

고조파 감소에 따른 지침용적맥파 파형의 변화

한경숙 · 남동현 · 신상훈* · 박영재 · 박영배

경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과교실, *상지대학교 한방의료공학과

[Abstract]

Change of the Finger Photoplethysmographic Pulse Shape According to Decrease of Harmonics

Kyung-sook Han, Tong-hyun Nam, Sang-hoon Shin*, Young-Jae Park, Young-bae Park

*Dept. of Biofunctional Medicine and Diagnosis, College of Oriental Medicine,
Kyunghee University*

**Dept. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University*

Objectives:

The aim of the present investigation was to determine whether the finger photoplethysmographic waveform of a healthy young man will become analogous to those of healthy old men when the photoplethysmographic harmonic components in the young man decrease.

Methods and Results:

The finger photoplethysmography was measured in 21 old men over the age of 60 years and a young men. We acquired the representative pulse waveform of old man by averaging the finger photoplethysmographic waveforms measured in the old men. after the photoplethysmographic harmonic components in the young man were diminished with notch filtering, we compared the representative pulse waveform of old man and the pulse waveforms of which the harmonic components decreased in the young man. The finger photoplethysmographic waveform of the young man became analogous to those of the old men as the photoplethysmographic harmonic components in the young man were diminished with notch filtering.

Conclusions:

Decrease of the second harmonic component may be a precondition of typical age-related change of the pulse waveform.

Key Words: Photoplethysmography, spectrum analysis, harmonics

*교신저자 : 박영배 / 소속 : 경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과교실

TEL : 02-958-9195 / E-mail : bmppark@khu.ac.kr

I. 緒 論

지침용적맥파(finger photoplethysmography or digital volume pulse of digit; PPG or DVP)는 광학기술을 기반으로 하여 손끝 미세순환계의 맥동성 혈액용적 변화를 측정하는 기술 중의 하나로서 한의학적 관점에서는 絡脈과 밀접한 관련이 있다. 지침용적맥파는 파형분석을 통해 전신순환계의 특성을 간편하고 비침습적으로 파악할 수 있는 것으로 알려져 있다¹⁾. 지침용적맥파의 파형분석에서 연령증가에 따른 지침용적맥파의 특징적인 파형변화는 지금까지 잘 기술되어졌으며, 몇몇 지표들이 혈관노화의 지표로서 활용될 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다¹⁻⁴⁾. 지침용적맥파는 파형분석을 통해 간편하게 혈관의 특성을 파악할 수 있다는 장점에도 불구하고, 밋밋한 파형으로 인한 변곡점 인식의 어려움^{5,6)}, 교감신경 활동성과 기온에 의한 영향^{7,8)}, 지침용적맥파 신호의 불안정성, 사용하는 맥파 신호의 주파수 대역 불일차이에 의한 파형의 변형⁹⁾ 등으로 인해 임상적 유용성에 회의적인 견해가 많았다. 이러한 문제점을 해결하고 지침용적맥파의 특성을 더 자세하게 이해하기 위한 새로운 시도로서, 일정한 시간동안 측정된 지침용적맥파 신호에 대해 푸리에 변환을 이용하여 여러 주파수 성분들을 분리해내는 연구들이 진행되어 왔다¹⁰⁻¹³⁾.

지침용적맥파의 스펙트럼 분석법은 파형분석법에 비해 변곡점 인식의 어려움, 기저선의 불안정성, 주파수 대역의 불일치와 같은 파형분석법에서 흔히 접하게 되는 문제에 있어서 보다 자유롭다. 그러나 지금까지 지침용적맥파에 대한 주파수영역 연구는 단편적으로만 이루어져 왔으며, 지침용적맥파 신호에서 분리된 각각의 특정 푸리에 성분들이 연령증가에 따라 어떻게 변하는지 이해하기 위한 선행연구는 매우 부족하였으며, 따라서

이러한 푸리에 성분들이 어떤 심혈관계 요소들과 관련이 있는지에 대해서 아직 우리는 잘 이해하지 못하고 있다. 이는 압맥파(pressure pulse) 연구의 경우에 연구초기 단계부터 주파수영역에서의 연구가 이루어졌던 것과 비교해 볼 때 이례적인 것이라 할 수 있겠다¹⁴⁾. 한의학 분야에서도 압력맥파의 파형분석은 전통적인 맥진연구에 있어서 중요한 이론적 배경을 제공하므로 중국을 포함하여 우리나라에서도 70년대부터 다양한 연구가 이루어져 왔으나¹⁵⁾, 용적맥파 파형분석에 대한 연구는 상대적으로 부족하였다.

이에 저자는 젊은 남성의 지침용적맥파 파형이 고조파 성분의 감소함에 따라 어떻게 변화하는지 확인하고, 고조파 성분이 감소된 지침용적맥파가 노령자에게서 검출되는 맥파 파형과 유사한지 여부를 결정하기 위해, 고조파 성분이 감소된 지침용적맥파와 60세 이상의 남성을 대상으로 검출한 고연령군 대표파형과의 파형 상관분석을 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

경희의료원 동서종합진센터를 방문한 자들 중에서 실험에 동의한 60세 이상의 남성 50명과 19세 남성1명을 대상으로 지침용적맥파를 측정하였다. 건강인을 대상으로 선정하기 위해 다음과 같은 조건을 만족하는 경우 분석대상에서 제외하였다.

