

동맥경화 평가를 위한 연령별 맥파 주요인자 분석

이나라 · 이승욱 · 김수병 · 이용흠

연세대학교 보건과학대학 의공학과 한의공학연구소

Analysis of Pulse Wave Parameters According to Aging for Arteriosclerosis Evaluation

Na-Ra Lee, Seung-Wook Lee, Soo-Byeong Kim, Yong-Heum Lee

Dept. of Biomedical Engineering, College of Health Science, Oriental medical Engineering Lab, Yon-Sei University

Abstract

Objectives : The aim of this study is to propose the W area of pulse (AW) as a new index which can confirm the arteriosclerosis by analyzing parameters of 5-level pressure pulse waveform measurement system for normotensive group according to aging.

Methods : We measured radial pulse waveforms of normotensive group (20 to 60 years old) using 3-dimensional pulse imaging analyser (DMP-3000, DAEMYOMEDI Co., Korea). And then we analyzed various parameters for sclerosis of the arteries such as Height (h1, h2, h3, h4, h5), Time (t1, t2, t3, t4, t5), AW, AW rate, Total area of pulse (At) and Augmentation Index (AIx).

Results : As a result of analyzing parameters according to the aging, h2, h3, AS (systolic area rate to AT), AIx and AW were increased but t2/t, t3/t, t5/t and AD (diastolic area rate to AT) were decreased.

Conclusions : We checked blood vessel conditions for normotensive group according to aging and confirmed various parameters. Also, we found that AW was analogous to AIx which has been used for diagnosing arteriosclerosis. Furthermore, we confirmed the usefulness of AW as a new parameter for checking vessel condition and characteristic compared with the AIx.

Key words : pulse waveform, 5-level pressure, arteriosclerosis, augmentation index (AIx), W area of pulse (Aw)

1. 서 론

최근 고령 사회 진입 및 당뇨, 비만 등으로 성인 병 환자들이 급증하고 있으며, 특히 고혈압, 뇌혈관 질환, 동맥경화, 심장질환 등 심혈관 질환으로 인한 질병 발생률이 증가하고 있다. 심혈관 질환의 원인으로는 스트레스, 고혈압, 고콜레스테롤, 중성

지방 과도, 흡연, 과체중, 운동부족 등이 있으며¹⁻⁴⁾ 심혈관 질환을 진단하기 위해 혈압 측정이 가장 먼저 시행된다. 그러나 최근에는 정상 혈압군 혹은 30세 이하의 낮은 연령층에서의 심혈관 질환이 증가하고 있어 혈압 측정방법만으로는 심혈관 질환의 위험도를 정확히 진단하고 평가하기 어려운 상황이다. 또한 심장마비로 사망한 사람들 중 50%만이 혈압과 콜레스테롤 수치에 문제가 있었다는 미국심장협회 AHA의 보고는⁵⁾ 심혈관 질환을 진단할 새로운 방법이 필요하다는 것을 시사하고 있다.

· 교신저자: 이용흠, 강원도 원주시 연세대길 1
연세대학교 보건과학대학 의공학과 백운관 418호
Tel. 033-760-2863, E-mail: koaim@yonsei.ac.kr
· 투고 : 2011/11/22 심사 : 2011/12/07 채택 : 2011/12/12

현재 혈압 측정과 동시에 혈류맥파를 이용하여 심혈관 질환을 진단하는 연구가 진행되고 있다⁶⁻⁸⁾. 맥파는 높이 변수, 시간 변수, 혈관 경화도 (Augmentation Index, AIx) 등 다양한 정보를 가지고 있으며 특히 혈관의 순응성, 혈관 벽의 탄성 등의 정보를 가지고 있어 혈관 특성을 평가할 수 있는 지표가 된다^{9,10)}. 이러한 맥파의 다양한 정보를 이용하여 혈관 질환과 맥파와의 상관관계를 분석하는 연구가 이미 진행되고 있으며^{11,12)} 특히 연령 증가에 따른 맥파 변화에 대한 많은 연구가 발표되었다^{13,14)}.

맥파는 서양의학에서뿐 아니라 동양의학에서도 오래 전부터 사용되어 왔으며 한의학에서는 맥의 시간적 특성과 공간적 특성을 반영하는 맥진으로 발전되어 왔다^{15,16)}. 즉, 맥진은 맥파의 시간적 개념에 3차원적인 맥동의 공간적 개념을 추가하여 맥파나 맥동의 변화 또는 이상을 감지하여 진단을 실시하는 방법이다. 이러한 맥파를 정량적으로 측정할 수 있는 맥파 분석기가 개발되었을 뿐만 아니라 맥파 분석기를 이용한 맥파 파라미터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어 서양의학의 맥파연구와 상당한 연관성을 갖는다¹⁷⁻²¹⁾. 그러나 동·서양 의학에서 활발한 맥파 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 기존 맥파 측정기들이 단일 가압 방식의 시스템이라는 한계점을 가지고 있는데, 이러한 단일 가압 방식은 개인별로 다양한 동맥혈관의 상태를 측정할 때 혈류 및 혈관 상태가 잘 반영된 정확한 맥파를 측정하기 어렵다. 또한, 맥파 정보 중 맥의 공간적 특성을 정확하게 평가하기 어렵다.

