한 연구^{14,15)}가 많이 진행되어왔다. 연령이 증가함에 따라 혈관의 경직도가 증가하며 말초혈관으로부터 돌아오는 반사파의 진행이 빨라져 맥파의 높이변수(h), 시간변수(t)의 변화가 관찰되는 연구결과^{16,17)}가 발표되었다. 이러한 맥파 파라미터를

근거로, 혈관의 특성 변화를 분석하기 위해 맥파전달속도(Pulse Wave Velocity : PWV)와 AIx가 이용되고 있다¹⁸⁻²³⁾. 특히 AIx는 혈관 경화도를 판단하기 위한 지표로 많이 사용되고 있다.

그러나 이는 맥파의 높이변수(h)에만 의존한 데이터로 AIx만을 가지고 혈관의 경화도를 판단하기에는 어려움이 있다. 또한, 기존 맥파측정법의 가장 큰 문제점은 단일 가압 방식으로 모든 실험대상자에게 동일 가압력에 대한 맥파를 측정하거나 혈관의 적절한 깊이를 찾아 임의의 압력으로 측정하는 방식이기 때문에 혈관의 깊이, 두께 등의 혈관특성이 모두 다른 개개인의 최적 맥파를 측정하기 어렵다^{24,25)}. 즉, 단일 가압방식에 의해 측정된 맥파는 혈압과 혈관특성이 정확히 반영된 최적맥파로 판단하기 어렵기 때문에 이를 기초로 분석된 결과데이터의 신뢰성 문제를 내포하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 5단계 가압방식의 맥파 측정기인 DMP-3000(DAEYOMEDI Co., Korea)을 이용하여 정상혈압군에 대하여 연령 증가에 따른 5 단계에서 측정된 5개의 맥파 데이터 중 혈압과 혈관 특성이 가장 잘 반영된 최적 맥파를 선정하여 평가하고자 하였다. 최적 맥파에 대한 각종 파라미터 중에서 혈관특성을 반영하는 파라미터를 이용하여 혈관경직도를 평가하기 위한 AIx와 맥파 전체면적(At)에 대한 주파(h1) 크기의 상위 1/3의 면적(Aw)을 분석하였다. 이와 같은 방법으로 5단계 가압맥파 중 최적맥파에 대하여 At에 대한 Aw 변화를 분석하여 새로운 고혈압 및 동맥경화 위험도 평가방법을

제시하고, 정상혈압군에서 연령증가에 따른 혈관 경화도의 변화와 나아가 혈관의 경화도를 평가할 수 있는 지표로써 A_w 의 적용가능성을 확인하고자한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험대상자

심혈관 질환이 없으며 WHO 권장혈압 (Table 1)을 기준으로 하여 정상혈압군에 해당하는 20대~60대 남성 587명을 대상으로 실험을 실시하였다. 실험 전 혈관의 특성 변화에 영향을 줄 수 있는 운동이나 흡연을 금지하였으며 실험을 실시하기에 앞서 실험 대상자에게 실험과정에 대해 충분히 설명하

고 동의를 얻었다.

연령별 5개의 그룹에서 혈관 경화도와 밀접한 관계가 있는 중박전파(h3)는 AIx에 큰 오차율의 원인이 됨으로 h3가 나타나지 않은 257명은 제외하였고, 중박전파(h3)가 측정된 330명의 맥파 데이터를 이용하여 분석을 실시하였으며 Table 2에 각 그룹별 특성을 평균±표준편차로 기술하였다.

Table 1. Categories for Blood Pressure Levels in Adult by WHO

	SBP(mmHg)	DBP(mmHg)
Hypertension	160이상	95이상
Boderline Hypertension	140-159	90-94
Normotensive	101-139	61-89
Hypotension	100이하	60이하

Table 2. Baseline Variables of subject population

Age Group	n	Age (y)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI, (kg/m ²)	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	HR (Beats/min)
20s(20-29)	60	24.9±2.4	174.3±5.7	71.0±10.9	23.4±3.0	119.7±8.4	72.2±6.4	67.7±7.0
30s(30-39)	73	36.7±2.2	173.4±5.6	70.5±9.9	23.4±3.0	118.0±9.8	73.6±6.7	67.3±7.9
40s(40-49)	82	44.8±2.9	171.4±4.2	70.4±9.6	23.9±2.9	119.3±9.8	74.7±7.0	67.9±8.8
50s(50-59)	67	53.5±2.6	170.0±5.3	70.0±8.3	24.2±2.4	121.9±11.1	77.7±8.0	67.3±8.0
60s(60-69)	48	63.0±2.6	166.8±5.4	66.3±8.6	23.8±2.4	122.5±8.9	77.5±7.0	63.0±8.4

2. 측정 장치

최적 맥파를 측정하기 위해서 다채널의 어레이 압력센서를 사용하여 요골동맥의 정확한 위치를 자동으로 확보하고 맥파를 측정할 수 있는 DMP-3000(DAEYOMEDI Co., KOREA)을 이용하였다. 5단계(1단계: 50g, 2단계: 90g, 3단계: 140g, 4단계: 190g, 5단계: 240g)의 가압단계에 따라 맥파를 측정할 수 있으며 맥파 및 맥동의 다양한 정보

를 제공한다. 본 연구에서는 각 가압 단계마다 10초간 맥파를 측정하도록 설정하여 10초간 측정된 7~8개의 맥파를 평균하여 그 단계의 맥파의 형태 및 변수 정보를 결정하여 보여주도록 하였다. 이러한 과정은 실험 대상자의 움직임과 같은 외부요인에 의한 맥파 정보의 오차를 줄일 수 있다.