제외조건 : 고혈압으로 현재 약물을 복용 중인 자; 당뇨병, 뇌혈관질환, 허혈성 심장질환, 심장판막질환의 과거력이 있는 자; 부정맥이 있는 자; 만성 신장질환의 과거력이 있는 자; 사지에 진전(limb tremor) 또는 기형(deformation)이 있는 자;

Raynaud's phenomenon이 있는 자.

2. 지침용적맥파 측정

피검자는 건진센터에 방문하기 12시간 전부터 금식을 하였으며, 건강검진을 받은 후 별도로 마련된 기온 24-26℃, 기습 45-65%의 조용한 검사실에서 혈압, 신장, 체중 그리고 지침용적맥파를 측정하였다. 모든 피검자는 지침용적맥파 측정하기 최소한 4시간 전부터 금연하였고, 지침용적맥파는 10분동안 앙와위에서 안정을 취한 후 맥파계(PT-300, Fukuda Denshi, Japan)를 이용하여 왼손의 식지끝에서 측정되었다. 외부광을 차단하기 위해 검은 천을 좌측 손전체를 덮은 후, 호흡을 안정시킨 상태에서 PTG는 1분동안 측정하였다. PTG의 아날로그 신호는 맥파계의 증폭장치를 이용하여 증폭한 후 변환기(MP100A, BIOPAC System, USA)를 이용하여 디지털 신호로 변환하였다. Acquisition rate는 500Hz로 하였으며, 변환된 디지털 신호는 PC로 보내져 AcqKnowledge version 3.2.2(BIOPAC System, USA)를 이용하여 저장하였으며, 호흡에 의한 fluctuation과 60 Hz 잡음을 없애기 위해 측정된 지침용적맥파 신호는 0.5-10 Hz의 주파수 대역을 가지는 신호만 얻었다.

3. 고연령군의 지침용적맥파 대표파형

60세 이상의 고연령군에 대한 대표적인 지침용적맥파를 얻기 위해, 1분동안 측정된 지침용적맥파 신호에서 안정된 1개 맥파주기를 선택하여 따로 저장하였다. 선택된 지침용적맥파 신호는 cutoff frequency를 10Hz로, number of coefficients를 200으로 하여 digital low pass filtering 후, MATLAB version 5.3.0(The MathWorks Inc., USA)을 이용하여 평균 맥박수를 구하고, 구

해진 평균 맥박수에 맞추어 맥박주기를 동일하게 하여 지침용적맥파 신호를 averaging하였다.

4. 지침용적맥파의 주파수분석

19세 남성 1명에 대하여 측정된 1분의 지침용적맥파 신호에 대하여 중에서 초반부 약 15초 동안의 신호는 불안정한 경우가 많았기 때문에, 후반부 30초동안의 신호만 사용하여 파워 스펙트럼 분석(power spectral analysis)을 실시하였다. 지침용적맥파 신호를 빠른 푸리에변환(fast Fourier transformation; FFT)할 때, 스펙트럼 바이어스를 최소화하기 위해 Hamming window를 적용하였다. 지침용적맥파 스펙트럼에서 맥박수에 해당하는 주파수 부근에 기준주파수인 1번째 고조파가, 기준주파수의 각 배수가 되는 주파수에서 고조파들이 관찰되었고, 각각의 고조파는 Chuang의 방법에 따라 저주파에서 고주파 순으로 2번째, 3번째... 고조파로 정의하였다¹²⁾. 6번째 이상의 고조파는 너무 작아서 식별하기가 어려웠기 때문에, 모든 데이터는 6번째 고조파까지만 구하였다.

5. 고조파의 제거

고조파 성분의 선별적인 제거를 위해 지침용적맥파의 파워 스펙트럼 분석을 통해 먼저 각 고조파 성분의 주파수를 구하였다. 원하는 고조파 성분의 제거를 위해 notch filter를 이용하였으며, 이때 Q값은 100으로 하여 고조파 성분이 완전히 제거되지 않고 감소만 되도록 하였다. 제거된 고조파에 따라 2종류의 지침용적맥파 신호 set를 구하였는데, A set는 2번째 고조파부터 3, 4, 5, 6번째 고조파 순으로 고조파를 제거하였고, B set는 2번째 고조파는 제거하지 않고, 3번째 고조파부터 4, 5, 6번째 고조파 순으로 고조파를 제거하였다.

6. 평가지표 및 통계분석

분석에 이용된 30초의 지침용적맥파 신호 중 15초 부근에서 3개의 맥파주기를 취하여 고조파를 제거한 후의 맥파 파형의 변화를 확인하였다. 고조파 제거에 따라 변화된 맥파 파형이 60세 이상의 고연령군에 대한 대표파형과 얼마나 유사한지를 정량적으로 평가하기 위해, 선택된 3개의 맥파주기 중 2번째 맥파주기와 고연령군 대표파형간의 waveform correlation analysis를 실시하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상의 임상적 특성

모집된 60세 이상의 남성 50명 중 최종적으로

21명을 대상으로 분석하였으며, 21명의 임상적 특성은 Table 1과 같다. 연령분포는 60세부터 79세까지였다. 최종분석에 제외된 원인으로는 다음과 같았다; 고혈압으로 인한 약물복용(19명), 당뇨병(8명), 허혈성 심장질환(1명), 심방세동(1명).