본 논문에서는 맥파 및 맥진 연구의 이러한 문제점들을 해결하기 위해 5단계 가압방식의 맥파측정기 DMP-3000(DAEYOMEDI Co., Korea)을 사용하여 20~60대의 연령별 정상혈압군에 대한 가압 단계별 혈관특성이 반영된 맥파를 추출하고 그 맥파 중 혈류 및 혈관 특성이 가장 잘 반영된 최적 맥파(대표맥파)를 선정한 후, 최적 맥파에 대한 주요 인자를 분석 하였다. 주요인자들 중에서 AIx는

혈관 경화도를 판단하기 위한 지표로 많이 사용되고 있으나 맥파의 높이변수(Height-parameters)에만 의존한 데이터로 AIx만을 가지고 혈관 경화도를 판단하기에는 어려움이 있다. 따라서 선정되어진 최적맥파를 이용하여 혈관경직도를 평가하기 위한 AIx와 맥파 전체면적(A_T)에 대한 주파(h1) 크기의 상위 1/3의 면적(A_W : W Area of pulse)을 분석하였다. 이와 같은 방법으로 A_W 를 새로운 고혈압 및 동맥경화 위험도 평가방법으로 제시하고, 정상혈압군에서 연령 증가에 따른 혈관 경화도의 변화를 A_W 를 통하여 분석함으로써 이를 평가할 수 있는 지표로써 적용가능성을 확인하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 맥파 주요인자

Fig. 1은 DMP-3000에서 측정되는 요골동맥에서의 정상 맥파 신호이다. 주파(h1)는 혈액 박출 시 동맥관의 확장에 의해 만들어지며 맥압의 크기와 비례한다. 심박출량이 크고 사혈속도가 빠르고 혈관 순응성이 높은 경우 급성사혈기 시간(t_1)이 매우 작고, 주파봉우리의 모양이 뾰족하게 나타난다. 중박전파(h3)는 동맥관이 확장되었다가 되돌아올 때 나타나는 중복파이다. 중박전파가 나타나는 시간과 파의 크기는 혈관 벽의 탄성 및 외부 저항력과 관련이 있다. 강중협곡(h4)은 판막이 닫히는 순간에 나타나며 파의 크기는 외부 저항력과 동맥판막 기능에 의해 영향을 받는다. 중박파(h5)는 갑자기 판막이 닫히면서 대동맥을 향해 흐르던 혈액이 막히면서 닫힌 부위의 용적이 증대되며 판막에 부딪혀 만들어지는 진동이다. h1, h2, h3, h4, h5의 단위는 div(digital value for pressure)이고, 급성사혈기 시간(t_1), 중박전파협곡 시간(t_2), 중박전파 시간(t_3), 수축기 시간(t_4), 중박파 시간(t_5)은 h1, h2, h3, h4, h5에 도달되는 데 걸리는 시간이며 맥동주기(t)는 맥파의 전체 주기 시간이며 시간 변수의

단위는 sec(second)이고, 고압시간(W)은 대동맥에서 심장 박출에 의해 고압력이 유지되는 시간으로 주파(h1)의 상위 1/3부위의 너비를 나타내며 주파(h1)의 상위 1/3 부위의 면적은 A_w (Area of W, 단위 : div^2)로 나타낸다. A_t (total area of pulse waveform, 단위 : div^2)는 맥파의 전체 면적을 의미한다.

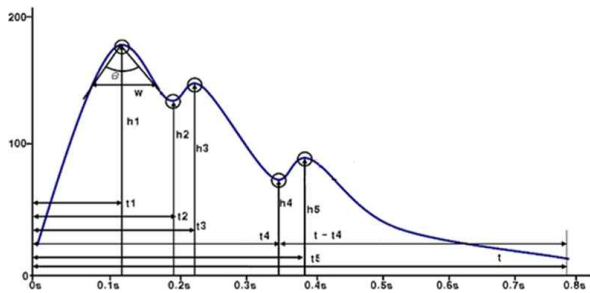


Fig. 1. Normal pulse waveform on radial artery and pulse wave parameters.