3. 실험 방법

실험 대상자가 앉은 상태에서 ‘좌관’의 위

치의 맥파를 측정하였다. 실험대상자가 안정된 상태에서 맥파를 측정하기 위해 실험을 실시하기 전 앉은 상태에서 5분간 휴식을 취하였다. Fig. 1은 맥파 측정 시 자세를 보여주고 있다.

다음과 같은 방법으로 새로운 고혈압 및 동맥경화 위험도 평가를 위한 실험을 실시하였다. 먼저, 정상혈압군에 대하여 연령 증가에 따른 5 단계에서 측정된 5개의 맥파 데이터 중 혈압과 혈관 특성이 가장 잘 반영된 최적 맥파[주파(h1)의 크기가 가장 큰 맥파]를 대표 맥파로 선정하였다. 최적 맥파에 대한 각종 맥파 파라미터(h, t 등)를 측정하고 혈관특성을 반영하는 파라미터를 이용하여 혈관경직도를 평가하기 위한 AIx를 분석하였다. 맥파 전체면적(A_t)에 대한 주파(h1) 크기의 상위 1/3의 면적(A_w)을 분석하여 AIx와 비교분석 하였다.



Fig. 1. Pulse waveform measurement in a sitting posture (on left Kwan)

4. 주요 맥파분석 인자

Fig. 2는 요골동맥에서 측정되는 맥파의 형태와 맥파의 다양한 파라미터를 보여주고

있다. 좌심실근육의 수축으로 인해 좌심실 내 압력이 대동맥의 압력보다 커지면서 혈액이 심장으로부터 박출되는데 이때 심장으로부터 말초로 진행되는 진행파와 말초로부터 되돌아오는 반사파가 합쳐지면서 맥파가 만들어진다. 심장에서 혈액이 박출될 때 동맥이 확장되면서 만들어지는 파형이 주파(h1)이며 진행파와 반사파의 시간차에 의해 만들어지는 파형이 중박전파(h3)이다. 강중협곡(h4)은 좌심실근육이 이완하면서 좌심실 내 압력이 급격히 줄어들고 그로 인해 좌심실과 우심실 사이의 판막(대동맥판)이 닫힐 때에 나타나는 파이며 중박파(h5)는 좌심실 내 압력이 대동맥보다 작아지면서 심장으로 역류하려고 하는 혈액이 판막에 부딪혀 발생하는 파이다. 이와 같은 높이 변수들은 div(digital value of pressure)의 단위로 표현되며 각각의 파에 도달하는 데 걸리는 시간을 급성사혈기 시간(t1), 중박전파협곡 시간(t2), 중박전파 시간(t3), 수축기 시간(t4), 중박파 시간(t5)이라 한다(단위: sec). 고압시간(W)는 주파(h1)의 상위 1/3 부위의 너비로 고압력이 유지되는 시간을 나타내며 A_w (area of W)는 W 상단의 면적을 의미한다. A_w 의 면적의 크기는 W 상단의 형태에 의해 그 값이 달라질 수 있으며 주파(h1)의 모양, 중박전파(h3)의 크기, 중박전파(h3)가 나타나는 시간(t3) 등이 A_w 의 면적에 큰 영향을 미칠 수 있다(혈관의 경화도가 증가하면 반사파가 빠르게 나타나며 이는 맥파의 형태 및 A_w 에 영향을 줌). AIx (Augmentation Index)는 반사파가 맥파에 나타나는 시점인 중박전파협곡(h2)과 주파

(h1)의 차를 맥파의 높이(h1 혹은 h3)에 대한 비율로 나타낸 것으로 혈관의 경직도를 나타내는 주요척도로 이용되고 있다. 본 연구에서는 A_w 의 면적 변화를 관찰하고 그 변화 원인에 대한 분석을 위해 높이변수(h), 시간변수(t), A_w 등으로 분석을 실시하였으며 AIx를 이용하여 W 면적 변화의 상관성을 확인하였다.