2. 고연령군의 지침용적맥파 대표파형

노화에 따른 맥파 파형의 변화는 크게 승각시 간의 연장, 충격파(systolic peak)와 중박파(diastolic peak) 사이의 시간축 간격 감소, 중박파와 절흔의 높이 상승으로 특징지어지는데, 본 연구에서 얻은 60세 이상 남성의 대표파형도 이러한 특성을 나타내는 삼각파 형태였다(Figure 1).

Table 1. Characteristics of Male Subjects

	Old men ≥ 60 years	Young man
Number of Subject	21	1
Age (years)	64.5±4.8	19
Height (cm)	166.1±6.6	178
Weight (kg)	65.1±8.2	72
Body mass index (kg/m ²)	23.6±2.6	22.7
Systolic BP (mmHg)	121.9±21.8	120
Diastolic BP (mmHg)	72.9±11.9	70
Pulse rate (beats/min)	65.6±9.7	76
Total cholesterol (mg/dl)	189.1±37.9	151
Triglyceride (mg/dl)	164.6±73.0	67
Total lipid (mg/dl)	583.3±126.9	410
Phospholipid (mg/dl)	197.5±34.0	151
HDL cholesterol (mg/dl)	39.7±8.7	40
Glucose (mg/dl)	93.4±16.8	95
BUN (mg/dl)	16.0±3.6	12
creatinine (mg/dl)	1.00±0.29	0.9
Hemoglobin (g/dl)	14.3±1.1	13.9
Hematocrit (%)	42.0±3.1	41.8

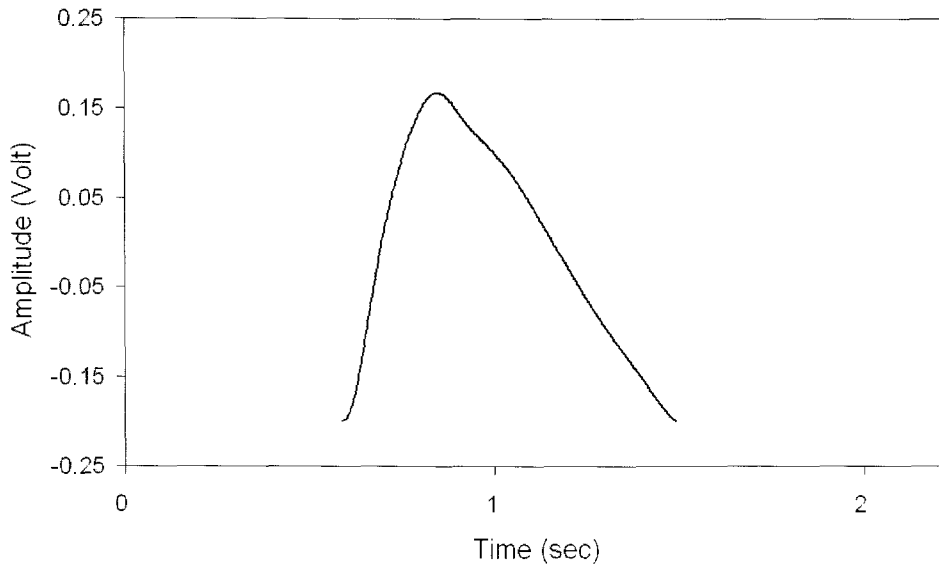


Figure 1. The representative finger photoplethysmographic waveform on male subjects over 60 years of age

3. 고조파의 제거에 따른 맥파파형의 변화

Notch filter를 이용하여 고조파 성분을 제거함에 따른 지침용적맥파 파형의 변화는 Figure 2와 3에 도시하였다. 2번째 고조파 성분부터 6번째 고조파 성분까지 하나씩 고조파 성분을 filtering해감에 따라 파형은 점차 삼각파에 가까운 형태로 변하였다. 2번째 고조파 성분을 filtering하여 감소시킨 후 충격파의 감소가 두드러지게 나타났으며, 2번째, 3번째, 4번째, 5번째 고조파 성분을 filtering하여 감소시킨 후 파형은 삼각파와 유사한 형태로 변하였다. 그러나 2번째 고조파 성분을 그대로 둔 상태에서는, 3번째, 4번째, 5번째, 6번째 고조파 성분을 모두 filtering하여 감소시키더라도 맥파 파형에는 큰 변화가 나타나지 않았다.

4. 고조파의 제거에 따른 맥파파형의 정량적 변화

고조파 제거에 따라 변화된 맥파 파형이 60세 이상의 고연령군에 대한 대표파형과 얼마나 유사한지를 정량적으로 평가하기 위해 실시한 filtering 후의 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 waveform correlation analysis에서, 2번째 고조파 성분부터 6번째 고조파 성분까지 하나씩 고조파 성분을 filtering해감에 따라 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 상관계수는 점차 증가하였다. 그러나 2번째 고조파 성분을 그대로 둔 상태에서는 고조파 성분을 filtering하더라도 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 상관계수가 상대적으로 미미하게 증가하였다(Table 2, Figure 4).