나이가 증가하면서 동맥은 탄력성이 감소하게 되는 반면 경직성은 증가한다. AIx는 이러한 동맥의 경직도를 평가하기 위한 방법 중 하나이다. AIx는 반사파에 의한 맥압 크기의 변화로 심장에서 혈액이 박출할 때 생기는 말초로 가는 진행파와 말초에서 돌아오는 반사파가 합쳐져서 만들어진다. 이 건은 반사파의 강도와 타이밍에 의해 주로 결정된다. 즉, 혈관의 탄성이 높으면 돌아오는 반사파가 수축기 뒷부분이나 이완기 근처에서 합쳐지고, 탄성이 낮으면 반사파가 빨리 돌아와 수축기 앞부분에서 합쳐지게 되어 수축기 혈압을 상승시키고 이완기 혈압을 낮추게 된다. 따라서 AIx는 좌심실 부하의 증가를 보여주며 혈관이 딱딱함을 나타내는 지표이고 심혈관계 질환의 위험을 예견하는 중요한 지표이다²²⁻²⁴. AIx는 반사파에 의한 혈압 상승분(ΔP)을 PP(pulse pressure)로 나눈 것으로 수축기 혈압의 파형성분의 해석에 의해 심장에 걸리는 부하를 정량적으로 평가할 수 있다²⁵.

2. 시험대상자 선정

심혈관 질환이 없으며 JNC VII(The Seventh Report

of the Joint National Committee)(Table 1)을 기준으로 하여 정상혈압군에 해당하는 20대~60대 남성 587명을 대상으로 시험을 실시하였다. 시험 전 혈관의 특성 변화에 영향을 줄 수 있는 운동이나 흡연을 금지하였으며 시험을 실시하기에 앞서 시험대상자에게 시험과정에 대해 충분히 설명하고 동의를 얻었다. 혈관 경화도와 밀접한 관계가 있는 중박전파(h3)는 AIx의 오차율의 큰 영향을 미치므로 전체 587명 중 h3가 나타나지 않은 257명은 제외하고 h3가 측정된 330명의 맥파 데이터를 이용하여 분석을 실시하였다.

Table 1. Classification of hypertension according to the Joint National Committee on the Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure guidelines

JNC-VII	Systolic (mmHg)		Diastolic (mmHg)
Normal	<120	and	<80
Prehypertension	120-139	or	80-89
Hypertension			
Stage I	140-159	or	90-99
Stage II	≥ 160	or	≥ 100

3. 시험 방법

시험대상자가 안정된 상태에서 맥파를 측정하기 위해 시험을 실시하기 전 앉은 상태에서 5분간 휴식을 취하였다. 맥파 측정 전 시험대상자가 정상혈압군이라는 시험 조건에 만족하는지 확인하기 위해 전자혈압계를 이용하여 혈압을 측정하였으며 모든 시험은 시험대상자가 앉은 상태에서 실시되었다. DMP-3000을 이용하여 시험대상자의 왼쪽 요골동맥에서 맥파를 측정하였다. 측정부위는 왼손의 요골돌기 부분으로 한의학에서 “좌관”으로 불리는 부위를 측정하였다. “관”부위는 한의학적인 의미를 가질 뿐 아니라 찾기 쉬운 위치에 있어 측정 위치 선정의 불분명으로 인한 시험의 오차를 줄일 수 있다. 5단계의 압력을 가하여 각각의 압력에 따

른 맥파를 측정하였다. 각 자세에서 측정부위인 “좌관”은 심장 높이에 위치하여 심장과의 높이 차이로 인한 맥파의 크기 변화가 발생하지 않고 자세 변화에 따른 맥파 변화를 측정할 수 있도록 설정하였다.

4. 분석 방법

연령에 따라 시험대상자를 5개의 그룹(20대, 30대, 40대, 50대, 60대)으로 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.

III. 결 과

1. 맥파 높이 변수 분석

Table 2는 연령에 따른 높이 변수(h1, h2, h3, h4, h5) 값을 보여주고 있다. 주파(h1)와 강중협곡(h4) 크기는 연령에 따른 규칙적인 변화를 찾아볼 수 없다. 그러나 중박전과협곡(h2)와 중박전과(h3)의 경우 연령이 증가함에 따라 그 크기가 증가하고 중박과(h5)의 크기는 연령이 증가함에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Table 2의 데이터는 개인에 따라 맥파의 크기가 다른 특성을 고려하지 않은 데이터로 중박전과협곡(h2), 중박전

과(h3) 및 중박과(h5)의 규칙적인 변화가 연령에 따른 변화인지 단지 개인의 맥파 크기 특성에 의해 나타난 데이터인지 알 수 없다. 따라서 개인의 맥파 크기 특성을 배제한 분석을 위해 주파(h1)에 대한 각 높이 변수의 비율을 계산, 이를 이용하여 분석하였다. 이는 주파(h1)의 크기가 같다는 전제 하에 분석을 실시함으로써 좀 더 객관적인 분석이 될 수 있다.

Table 2. Changes of Height-parameter by aging (div)

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

*p < 0.001, †p < 0.05

Fig. 2는 주파(h1)에 대한 각 높이 변수 비율의 변화를 보여준다. Table 2의 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 있었으며 주파(h1)에 대한 비율을 가지고 분석함으로써 중박과(h5)만을 가지고 분석한 경우보다 더 유의한 결과가 나타났다.