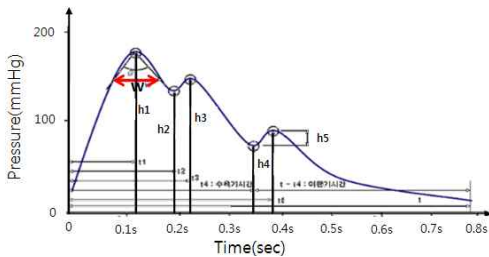


Fig. 2. Pulse waveform on radial artery, and parameters

5. 분석 방법

DMP-3000에 의해 측정된 맥파 정보들은 DMP-3000 Analyzer를 통해 Excel 파일의 형태로 얻어졌다. 연령에 따라(20대, 30대, 40대, 50대, 60대) 실험대상자를 5개의 그룹으로 분류하였으며 각 변수에 대한 분석 결과는 평균±표준편차의 형태로 표현하였다. 개인차에 의한 맥파 변수들의 편차가 크지만 연령에 따른 맥파의 변화 양상을 관찰하기 위해 일원 분산 분석(One-way ANOVA)을 실시하였으며 사후검정(Scheffe test)을 실시하였다. 분석은 SPSS 17.0에 의해 실시되었다.

전체 실험대상자 587명 중 중박전파(h3)가 존재하는 표준맥파를 가진 실험대상자는

332명이었다. 중박전파(h3)의 유·무는 분석을 실시하는 데 있어서 큰 오차의 원인이 될 수 있으므로 중박전파가 나타나지 않는 데이터는 분석에서 제외하여 총 332명의 맥파 정보를 이용하여 분석을 하였다. 각 단계별로 측정된 5개의 맥파 데이터 중 주파(h1)의 크기가 가장 큰 맥파를 대표맥파를 선정하고 이를 이용하여 분석을 실시하였다.

III. 결 과

1. 연령 증가에 따른 맥파 높이변수(h) 분석

Table 3은 연령에 따른 높이 변수(h1, h2, h3, h4, h5) 값을 보여주고 있다. 주파(h1)와 강중협곡(h5) 크기는 연령에 따른 규칙적인 변화를 찾아볼 수 없다. 그러나 중박전파협곡(h2)와 중박전파(h3)의 경우 연령이 증가함에 따라 그 크기가 증가하고 중박파(h5)의 크기는 연령이 증가함에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Table 3의 데이터는 개인에 따라 맥파의 크기가 다른 특성을 고려하지 않은 데이터로 중박전파협곡(h2), 중박전파(h3) 및 중박파(h5)의 규칙적인 변화가 연령에 따른 변화인지 단지 개인의 맥파 크기 특성에 의해 나타나는 데이터인지 알 수 없다. 따라서 개인의 맥파 크기 특성을 배제한 분석을 위해 주파(h1)에 대한 각 높이 변수의 비율을 계산, 분석하였다. 이는 주파(h1)의 크기가 같다는 전제 하에 분석을 실시함으로써 좀 더 객관적인 분석이 될 수 있다.

Table 4는 주파(h1)에 대한 각 높이 변수의 비율을 보여주며 Fig. 3은 이 중 유의성을 가지는 중박전과협곡(h2), 중박전과(h3) 및 중박과(h5)의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. Table 3의 결과와 유사하게 주파(h1)에 대한 중박전과협곡(h2)와 중박전과(h3)의 비율이 유의한 수준으로 증가하는

것을 볼 수 있다. 중박과(h5)의 경우 50대를 제외한 모든 그룹에서 연령이 증가함에 따라 그 값이 감소하는 것을 확인할 수 있으며 주파(h1)에 대한 비율을 가지고 분석함으로써 중박과(h5)만을 가지고 분석한 경우보다 더 유의한 결과가 나타났다.

Table 3. Changes of Height-parameter by aging(div)

	h1	h2*	h3*	h4	h5 [†]
20s	147.9±44.5	73.4±26.5	79.4±27.1	43.7±16.5	54.7±17.9
30s	138.9±46.2	77.2±32.4	85.3±34.6	37.0±14.7	48.4±17.0
40s	143.9±49.5	93.3±35.6	99.6±37.0	39.9±16.5	48.3±17.4
50s	141.4±40.5	102.61±33.8	107.9±34.9	39.4±17.2	47.3±17.0
60s	145.2±55.9	110.08±45.5	115.1±45.8	36.4±15.7	43.5±17.2

*p < 0.001, †p < 0.05

Table 4. Changes of Height-parameter rate to h1 by aging(%)

	h2/h1*	h3/h1*	h4/h1	h5/h1*
20s	50.4±13.0	54.6±13.0	29.5±7.1	37.2±6.8
30s	55.5±12.2	61.4±13.4	26.8±6.2	35.1±6.5
40s	64.9±13.5	69.3±13.4	27.6±7.0	33.7±5.8
50s	72.5±14.2	76.7±14.6	27.9±8.4	34.0±8.2
60s	79.8±12.7	79.8±12.7	25.4±7.9	30.6±8.2