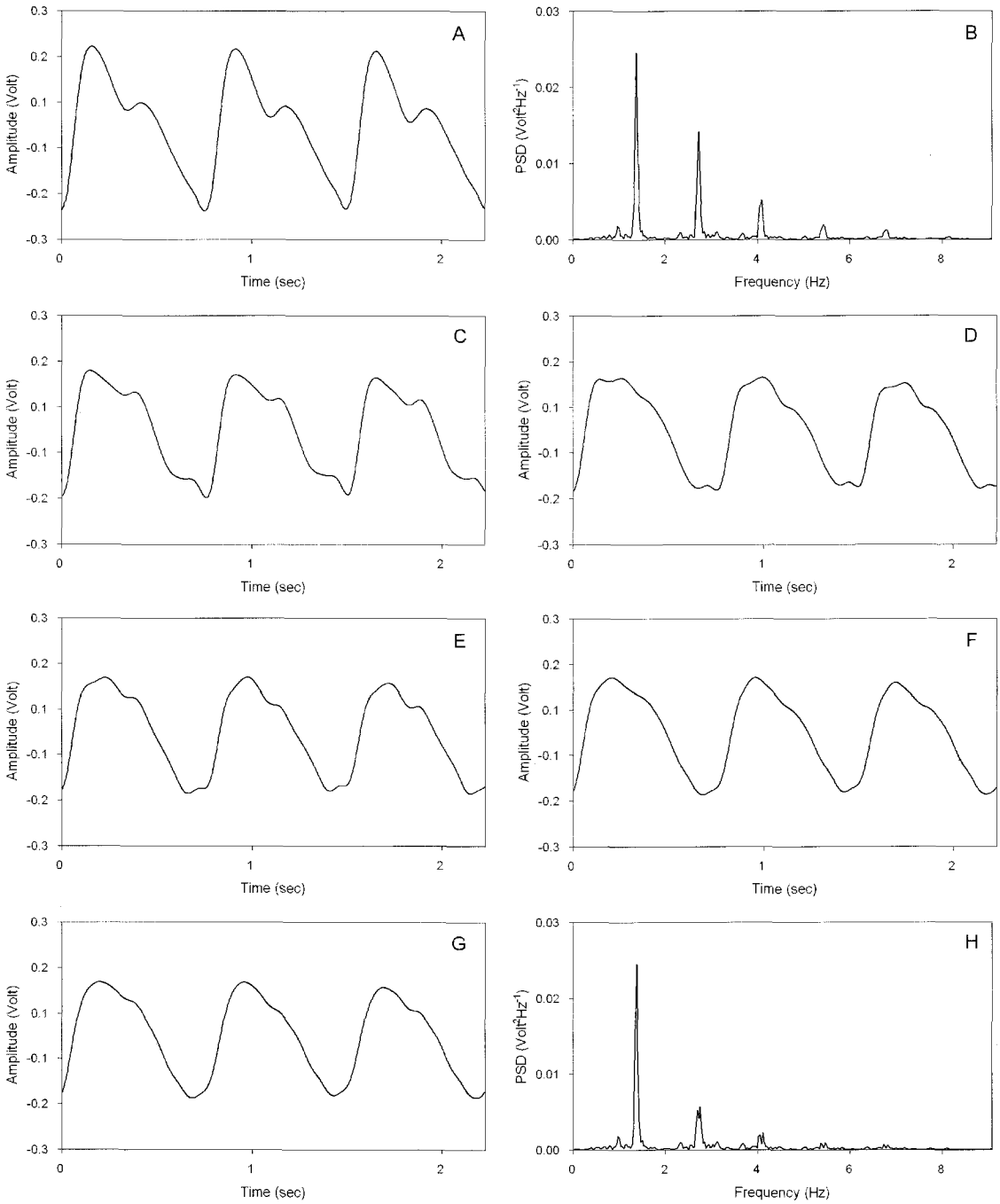


Figure 2. Change of the PPG waveforms according to notch filtering, A, PPG waveform before notch filtering; B, PPG power spectrum before notch filtering; C, after notch filtering on the 2nd harmonic; D, after notch filtering on the 2nd and 3rd harmonic; E, after notch filtering on the 2nd, 3rd and 4th harmonic; F, after notch filtering on the 2nd, 3rd, 4th and 5th harmonic; G, after notch filtering on the 2nd, 3rd, 4th, 5th and 6th harmonic; H, power spectrum after notch filtering on the 2nd, 3rd, 4th, 5th and 6th harmonic.