동맥경화 평가를 위한 연령별 맥파 주요인자 분석

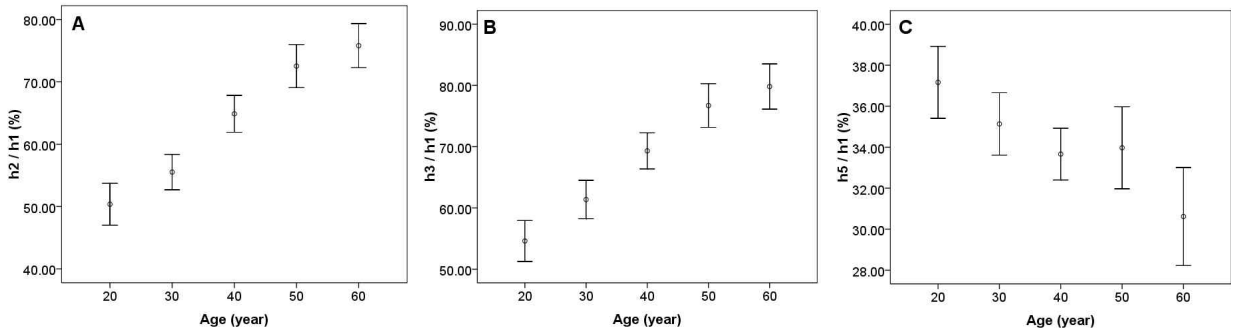


Fig. 2. The effect of aging on h-parameters.

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. 맥파 시간 변수 분석

Table 3은 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(Fig. 3). 급성사혈기 시간(t1), 수축기 시간(t4),

이완기 시간(t-t4)에서는 유의한 변화가 없었으나 중박전과협곡 시간(t2)와 중박전과 시간(t3)의 비율은 연령이 증가할수록 점점 감소하는 것을 확인하였다. 이는 수축기 시간과 관계없이 연령이 증가할수록 중박전과가 나타나는 시간이 서서히 빨라지는 것을 의미한다. 중박과 시간(t5)의 비율도 연령의 증가에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다.

Table 3. Changes of Time-parameter rate to t by aging(%)

age	t1/t	t2/t*	t3/t*	t4/t	t5/t†	(t-t4)/t
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 < 0.05

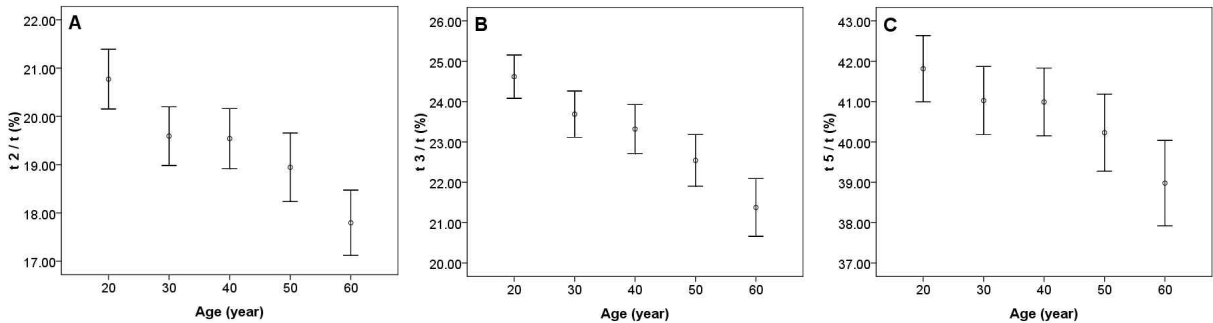


Fig. 3. The effect of aging on t-parameters.

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. Valuables represent means±S.D. (p=0.05)

3. 혈관경화도(AIx) 분석

AIx는 반사파가 진행파에 더해질 때 나타나는 중박파(h3)와 주파(h1)의 차를 맥파의 높이(h1 혹은 h3)에 대한 비율로 나타낸 것으로 혈관의 경직도를 나타내는 주요 척도로 이용되고 있다. AIx 분석결과, Table 4과 Fig. 4(A)와 같이, AIx는 연령이 증가함에 따라 함께 증가하는 것으로 확인되었다. 이미 진행되어진 연구의 결과와 동일하며 혈관경화가 진행되고 있음을 의미하는 것으로 보인다.

Table 4. Change of AIx(Augmentation Index) by aging

age	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

4. 혈관경화도(AW) 분석

Table 5과 Fig. 4(B)는 고압시간(W)과 관련된 변수들의 변화이다. W/t는 전체 맥파 주기(t)에 대한 고압시간(W)의 비율을 나타낸 것으로 연령에 따른 뚜렷한 변화를 찾을 수 없다. 그러나 Aw의 면적(Area of W)은 연령이 증가함에 따라 유의성 있게 증가하였으며 그에 따라 편차가 크에도 불구하고 높은 유의수준 내에서 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다. AT의 변화도 연령증가에 따라 증가하고 있으나, 이는 Aw증가로 인한 변화로 판단된다.