*p < 0.001

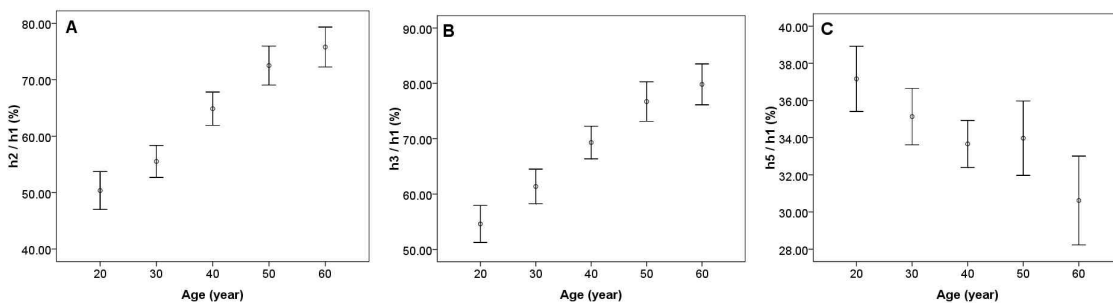


Fig. 3. The effect of aging on h-parameters

A : the correlation between h2/h1 and age. h2/h1 increases by aging. B : the correlation between h3/h1 and age. h3/h1 increases by aging. C : the correlation between h5/h1 and age. h5/h1 generally decreases by aging. Valuables represent means±S.D. (p=0.05)

2. 연령 증가에 따른 맥파 시간변수 분석

Table 5는 연령 변화에 따른 시간 변수의

변화를 나타내었다. 시간 변수의 경우 사람마다 맥박수가 다르기 때문에 전체 시간(t)에 대한 각각의 시간 변수(t1, t2, t3, t4, t5, t-t4)의 비율을 분석하였다. 급성사혈기 시간(t1), 수축기 시간(t4), 이완기 시간(t-t4)에서는 유의한 변화가 없었으나 중박전파협곡 시간(t2)와 중박전파 시간(t3)의 비율은

연령이 증가할수록 점점 감소하는 것을 확인하였다. 이는 수축기 시간과 관계없이 연령이 증가할수록 중박전파가 나타나는 시간이 서서히 빨라지는 것을 의미한다. 중박과 시간(t5)의 비율도 연령의 증가에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다(Fig. 4).

Table 5. Changes of Time-parameter rate to t by aging(%)

	t1	t2*	t3*	t4	t5†	t-t4
20s	11.66±1.29	20.77±2.39	24.62±2.08	35.50±2.77	41.82±3.18	64.50±2.77
30s	11.38±1.46	19.59±2.61	23.69±2.46	35.10±2.88	41.02±3.62	64.90±2.89
40s	11.71±1.60	19.54±2.83	23.32±2.75	35.83±3.20	40.99±3.82	64.16±3.21
50s	11.80±1.55	18.95±2.91	22.54±2.62	35.57±3.14	40.23±3.91	64.42±3.13
60s	11.13±1.32	17.80±2.33	21.38±2.47	34.98±3.40	38.98±3.65	65.00±3.40

* p < 0.001, †p < 0.01

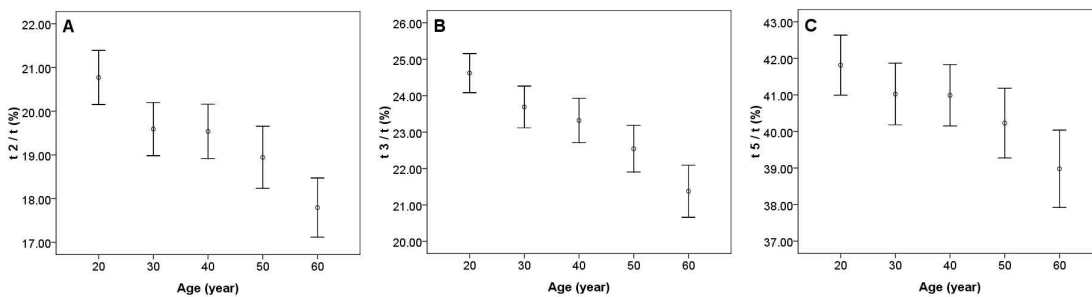


Fig. 4. The effect of aging on t-parameters

A : the correlation between t2/t and age. B : the correlation between t3/t and age. C : the correlation between t5/t and age. t2/t, t3/t and t5/t generally decrease by aging. Values represent means±S.D. (p=0.05)

3. 연령 증가에 따른 수축기 및 이완기 맥파 면적 분석

Table 6은 맥파 전체 면적의 변화와 전체 면적 증가에 대한 수축기 및 이완기 시간의 비율 변화를 나타낸 것이다. 20대를 제외하고는 모든 연령대에서 전체 면적이 증가하는 것을 확인할 수 있으며 연령이 증가함에

따라 수축기 시간의 비율은 증가하고 이완기 시간은 감소하였다.

정상혈압에서의 수축기 동안의 면적이 증가하고, 이완기 동안의 면적이 감소한다는 것은 혈관에 미치는 압이 증가한다는 것으로 연령 증가로 인한 혈관질환 위험도가 높아짐을 예측할 수 있다.

Table 6. Changes of Area-parameter by aging

	A _T	A _S *(%)	A _D *(%)
20s	8843±2686	70.93±5.35	29.07±5.35
30s	8529±3166	74.60±5.51	25.40±5.51
40s	9022±3237	77.65±4.39	22.35±4.39
50s	9289±2894	78.99±6.41	21.01±6.41
60s	9941±3935	80.85±7.11	19.15±7.11

A_T : total area of pulse waveform. A_S : systolic area rate to A_T. A_D : diastolic area rate to A_T.