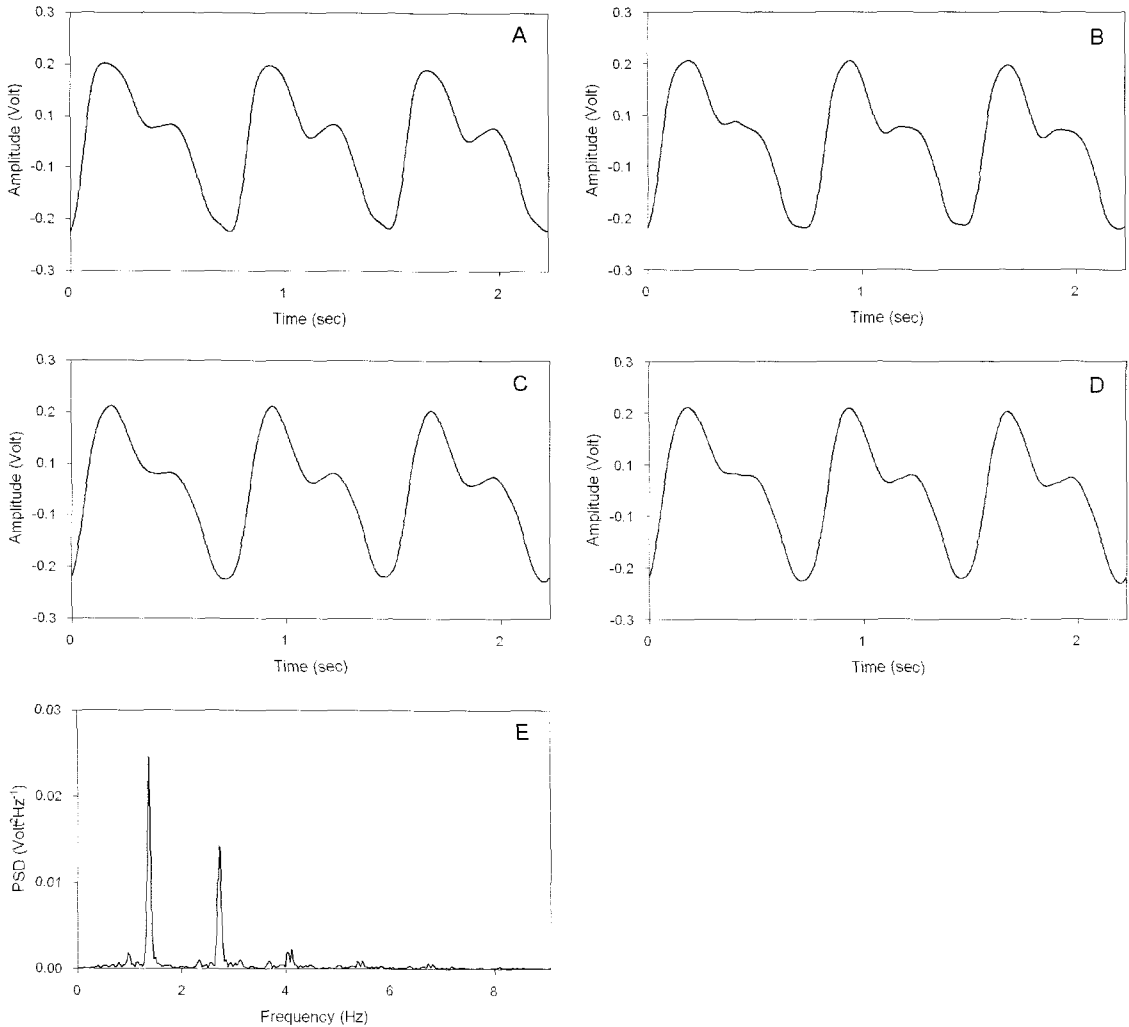


Figure 3. Change of the PPG waveforms according to notch filtering on the harmonics except the 2nd harmonics. A, PPG waveform after notch filtering on the 3rd harmonic; B, after notch filtering on the 3rd and 4th harmonic; C, after notch filtering on the 3rd, 4th and 5th harmonic; D, after notch filtering on the 3rd, 4th, 5th and 6th harmonic, E, PPG power spectrum after notch filtering on the 3rd, 4th, 5th and 6th harmonic.

Ⅲ. 고찰

한의학적 관점에서 볼 때 지침용적맥과는絡脈과 밀접한 관련이 있다.絡脈은十五絡脈과孫絡으로 크게 나눌 수 있는데,十五絡脈은十五大絡

이라고도 칭하며,十二絡脈에任脈·督脈의絡脈과脾의大絡을 가한 것이고,孫絡은絡脈의 최소의 분지로서細絡이라고 칭한다.十二絡脈은十二經脈에서 분출하여橫斜로 분포된 비교적 큰絡脈이다.絡脈은모두十五經脈의同名經脈에서 갈

Table 2. Relationship Between the PPG of a Young Man After Notch Filtering And the Representative PPG of Old Men

PPG of young man	Representative PPG of old men			
	Filtered harmonic number	R	Filtered harmonic number	R
	No filtration.	0.9363		
	2nd harmonic	0.9784	3rd harmonic	0.9398
	2nd and 3rd harmonic	0.9882	3rd and 4th harmonic	0.9419
	2nd - 4th harmonic	0.9920	3rd - 5th harmonic	0.9432
	2nd - 5th harmonic	0.9936	3rd - 6th harmonic	0.9431
	2nd - 6th harmonic	0.9935		

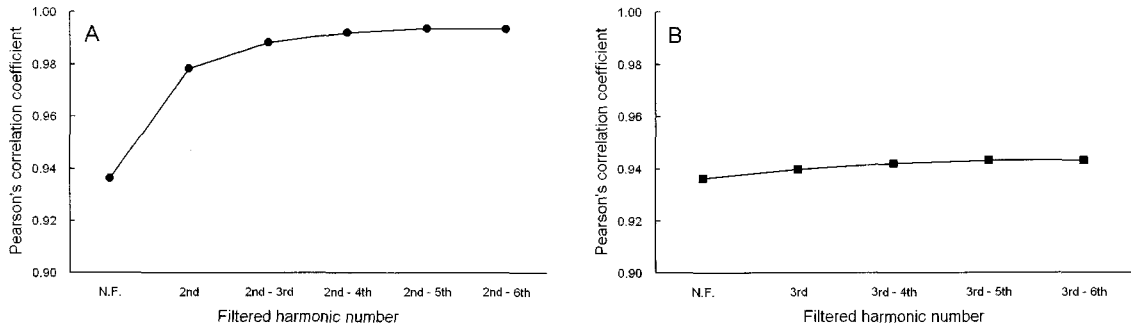


Figure 4. Change of correlation coefficient between the representative PPG of old men and the PPG of a young man according to removal of the harmonics. N.F., no filtration.