Fig. 5는 각 연령에 따라서 전체면적(AT)에 대한 W의 면적(Aw)을 그래프로 나타낸 것으로 연령별 평균 기울기를 함께 보여주고 있다. 모든 연령에서 전체면적에 대한 Aw의 비율은 개인에 따라 다양하게 나타나며 연령이 증가할수록 그 기울기가 커지는 것을 알 수 있으며 50대와 60대에서는 기울기가 매우 유사하게 나타났다. 이는 연령증가

로 인한 혈관 노화 및 경화가 진행되고 있음을 의미하며, 혈관 경화가 충분히 진행된 일정 연령대 이후에는 Aw에 큰 변화가 발생하지 않는다는 것을 보여주는 것으로 사료된다. 동일 AT에 대한 Aw는 2개의 기울기를 가지며, 이는 동일 AT에 대한 Aw의 기울기가 클수록 수축기 동안의 혈관에 미치는 혈압과 혈류량의 증가를 의미하는 것으로 연령증가에 따른 고혈압과 동맥경화의 위험도를 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 5. Changes of W-parameter by aging

age	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

* p < 0.001

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

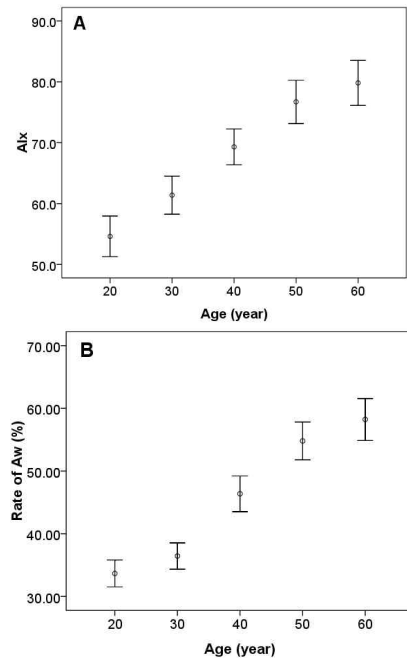


Fig. 4. The effect of aging on AIx(Augmentation Index) and Aw(Area of W).

A: Changes of AIx by aging. B: Changes of AW rate to AT by aging. Both AIx and rate of AW increase by aging. Values represent means±S.D. (p=0.05)

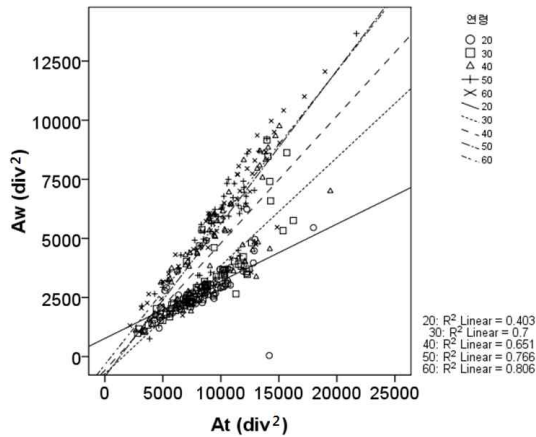


Fig. 5. The correlation between AW(area of W) and AT(total area) (p=0.05).

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

5. AW rate에 영향을 미치는 맥파 변수 분석

상관분석의 결과는 Table 6에서 보여주고 있으며 결정계수 R²값이 0.916으로 위의 4개의 독립변인이 AW rate에 미치는 영향을 살펴보기 위한 이모형을 91.6% 설명해 주고 있다. 각 변수가 AW rate에 미치는 영향은 Beta값을 통해 확인할 수 있으며 모두 유의수준 0.001내에서 유의한 값을 가지므로 W rate, t3 rate, 주파의 각, h3 rate은 AW rate에 영향을 미치는 변수임을 확인할 수 있다.

Table 6. The effects of W rate, t3 rate, and angle of h1 on AW rate (multiple regression analysis)

종속변인	독립변인	B	SE	Beta	t	
AW rate	W rate	2.754	.083	1.115	33.253*	R ² =.916 F=725.204*
	t3 rate	-1.216	.108	-.242	-11.270*	
	주파의 각	-.124	.019	-.163	-6.636*	
	h3 rate	-.140	.029	-.154	-4.778*	

*p<0.001

IV. 고 찰

본 연구에서는 연령 증가에 따른 맥파 특성의 변화를 관찰하였다. 혈액을 심장으로 부터 혈관으로 내보내며 혈액이 대동맥을 향해 나갈 수 있도록 하는 원동력은 대동맥과 좌심실 사이의 압력차이다. 대동맥의 압력이 크게 떨어져 좌심실과 큰 압력차를 가지게 되면 이로 인해 혈액이 빠른 속도로 대동맥을 향해 박출된다. 이때 대동맥은 탄력이 충분한 혈관 벽을 가지고 있어 수축기 시간 동안 심장으로 부터 박출된 혈액을 혈관에 저장하였다가 더 이상 심장이 혈액을 내보내지 않는 이완기 시간에도 동일한 양의 혈액을 혈관에 공급한다. 그러나 계속되는 심장의 박출과 대동맥의 팽창은 대동맥 벽의 탄력성을 잃게 하며 이런 과정을 통해 동

맥의 경화가 발생한다.