*p < 0.001

4. 연령 증가에 따른 혈관경화도(AIx) 분석

AIx(Augmentation Index)는 반사파가 맥파에 나타나는 시점인 중박전파협곡(h2)과 주파(h1)의 차를 맥파의 높이(h1 혹은 h3)에 대한 비율로 나타낸 것으로 혈관의 경직도를 나타내는 주요척도로 이용되고 있다. AIx 분석결과, Table 7과 같이, 연령증가에 따른 AIx의 변화는 연령이 증가할수록 AIx가 증가하는 것으로 확인되었다. 이는 혈관경화가 진행되고 있음을 의미하는 것으로 단순히 혈압을 측정하는 것만으로는 확인할 수 없는 파라미터이다.

Table 7. Changes of AIx(Augmentation Index) by aging

	AIx*
20s	54.61±12.96
30s	61.38±13.41
40s	69.32±13.41
50s	76.71±14.64
60s	79.82±12.72

*p < 0.001

5. 연령 증가에 따른 혈관경화도(Aw) 분석

Table 8은 고압시간(W)와 관련된 변수들

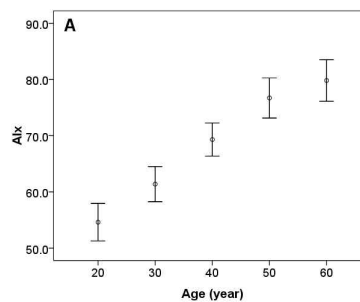
의 변화이다. W/t는 전체 맥파주기(t)에 대한 고압시간(W)의 비율을 나타낸 것으로 연령에 따른 뚜렷한 변화를 찾을 수 없다. 그러나 Aw의 면적(Area of W)는 연령이 증가함에 따라 유의성이 높게 증가하였으며 그에 따라 편차가 크에도 불구하고 높은 유의수준 내에서 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다. At의 변화도 연령증가에 따라 증가하고 있으나, 이는 Aw증가로 인한 변화임을 확인하였다. Fig. 5는 연령증가에 따른 AIx와 Aw의 변화 양상을 관찰하기 위한 그래프이다. 두 변수가 유사한 경향을 가지고 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Table 8. Changes of W-parameter by aging

	W/t (%)	At	Aw* (%)
20s	1.553±0.066	8843±2686	33.66±8.31
30s	1.544±0.069	8529±3166	36.45±8.98
40s	1.562±0.080	9022±3237	46.37±12.98
50s	1.556±0.077	9289±2894	54.81±12.35
60s	1.543±0.085	9941±3935	58.22±11.53

W/t, W rate to time-period(t). Aw(area of W) rate to At(total area)

*p < 0.001



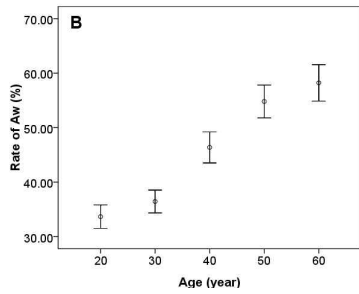


Fig. 5. The effect of aging on AIx(Augmentation Index) and Aw(Area of W)

A : Changes of AIx by aging. B : Changes of AW rate to A_T by aging. Both AIx and rate of AW increase by aging. [Valuables represent means \pm S.D. ($p=0.05$)]

Fig. 6은 각 연령에 따라서 전체면적(A_T)에 대한 W의 면적(A_W)를 그래프로 나타낸 것이다. 이는 A_W 의 면적을 전체 면적(A_T)에 대한 비율을 관찰하기 위한 것이며 연령별 평균 기울기를 함께 나타내었다. 모든 연령에서 전체면적에 대한 A_W 의 비율은 개인에 따라 다양하게 나타나며 연령이 증가할수록 그 기울기가 커지는 것을 알 수 있다. 50대와 60대의 경우 기울기가 매우 유사하게 나타났다. 이는 연령증가로 인한 혈관 노화 및 경화가 진행되고 있음을 의미하며, AIx와 같이 단순히 혈압 측정만으로는 확인할 수 없다. 본 논문에서는 연령증가에 따른 A_W 가 증가함을 확인하였고, 혈관특성을 반영하는 새로운 지표로 제시하는 바이다.

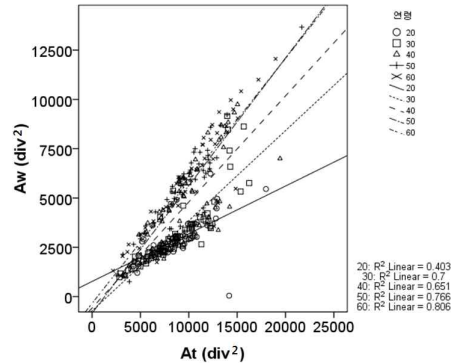


Fig. 6. The correlation between Aw(area of W) and At(total area) ($p=0.05$)

Data were classified with age. By aging, AW rate to A_T increases.