라져 手腕 혹은 足踝 以上の 일정혈위에서 분출하며, 橫斜로 擴散한 다음 다시 十二經脈으로 집합된다. 十五絡脈에서 분출하는 枝脈으로는 孫絡·浮絡·血絡 등이 있으며, 전신의 체표에 확산되어 體腔의 內臟에도 분포한다. 絡脈은 十二經脈 中 表裏經사이의 관계를 강화하고, 營衛氣血을 수송하여 전신의 조직을 滲灌 滋養하는 작용을 한다¹⁶⁾.

용적맥파는 1937년 Alrick Hertzman가 Lambert-Beer 법칙에 기초하여 혈액 속에 포함된 조직의 변화에 의해 발생하는 광흡수의 차이를 측정하는 photoelectric phethismograph를 개발하여 보고한 것이 최초의 기록이다^{17,18)}. 이후 Robert Goetz는 photocell을 이용하여 손끝에서 광투과성을 측

정하여 보고함으로써 현재 사용하고 있는 지침용 적맥파의 기본 형태를 확립하였다¹⁹⁾. 이후 Morikawa는 반사형 광전식 용적맥파를 연구에 활용함으로써 용적맥파의 측정부위를 광투과가 불가능했던 피부 다른 부위로까지 확대함으로써 용적맥파의 응용범위를 확대하는데 크게 이바지하였다²⁰⁾.

요골동맥 압력맥파와 지침용적맥파의 파형의 노화에 따른 변화는 여러 연구자들에 의해 연구되어 왔다^{4,14,21)}. 노화에 따른 맥파 파형의 변화는 크게 승각시간의 연장, 충격파와 중복파 사이의 시간축 간격 감소, 중복파와 절흔의 높이 상승으로 특징지어지며, 이러한 변화는 주로 큰 동맥이 경화성 변화에서 기인한다. 연령이 증가함에 따라

절흔이 소실되는 주요한 원인은 맥파전달속도의 증가로 인해 반사파가 보다 빨리 지침부위에 도달하여 충격파와 융합되기 때문이다. 이러한 현상은 절흔과 중복파가 연령이 증가함에 따라 충격파 방향으로 점차 이동하는 것과 관련이 있다²²⁾. 지침용적맥파에서 젊은 피검자에게서는 충격파 이후에 조랑파와 절흔을 비교적 분명하게 관찰할 수 있지만, 고연령군에서는 승각기가 길어지고 절흔은 소실된다. 승각기가 길어지는 원인은 일반적으로 연령이 증가함에 따라 동맥계 저항이 증가하고 순응도(compliance)가 감소하기 때문으로 설명되어진다. 따라서 연령이 증가함에 따라 지침용적맥파의 파형은 보다 단순해지고 굴곡이 없어지게 된다⁹⁾.

지침용적맥파의 특성에 대하여 더 자세하게 이해하기 위한 새로운 시도로서, 일정한 시간동안 측정된 지침용적맥파 신호에 대해 푸리에 변환을 이용하여 여러 주파수 성분들을 분리해내는 연구들이 진행되어 왔다¹⁰⁻¹³⁾. 지침용적맥파에 대한 스펙트럼 분석에서 Sherebrin 등은 2번째와 6번째 고조파 성분이 고연령군에서 감소한다는 것을 관찰하고, 이러한 차이가 고연령군에서 맥파 절흔의 소실에 기인한다고 추정하였다¹⁰⁾. Bennett 등은 엄지발가락에서 측정된 용적맥파에 대해 스펙트럼 분석을 실시하여 고조파 성분을 얻고, 2번째 고조파가 기하학적인 차원의 맥파 특성(geometric waveform characteristics)와 관련한 가장 주요한 인자이며, 2번째 고조파와 resting ankle pressure ratio가 강한 양의 상관관계를 나타낸다고 보고하였다¹¹⁾. Chen 등은 요골동맥 압맥파에 대한 주파수 분석에서 급성심근경색 환자들에게서 3번째와 4번째 고조파 성분의 강도가 심근경색이 없는 자들에 비해 낮은 것을 관찰하고, 이러한 차이가 신장혈관에 의한 공명현상에 기인한다고 추정하였다^{23,24)}. Chuang 등은 관상동맥절흔을 가진 자를

대상으로 관상동맥우회로이식술(coronary artery bypass graft surgery) 전후의 지침용적맥파의 변화를 파워 스펙트럼 분석을 이용해서 평가하고, 관상동맥우회로이식술 후에 표준화된 고조파의 파워가 고주파로부터 저주파로 이동됨을 관찰하여 이러한 변화가 자율신경계에 의한 활동성 감소에 기인한다고 추정하였다¹²⁾.