맥파의 변수 중 중박전파(h3)는 혈관 벽의 탄성 및 외부 저항력과 관련된 변수로 위에서 설명한 동맥의 경화 정도를 보여주는 파라미터로 볼 수 있다. 중박전파(h3)의 크기가 증가한다는 것은 그만큼 혈관 벽이 단단해져 있다는 것을 말한다. 중박전파(h3)는 심장의 혈액 박출에 의해서 만들어진 진행파와 말초혈관으로부터 반사되어 돌아오는 반사파가 합쳐지면서 형성되는데 혈관의 탄성력이 적어질수록 반사파가 빠르게 돌아오게 되고 이로 인해 중박전파(h3)의 위치가 맥파의 이완기로부터 수축기 방향으로 즉, 점점 주파(h1)와 가까워진다. 이 때 진행파와 반사파가 합쳐져 만들어진 중박전파(h3)의 크기가 증가할 뿐만 아니라 주파(h1) 또한 반사파의 빠른 등장에 의해 영향을 받

아 더 큰 값을 가지게 된다. 중박전과협곡(h2) 크기의 증가 또한 주파(h1) 및 중박전과(h3) 크기의 증가에 의해 수반된다. 중박전과 시간(t3)이 빨라지면서 중박전과(h3)는 주파(h1)와 가까워지는 반면 중박과(h5)와는 멀어져 중박과(h5)의 크기는 반사파의 등장이 빨라질수록 감소한다.

본 연구에서는 이러한 이론적 배경을 바탕으로 정상혈압군 내에서 연령 증가에 따른 맥파의 특성 변화를 관찰하였다. 연령이 증가함에 따라 중박전과협곡(h2), 중박전과(h3) 및 중박과(h4)가 나타나는 시간이 빨라지는 것을 확인하였다. 또한 주파(h1)의 크기에 대한 중박전과협곡(h2)과 중박전과(h3)의 비율은 증가하며 중박과(h5)의 비율은 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 중박전과협곡(h2), 중박전과(h3) 및 중박과(h5)의 이러한 특성은 앞서 설명된 동맥의 경화에 의해 나타나는 특성으로 본 연구의 결과는 정상혈압군 내에서도 연령 증가에 따른 혈관의 경화 특성이 나타남을 보여준다. 이는 동맥의 경화가 특별한 질환이 없는 사람에서도 연령이 증가함에 따라 나타나며 맥파의 관찰을 통해 혈압 측정만을 통해서 알 수 없는 혈관의 경화 정도를 판단할 수 있음을 의미한다.

혈관 탄성의 감소로 발생하는 높이변수(h) 및 시간변수(t)의 이러한 변화는 면적의 변화로도 나타난다. W의 너비는 연령의 증가에 따라 변화가 나타나지 않았음에도 불구하고 A_w의 면적에는 큰 변화가 있는 것을 확인할 수 있다. 반사파가 빨라지면서 중박전과(h3)가 맥파의 수축기에 가까워지고 h1의 크기에 영향을 미치게 되지만 이러한 변화는 W의 너비에 영향을 미치지 못한 것으로 보인다. 이는 혈관의 경화가 연령이 증가함에 따라 나타나긴 하지만 시험대상자들이 정상혈압군에 해당하므로 혈관 경화의 정도가 비교적 심하지 않아 h3의 당겨진 시간이 W의 너비에 영향을 미치지 못한 것으로 보인다. 그러나 고압시간(W)의 상위 면적(A_w)은 큰 변화를 가지며 이는 중박전과(h3), 중박전과 시간(t3) 이외에 다른 파라미터가 A_w의

변화에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

A_w 증가는 전체 면적에도 영향을 미치며 본 연구의 결과에서도 20대를 제외한 모든 연령에서 연령이 증가함에 따라 전체 면적 또한 증가하는 것을 확인하였다. 반사파가 되돌아오는 시간이 빨라짐으로 인한 중박전과(h3) 크기의 증가는 전체 면적에 대한 수축기 면적 비율의 증가시키는 반면, 크기가 감소된 중박과(h5)는 수축기 면적 비율을 감소시킨다. 전체면적(A_T)에 대한 A_w를 분석하였을 때 연령이 증가함에 따라 A_w의 비율이 증가하는 사실을 알 수 있다. 이는 A_w의 면적의 증가가 단지 전체면적의 증가에 따른 변화가 아니며, 혈관의 특성 변화로 인해 주파의 모양의 변화가 발생하여 반사파의 시간이 빨라져 A_w의 면적을 증가시킨다는 것을 의미한다.