IV. 고 찰

심장은 혈액을 혈관으로 내보내며 혈액이 대동맥을 향해 나갈 수 있는 원동력은 대동맥과 좌심실 사이의 압력차이다. 대동맥의 압력이 크게 떨어져 좌심실과 큰 압력차를 가지게 되고 이로 인해 빠른 속도로 혈액은 대동맥을 향해 박출된다. 대동맥은 탄력이 충분한 혈관벽을 가지고 있어 수축기 시간 동안 심장으로부터 박출된 혈액을 혈관에 저장하였다가 더 이상 심장이 혈액을 내보내지 않는 이완기 시간에도 동일한 양의 혈액을 혈관에 공급하도록 하는 것이다. 그러나 계속되는 심장의 박출과 대동맥의 팽창은 대동맥벽의 탄력성을 잃게 하며 이런 과정을 통해 동맥경화가 발생한다. 동맥의 경화는 특별한 질환이 없는 사람에게도 연령이 증가함에 따라 나타나며 이로 인해 반사파가 말초로부터 빨리 돌아오게 되어 맥파에 변화를 발생시킨다.

본 연구에서는 정상혈압군 내에서 연령이

증가함에 따른 맥파의 특성변화를 관찰하였다. 연령이 증가하면서 중박전과협곡(h2)과 중박전과(h3)가 나타나는 시간은 빨라지며 주파(h1) 크기에 대한 그 비율은 증가한다. 중박전과협곡(h2)과 중박전과(h3)의 이러한 특성은 주로 고혈압군 및 혈관 질환을 가진 환자의 맥파에서 나타나는 것으로 정상혈압군 내에서도 연령 증가에 따른 혈관 특성의 변화가 나타남을 의미한다. 중박전과(h3)는 혈관벽의 탄성 및 외부 저항력과 관련된 변수로 중박전과(h3)의 크기가 증가한다는 것은 그만큼 혈관벽이 단단해져 있다는 것이다. 중박전과(h3)는 심장의 혈액 박출에 의해서 만들어지는 진행파와 말초혈관으로부터 반사되어 돌아오는 반사파가 합쳐지면서 형성된다. 그러나 혈관의 탄성력이 낮아질수록 반사파가 빠르게 돌아오게 되고 맥파의 이완기로부터 수축기 방향으로 즉, 점점 주파(h1)와 가까워진다. 진행파와 반사파가 합쳐져 만들어진 중박전과(h3)뿐만 아니라 주파(h1) 또한 반사파의 빠른 등장에 의해 영향을 받아 더 큰 값을 가지게 된다. 중박전과협곡(h2) 크기의 증가 역시 이러한 주파 및 중박전과(h3)의 증가에 의해 수반된다. 중박전과 시간(t3)이 빨라지면서 중박전과(h3)는 주파(h1)와 가까워지는 반면 중박과(h5)와는 멀어져 중박과(h5)의 크기는 중박전과 시간(t3)이 연령에 따라 빨라질수록 더 작아지는 현상이 나타난다.

혈관의 탄성이 감소함으로 인해 발생하는 높이변수(h) 및 시간변수(t)의 변화는 면적의 변화로 나타난다. Table 6과 같이 연령의 증가에 따라 W의 너비는 변화가 나타나지

않음에도 불구하고 Aw의 면적에는 큰 변화가 있다. 이는 중박전과 시간(t3)이 빨라지면서 중박전과(h3)가 주파(h1)와 합쳐지고 이로 인해 고압시간(W)내 면적이 증가하기 때문으로 볼 수 있다. 또한 Aw의 면적의 증가는 전체 면적에도 영향을 미치며 본 연구의 결과에서도 20대를 제외한 모든 연령에서 연령이 증가함에 따라 전체 면적 또한 증가하는 것을 확인하였다. 또한 반사파가 되돌아오는 시간이 빨라짐으로 인해 나타나는 중박전과(h3)의 증가와 중박과(h5)의 감소가 수축기 면적의 증가와 이완기 면적의 감소에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 전체면적(At)에 대한 Aw의 면적을 분석하였을 때 연령이 증가함에 따라 Aw의 비율이 증가하는 사실을 알 수 있다. 이는 Aw의 면적의 증가가 단지 전체면적의 증가에 따른 변화가 아니며 혈관의 특성 변화로 인해 주파의 모양의 변화가 발생하여 반사파의 시간이 빨라져 Aw의 면적을 증가시킨다는 것을 의미한다.