우리는 아직 지침용적맥파에서 주파수분석을 통해 추출한 각각의 고조파 성분들이 어떠한 생리적 및 임상적 특성들과 관련이 있는지 명확하게 이해하지 못하고 있으나, 기존 주파수에 대한 고조파 파워가 연령증가에 따라 감소하는 것이 맥파 파형분석에서의 특징적인 변화와 관련이 있다는 것은 알고 있다. 따라서 본 논문에서는 젊은 남성의 지침용적맥파 파형이 고조파 성분의 감소함에 따라 어떻게 변화하는지 확인하고, 고조파 성분이 감소된 지침용적맥파가 노령자에게서 검출되는 맥파 파형과 얼마나 유사한지 여부를 평가하였다.

Notch filter를 이용하여 2번째 고조파 성분부터 6번째 고조파 성분까지 하나씩 고조파 성분을 filtering해감에 따라 파형은 점차 삼각파에 가까운 형태로 변하였다. 2번째 고조파 성분을 filtering하여 감소시킨 후 충격파의 감소가 두드러지게 나타났으며, 2번째, 3번째, 4번째, 5번째 고조파 성분을 filtering하여 감소시킨 후 파형은 삼각파와 유사한 형태로 변하였다. 6번째 고조파 성분을 filtering한 후의 파형변화는 거의 관찰되지 않았다. 이러한 연구결과를 통해 5번째까지의 고조파 성분의 감소가 연령증가에 따른 지침용적맥파 파형변화에 큰 영향을 미치는 것으로 추정된다. 2번째 고조파 성분을 그대로 둔 상태에서는, 3번째, 4번째, 5번째, 6번째 고조파 성분을 모두 filtering하여 감소시키더라도 맥파 파형에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 따라서 2번째 고조파

성분의 감소가 맥파 파형에서 절흔을 소실시키지는 않지만, 2번째 고조파 성분이 감소하지 않으면 다른 고조파 성분이 감소하더라도 절흔은 소실되지 않음을 알 수 있다.

고조파 제거에 따라 변화된 맥파 파형이 60세 이상의 고연령군에 대한 대표파형과 얼마나 유사한지를 정량적으로 평가하기 위해 실시한 filtering 후의 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 waveform correlation analysis에서도, 2번째 고조파 성분부터 6번째 고조파 성분까지 하나씩 고조파 성분을 filtering해감에 따라 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 상관계수는 점차 증가하였다. 그러나 2번째 고조파 성분을 그대로 둔 상태에서는 고조파 성분을 filtering하더라도 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 상관계수가 상대적으로 미미하게 증가하였다. 이는 2번째 고조파가 기하학적인 차원의 맥파 특성과 관련한 가장 주요한 인자가 됨을 보고한 Bennett의 연구결과와도 일치하는 것이다. 따라서 연령증가에 따른 고조파 감소에서 2번째 고조파 성분의 감소는 맥파 파형변화의 전제조건이 됨을 알 수 있다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 우선 연구대상이 남성으로 한정되어 연구결과를 일반화 할 수 없다. 성별에 따른 맥파 파형과 특성의 차이는 이미 잘 알려진 사실로서, 향후 여성을 포함하는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각된다. 두 번째, notch filtering을 통해 고조파를 감소시킨 지침용적맥파의 스펙트럼과 노화에 의해 자연적으로 감소된 고조파 스펙트럼은 완전히 일치하지 않는다. 본 연구에서도 filtering 후의 지침용적맥파 스펙트럼에서 고조파의 peak는 2중으로 갈라진 double peak 형태로서 자연적으로 감소된 고조파 스펙트럼에서 나타나는 peak의 형태와는 차이가 있었다. 세 번째, 젊은 남성의 모델이 1명이어서 연구결과의 일반화에 오류가 있을 수 있

다. 이에 대해서는 향후 보다 많은 연구대상자를 통해 고조파를 감소시키는 모의 실험이 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

경희의료원 동서종합건강센터를 방문한 자들 중에서 건강한 60세 이상의 남성 21명과 19세 남성 1명을 대상으로, 젊은 남성의 지침용적맥파 파형이 고조파 성분의 감소함에 따라 어떻게 변화하는지 확인하고, 고조파 성분이 감소된 지침용적맥파가 노령자에게서 검출되는 맥파 파형과 유사한지 여부를 결정하기 위해, 고조파 성분이 감소된 지침용적맥파와 60세 이상의 남성을 대상으로 검출한 고연령군 대표파형과의 파형 상관분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Notch filter를 이용하여 2번째 고조파 성분부터 6번째 고조파 성분까지 하나씩 고조파 성분을 filtering해감에 따라 지침용적맥파 파형은 점차 삼각파에 가까운 형태로 변화하였다.
2. 2번째 고조파 성분을 그대로 둔 상태에서는, 3번째, 4번째, 5번째, 6번째 고조파 성분을 모두 filtering하여 감소시키더라도 맥파 파형에는 큰 변화가 나타나지 않았다.
3. 고조파 성분을 notch filtering한 후의 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 waveform correlation analysis에서, 2번째 고조파 성분부터 6번째 고조파 성분까지 하나씩 고조파 성분을 filtering해감에 따라 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 상관계수는 점차 증가하였다.
4. 2번째 고조파 성분을 그대로 둔 상태에서는

고조파 성분을 filtering 하더라도 맥파 파형과 고연령군 대표파형간의 상관계수가 크게 증가하지는 않았다.