A_w의 변화가 혈관의 경화 정도를 확인할 수 있는 척도로 사용될 수 있을지 확인하기 위해 혈관의 경화도를 나타내는 AIx의 연령에 따른 변화를 함께 분석하였다. AIx 또한 A_w와 같이 반사파의 시간이 빨라짐으로 인해 영향을 받게 된다. 주파(h1)의 크기는 연령의 증가와는 관계없이 개인의 맥파 특성에 따라 다양한 크기로 나타나는 데에 비하여 주파(h1)에 대한 중박전과(h3) 및 중박전과협곡(h2)은 연령 증가에 따라 급격히 증가하는 경향을 보이게 된다. 이같이 맥파의 크기에는 유의한 변화가 없으나 중박전과협곡(h2)의 크기가 증가하는 현상으로 인하여 AIx가 연령에 따라 증가하게 되는 것이다. 이러한 변화는 연령 증가에 따른 A_w 면적의 변화와 유사하게 나타나며 이는 A_w 면적이 동맥의 경화도를 측정할 수 있는 척도로서의 가능성을 시사한다. 또한 AIx는 반사파의 빠른 진행으로 인한 높이 변수의 증가만이 고려된 데이터에 불과하나 A_w의 면적 데이터는 반사파의 빠른 진행으로 인한 높이 변수 및 시간 변수가 함께 반영된 데이터임을 고려할 때 보다 혈관의 경화도를 잘 나타낸 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다.

AIx는 주파(h1)에 대한 중박전과(h3)의 비율로

계산되며 따라서 높이 변수의 변화에 크게 의존하는 변수이다. 따라서 본 연구에서는 높이 변수에 크게 의존하는 AIx와는 A_w rate의 경우 높이 변수와 그 외 어떤 맥파 변수들이 그 값에 영향을 미치는지 확인하기 위하여 다양한 변수들을 가지고 다중회귀분석을 실시하였다. 높이변수 및 시간변수 뿐 아니라 상대적으로 AIx에는 영향을 미치지 않을 것으로 생각되는 파라미터인 주파너비(W), 주파의 각 등의 변수를 분석에 이용하였다. 그 결과 높이변수, 시간변수, 주파너비(W) 및 주파의 각이 A_w rate에 영향을 미치며 회귀 모형을 90%이상 설명할 수 있음을 확인하였다.

높이 변수의 크기 변화는 혈관의 경화로 인해 말초로부터 되돌아오는 반사파의 크기 및 속도 변화로 발생한다고 볼 수 있다. 그러나 주파의 각의 변화는 주파의 형태 변화를 대변하는 것으로 볼 수 있으며 진행파의 형태의 변화라고 생각된다. 따라서 AIx는 높이 변수의 변화에 의해 표현되며 A_w rate은 이러한 높이 변수의 변화로 인해 나타나는 주파너비(W) 비율의 변화 외에도 주파의 각의 변화 등을 포함하고 있는 것을 알 수 있다.

이는 맥파를 진행파와 반사파의 두 개의 파형으로 생각해 볼 때 AIx의 변화는 반사파의 변화에 따른 영향을 보여주고 있으며 A_w rate의 변화는 주파의 각 등의 변화를 반영하여 반사파 외에도 진행파의 변화에 따른 영향을 함께 보여주고 있는 것으로 생각된다. 또한 진행파는 보다 대동맥쪽(심장에 가까운 쪽)의 혈관 상태를 반영할 것으로 보이나 반사파는 그에 비해 심장에서 보다 먼 쪽(동맥, 세동맥 등)의 혈관 상태를 반영할 수 있을 것으로 생각되어 A_w rate가 AIx가 반영하지 못한 혈관의 또 다른 상태를 반영할 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구에서는 기존의 단일 맥파 측정방식에 의

한 맥파 분석으로 인해 발생하는 신뢰성 등의 문제점을 보완하고, 동맥의 경화 정도를 평가할 수 있는 새로운 평가방법을 제시하고자 하였다. 이에 5단계 가압 방식의 시스템을 이용하여 연령 증가에 따른 혈관 상태를 평가하기 위한 연구를 실시하였다. 정상 혈압군에서 연령 증가에 따른 다양한 맥파 파라미터를 분석하였으며 특히, A_w 의 변화를 분석하였다. 그 결과, 연령증가에 따른 A_w 의 면적 증가를 확인하였으며, A_w 가 높이변수와 시간변수를 포함하는 파라미터이며, 중박전파(h3) 비율, 중박전파 시간(t3) 비율, 주파너비(W)와 상관관계를 가지는 파라미터이므로 기존의 AIx와는 다르게 혈관의 특성을 진단할 수 있는 가능성이 있음을 확인하였다. 그러나 A_w rate에 영향을 미치는 맥파의 변수가 복잡적이고 각각의 변수가 의미하는 혈관 특성에 대한 명확한 규정을 내릴 수 없기 때문에 A_w rate이 무엇을 의미하는지에 대해 성급한 판단을 내릴 수 없다. 따라서 다양한 질병을 가진 환자군 혹은 다양한 연령대의 시험대상자들에 대한 시험을 실시하고 데이터를 구축하여 A_w rate에 대한 더 다양한 연구가 필요하다. 이후 A_w rate가 의미하는 것이 무엇인지가 보다 명확해 진다면 AIx와 함께 혈관 상태를 진단하기 위한 중요한 지표로 이용될 수 있을 것으로 생각되며 나아가 AIx로는 알 수 없었던 새로운 혈관 정보 또한 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 한국과학재단 일반연구자 지원(신진연구)에 의해 수행된 기초 연구 사업임 [과제고유번호2009-0067323]