이러한 Aw의 면적 변화가 혈관의 경화 정도를 확인할 수 있는 척도로 사용될 수 있을지 확인하기 위해 혈관의 경화도를 나타내는 AIx의 연령에 따른 변화를 함께 분석하였다. AIx 또한 반사파의 시간이 빨라짐으로 인해 영향을 받게 되며 Fig. 5와 Fig. 6을 통해서 이를 확인할 수 있다. 주파(h1)의 크기는 개인의 맥파 특성에 따라 다양한 크기로 나타나는 데에 비하여 주파(h1)에 대한 중박전과(h3) 및 중박전과협곡(h2)는 연령 증가에 따라 급격히 증가하는 경향을 보이게 된다. 맥파의 크기에는 유의

한 변화가 없으나 증박전과협곡(h2)의 크기가 증가하면서 AIx가 연령에 따라 증가하는 것이다. 이러한 변화는 연령 증가에 따른 Aw 면적의 변화와 유사하게 나타나며 이는 Aw 면적이 동맥의 경화도를 측정할 수 있는 척도로써의 가능성을 시사한다. 또한 AIx는 반사파의 빠른 진행으로 인한 높이 변수의 증가만이 고려된 데이터에 불과하나 Aw의 면적 데이터는 반사파의 빠른 진행으로 인한 높이 변수 및 시간 변수가 함께 반영된 데이터임을 고려할 때 보다 혈관의 경직도를 잘 나타낸 지표가 될 것으로 사료된다.

V. 결 론

기존의 단일 맥파측정방식은 모든 피험자에 대하여 동일한 단일가압방식으로 피험자의 혈류 및 혈관상태를 최적으로 반영하기 어렵고, 단순히 특징점만으로 AIx를 계산하기 때문에 기존 AIx 값만으로 혈관 경화도를 평가하는데 있어서, 신뢰성 및 문제점을 내포하고 있다. 이에 대하여 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하고, 새로운 혈관 경화도를 평가하기 위한 방법으로 제시하기 위해서, 정상혈압군에 대한 연령별 5단계 가압에 대한 혈류 및 혈관상태를 가장 잘 반영한 대표맥파를 선정하고, 이 대표맥파의 특징점을 추출하여 AIx를 계산하였다. 또한, 연령에 따른 대표맥파의 Aw 면적의 변화를 분석하여 나이 증가에 따른 변화추이를 확인하였다. 그 결과, 연령 증가에 따른 혈관의 경직으로 인하여 반사파가 진행과의 앞

부분에 합쳐지게 되고 높이변수 및 시간변수의 변화를 발생시킴으로써 연령증가에 따라 Aw의 면적을 증가시키는 것을 확인하였다. 연령 증가에 따른 AIx 값도 증가하는 것으로 확인되었으나, AIx는 단순히 맥파 높이변수(h)만을 이용하여 추출한 값으로 혈관 경직정도에 대한 경향만을 제시하는 반면, Aw값은 동맥경화에 따른 보다 정확한 혈관특성을 반영한다고 사료된다.

따라서 Aw의 면적이 혈관의 경직도를 판단할 수 있는 새로운 척도로써의 가능성을 시사함을 확인하였으며 Aw 면적 데이터를 AIx와 함께 혈관 경직도 평가방법으로써 보다 정확하게 진단할 수 있는 새로운 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 본 연구에서는 연령별 정상혈압군에 대한 분석으로 실제 동맥경화 환자를 대상으로 한 비교연구가 필요할 것으로 판단되며, Aw 면적이 혈관의 경직도를 판단할 수 있는 척도가 되기 위해서는 Aw의 면적을 변화시키는 다양한 요인에 대한 연구도 추가적으로 연구되어야 할 것이다. 또한, 한의학적 맥진에 있어서도, 실제 임상에서 적용하고 있는 고혈압이나, 동맥경화 등에 대한 맥진법과 본 연구에서 측정 분석된 데이터와의 상관성을 추출한다면, 보다 객관적인 한의학적 맥진이 이루어질 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 과학재단 일반연구자 지원(신진연구)에 의해 수행된 기초연구 사업임

참고문헌

1. 정봉교, 김지연. 스트레스 취약성 및 과제가 심혈관계 반응성에 미치는 영향. 한국심리학회지 건강. 2004 ; 9(4) : 935-52.
2. 조진만, 김종진, 신우승, 조은주, 박철수, 김범준, 외. 관상동맥 질환으로 입원한 한국인 환자의 임상양상과 예후인자. 대한내과학회지. 2007 ; 73(2) : 142-50.
3. Hirofumi Tomiyama, Mutsuo Yamazaki, Yasuhiro Sagawa, Kunihiko Teraoka, Tsunemichi Shirota, Yoshinori Miyawaki, et al. Synergistic effect of smoking and blood pressure on augmentation index in men, but not in women. Hypertension Research. 2009 ; 32(2) : 122-6.
4. Azra Mahmud, John Feely. Acute Effect of Caffeine on Arterial Stiffness and Aortic Pressure Waveform. Hypertension. 2001 ; 38(2) : 227-31.
5. Charalambos Vlachopoulos, Nikolaos Alexopoulos, Demosthenes Panagiotakos, Michael F. O'Rourke, Christodoulos Stefanadis. Cigar Smoking Has an Acute Detrimental Effect on Arterial Stiffness. Am. J. Hypertension. 2004 ; 17 : 299-303.
6. Marijke J. C. A. van Trijp, Joline W. J. Beulens, Willem J. W. Bos, Cuno S. P. M. Uiterwaal, Diederick E. Grobbee, Jenk F. J. Hendriks, et al. Alcohol Consumption and Augmentation Index in Healthy Young Men: The ARYA Study. Am. J. Hypertension. 2005 ; 18 : 792-6.
7. Kozo Hirata, Toshio Yaginuma, Michael F. O'Rourke, Masanobu Kawakami. Age-related Changes in Carotid Artery Flow and Pressure Pulses: Possible Implications for Cerebral Microvascular Disease. Stroke. 2006 ; 37(10) : 2552-6.
8. Giuseppe Schillaci, Massimo R. Mannarino, Giacomo Pucci, Matteo Pirro, Johny Helou, Gianluca Savarese, et al. Age-Specific Relationship of Aortic Pulse Wave Velocity With Left Ventricular Geometry and Function in Hypertension. Hypertension. 2007 ; 49(2) : 317-21.
9. Kenji Takazawa. Augmentation Index in Heart Disease. Am. J. Hypertension. 2005 ; 18 : 15s-8s.
10. 김경철, 강희정. 맥(脈) 의공학 연구방법론. 안산 : 대요메디(주). 2008 : 499.
11. 조영일, 유정열, 서상호, 이병권, 이상준, 권혁문. 생체유체역학(BIO FLUID MECHANICS). 서울 : 야스미디어. 2006 : 479.
12. Wilmer W. Nichols. Clinical Measurement of Arterial Stiffness Obtained From Noninvasive Pressure Waveforms. Am. J. Hypertension. 2005 : 3s-10s
13. Junichiro Hashimoto, Sadayoshi Ito. Some mechanical aspects of arterial aging: physiological overview based on pulse wave analysis. Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease. 2009 ; 3(5) : 367-78.
14. Michael F. O'Rourke, Wilmer W. Nichols. Aortic Diameter, Aortic Stiffness, and Wave