위를 연구결과를 고려해볼 때, 연령증가에 따른 고조파 감소에서 2번째 고조파 성분의 감소는 연령증가에 따른 맥파 파형변화의 중요한 전제조건이 될 것으로 사료되며, 연령증가에 따른 전형적인 맥파 파형변화는 특정 고조파 성분의 감소보다는 전반적인 고조파 성분의 감소로 설명된다.

參考文獻

1. Millasseau SC, Ritter JM, Takazawa K, Chowieńczyk PJ. Contour analysis of the photoplethysmographic pulse measured at the finger. *J Hypertens*. 2006; 24(8): 1449-1456.
2. Dillon JB, Hertzman AB. The form of the volume pulse in the finger pad in health, arteriosclerosis, and hypertension. *Am Heart J*. 1941; 21: 172-190.
3. Dawber TR, Thomas HE Jr, McNamara PM. Characteristics of the dicrotic notch of the arterial pulse wave in coronary heart disease. *Angiology*. 1973; 24(4): 244-255.
4. Kelly R, Hayward C, Avolio A, O'Rourke M. Noninvasive determination of age-related changes in the human arterial pulse. *Circulation*. 1989; 80(6): 1652-1659.
5. Chan GS, Middleton PM, Celler BG, Wang L, Lovell NH. Automatic detection of left ventricular ejection time from a finger photoplethysmographic pulse oximetry waveform: comparison with Doppler aortic measurement. *Physiol Meas*. 2007; 28(4): 439-452.
6. Martin JF, Volfson LB, Kirzon-Zolin VV, Schukin VG. Application of pattern recognition and image classification techniques to determine continuous cardiac output from the arterial pressure waveform. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1994; 41(10): 913-920.
7. Hertzman AB, Orth LW. The vasomotor components in the vascular reactions in the finger to cold. *Am J Physiol* 1942; 136: 669-679.
8. Heyman F, Ahlberg NE. Effect of rapid distension of large arteries and veins on the vascular tone of the fingers. *Acta Med Scand* 1968; 183: 337-340.
9. Allen J, Murray A. Age-related changes in the characteristics of the photoplethysmographic pulse shape at various body sites. *Physiol Meas*. 2003; 24(2): 297-307.
10. Sherebrin MH, Sherebrin RZ. Frequency analysis of the peripheral pulse wave detected in the finger with a photoplethysmograph. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1990; 37(3): 313-317.
11. Bennett L, Fischer AA. Spectrum analysis of large toe plethysmographic waveshape. *Arch Phys Med Rehabil*. 1985; 66(5): 280-285.
12. Chuang SS, Shih CC, Yang JL, Lee SY, Kuo CD. Power spectral analysis of finger plethysmographic waveform in patients with coronary artery disease and after coronary artery bypass graft surgery. *Circ J*. 2006; 70(10): 1337-1343.
13. Millasseau SC, Guigui FG, Kelly RP, Prasad K, Cockcroft JR, Ritter JM, Chowieńczyk PJ. Noninvasive assessment of the digital vol-

- ume pulse. Comparison with the peripheral pressure pulse. *Hypertension*. 2000; 36(6): 952-956.
14. Nichols WW, O'Rourke MF. McDonald's Blood Flow in Arteries: Theoretical, Experimental and Clinical Principles. London, United Kingdom: Edward Arnold; 1998.
 15. 이봉교, 김정제. 미분변환기에 의한 대동맥 맥파속도 측정방법에 관한 연구. *대한한의학회지*. 1978; 47: 11-16.
 16. 전국한의과대학 침구·경혈학교실. 침구학(상). 서울, 집문당, 1994, 45-47.
 17. Hertzman AB. The blood supply of various skin areas as estimated by the photoelectric plethysmograph. *Am J Physiol*. 1939; 124: 328-340.
 18. Hertzman AB, Spealman CR. Observation of the finger volume pulse recorded photoelectrically. *Am J Physiol*. 1937; 119: 334-335.
 19. Goetz RH. Plethysmography of the skin in the investigation of peripheral vascular diseases. *Br J Surg*. 1940; 27: 506-520.
 20. Morikawa Y. Characteristic pulse wave caused by organic nitrates. *Nature*. 1967; 213(5078): 841-842.
 21. Kannel WB, Dawber TR, McGee DL. Perspectives on systolic hypertension. The Framingham study. *Circulation*. 1980; 61(6): 1179-1182.
 22. Millasseau SC, Kelly RP, Ritter JM, Chowienczyk PJ. Determination of age-related increases in large artery stiffness by digital pulse contour analysis. *Clin Sci (Lond)*. 2002; 103(4): 371-377.
 23. Chen CY, Wang WK, Kao T, Yu BC, Chiang BC. Spectral analysis of radial pulse in patients with acute, uncomplicated myocardial infarction. *Jpn Heart J*. 1993; 34(2): 131-143.
 24. Wang YY, Chang SL, Wu YE, Hsu TL, Wang WK. Resonance. The missing phenomenon in hemodynamics. *Circ Res*. 1991; 69(1): 246-249.