참고문헌

1. Tomiyama H, Yamazaki M, Sagawa Y, Teraoka K, Shirota T, Miyawaki Y, 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.
2. Azra Mahmud, John Feely. Acute Effect of Caffeine on Arterial Stiffness and Aortic Pressure Waveform. *Hypertension*. 2001 ; 38(2) : 227-31.
 3. Van Trijp MJCA, Beulens JWJ, Bos WJW, Uiterwaal CSPM, Grobbee DE, Hendriks HFJ, et al. Alcohol Consumption and Augmentation Index in Healthy Young Men: The ARYA Study. *Am J Hypertension*. 2005 ; 18 : 792-6.
 4. Chung BK, Kim JY. The Effects of Stress Vulnerability and Task on Cardiovascular Reactivity. *The Korean Journal of Health Psychology*. 2004 ; 9(4) : 935-52.
 5. American Heart Association, 2003, Heart and Stroke Statistical Update, Dallas: American Heart Association, 2002.
 6. Hirata K, Yaginuma T, O'Rourke MF, Kawakami M. Age-related Changes in Carotid Artery Flow and Pressure Pulses: Possible Implications for Cerebral Microvascular Disease. *Stroke*. 2006 ; 37(10) : 2552-6.
 7. Schillaci G, Mannarino MR, Pucci G, Pirro M, Helou J, Savarese G, et al. Age-Specific Relationship of Aortic Pulse Wave Velocity With Left Ventricular Geometry and Function in Hypertension. *Hypertension*. 2007 ; 49(2) : 317-21.
 8. Takazawa K. Augmentation Index in Heart Disease. *American Journal of Hypertension*. 2005 ; 18(1) : 15-8.
 9. 김경철, 강희정. 맥(脈) 의공학 연구방법론. 안산 : 대요메디(주). 2008.
 10. 조영일, 유정열, 서상호, 이병권, 이상준, 권혁문. 생체유체역학(BIO FLUID MECHANICS). 서울 : 야스미디어. 2006.
 11. Nichols WW. Clinical Measurement of Arterial Stiffness Obtained From Noninvasive Pressure Waveforms. *American Journal of Hypertension*. 2005 ; 18 : 3-10.
 12. Hashimoto J, Ito S. Some mechanical aspects of arterial aging: physiological overview based on pulse wave analysis. *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*. 2009 ; 3(5) : 367-78.
 13. O'Rourke MF, Nichols WW. Aortic Diameter, Aortic Stiffness, and Wave Reflection Increase With Age Isolated Systolic Hypertension. *Hypertension*. 2005 ; 45(4) : 652-8.
 14. 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.
 15. 홍순석. 중의진단학. 1판. 서울 : 군자출판사. 2009 : 131-73.
 16. 강희정, 김경철. 전통맥진의 현대적 객관화를 위한 3차원 맥파 진단시스템 개발. *동의한의연구*. 2005 ; 9 : 19-24.
 17. 허웅, 한순천, 박영배. 맥동파의 특징점 검출. *대한한의진단학회지*. 2000 ; 4(2) : 66-70.
 18. 신상훈, 임혜원, 박영재, 박영배. 심혈관 노화가 맥상에 미치는 영향. *대한한의진단학회지*. 2005 ; 9(1) : 59-68.
 19. 신병철, 이시형. 맥진기를 이용한 중풍환자의 임상적 고찰. *대한동의병리학회*. 1999 ; 13(2) : 123-7.
 20. 박영배. 침자극이 맥파에 미치는 영향. *경희의학*. 1986 ; 2(4) : S131-S133.
 21. L. Sherwood. *Human Physiology*. Fifth Edition, Thomson.
 22. O'Rourke M. Arterial Stiffness Systolic Blood Pressure, and Logical Treatment of Arterial Hypertension. *Hypertension*. 1990 ; 15(4) :

동맥경화 평가를 위한 연령별 맥파 주요인자 분석

- 339-47.
23. F. J. Callaghan, L. A. Geddes, C. F. Babbs, J. D. Bourland. Relationship pulse-wave velocity and arterial elasticity. *Med. & Biol. Eng. & Comput.* 1986 ; 24 : 248-54.
24. 박정배. 맥파형 분석 측정의 의의. *임상내과.* 2006 ; 4(7) : 46-50.
25. Wilkinson IB, MacCallum H, Flint L, Cockcroft JR, Newby DE, Webb DJ. The influence of heart rate on augmentation index and central arterial pressure in humans. *Journal of Physiology.* 2000 ; 525(1) ; 263-70.