- Reflection Increase With Age Isolated Systolic Hypertension. *Hypertension*. 2005 ; 45(4) : 652-8.
15. Kelly R, Hayward C, Avolio A, O'Rourke MF. Noninvasive determination of age-related changes in the human arterial pulse. *Circulation*. 1989 ; 80 : 1652-9.
 16. Gary F. Mitchell, Helen Parise, Emelia J. Benjamin, Martin G. Larson, Michelle J. Keyes, Joseph A. Vita, et al. Changes in Arterial Stiffness and Wave Reflection With Advancing Age in Healthy Men and Women: The Framingham Heart Study. *Hypertension*. 2004 ; 43(6) : 1239-45.
 17. Gary E. McVeigh, Christopher W. Bratteli, Dennis J. Morgan, Cheryl M. Alinder, Stephen P. Glasser, Stanley M. Finkelstein, et al. Age-related Abnormalities in Arterial Compliance Identified by Pressure Pulse Contour Analysis : Aging and Arterial Compliance. *Hypertension*. 1999 ; 33(6) : 1392-8.
 18. T. Koivistoinen, T. Koobi, A. Jula, N. Hutri-Kahonen, O. T. Raitakari, S. Majahalme, et al. Pulse wave velocity reference values in healthy adults aged 26-75 years. *clin. Physiol. Funct. Imaging*. 2007 ; 27(3) : 191-6.
 19. Carmel M. McEniery, Yasmin, Ian R. Hall, Ahmad Qasem, Ian B. Wilkinson, John R. Cockcroft, et al. Normal Vascular Aging: Differential Effects on Wave Reflection and Aortic Pulse Wave Velocity. *Journal of the American College of Cardiology*. 2005 ; 46(9) : 1753-60.
 20. Merrill F. Elias, Michael A. Robbins, Marc M. Budge, Walter P. Abhayaratna, Gregory A. Dore, Penelope K. Elias. Arterial Pulse Wave Velocity and Cognition With Advancing Age. *Hypertension*. 2009 ; 53(4) : 668-73.
 21. Walter J. Rogers, Yong-Lin Hu, Douglas Coast, Diane A. Vido, Christopher M. Kramer, Reed E. Pyeritz, et al. Age-Associated Changes in Regional Aortic Pulse Wave Velocity. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2001 ; 38(4) : 1123-9.
 22. Katsuhiko Kohara, Yasuharu Tabara, Akira Oshiumi, Yoshinori Miyawaki, Tatsuya Kobayashi, Tetsuro Miki. Radial Augmentation Index: A Useful and Easily Obtainable Parameter for Vascular Aging. *Am. J. Hypertension*. 2005 ; 18 : 11s-4s.
 23. Francesco Fantin, Adriana Mattocks, Christopher J. Bulpitt, Winston Banya, Chakravarthi Rajkumar. Is augmentation index a good measure of vascular stiffness in the elderly?. *Age and Ageing*. 2007 ; 36(1) : 43-8.
 24. 권선민, 강희정, 이상훈, 임윤경, 이용흠. 측정 자세의 변화에 따른 맥의 변화 특성: 선 자세, 앉은 자세, 누운 자세. *경락경혈학회지*. 2009 ; 26(4) : 13-22.
 25. 권선민, 강희정, 임윤경, 이용흠. 5단계

가압에 대한 맥파 변화 분석에 의한 맥
패턴 분류와 부침맥(浮沈脈) 연구. 경락
경혈학회지. 2010 ; 27(1) : 13-22.