

동맥계 다채널 용적맥파 특징 파라미터 분석에 관한 연구

한순천, 김형조, 김형태, 김정국, 허웅

명지대학교 전자공학과 정보공학연구소

전화 : 031-336-6347 / 핸드폰 : 017-582-2413

Analysis of multi-channel photoplethysmograph parameter by the changes of arterial characteries

Soon-Chen Han, Hyoung-Jo Kim, Hyoung-Tae Kim, Jung-Kuk Kim, Woong Huh

Department of Electronic Eng. Myongji Univ.

E-mail : bis7@mj.ac.kr

Abstract

In this paper, we implement the photoplethysmography system that have three channel pulse wave detects and one channel ECG amplifier. In order to detect the artery state, we measured the pulse waves at different positions, simultaneously. In general, arterial vascular system suffers the decrease of compliance, increase of resistance, and decrease of distensibility through aging.

Therefore, we compared and analyzed variation of the pulse waves parameter both in time and frequency domains that is concerned with the changes of arterial characteries. And then evaluated the correlation coefficients between the parameters variation and the age group.

As the result of experiment, we found that the parameters have a significant correlation about aging.

I. 서론

최근 혈관의 노화에 따른 심혈관계의 질환이 급증함에 따라 심질환의 발생원인과 진행을 과학적으로 규명하고 예측할 수 있는 심질환 지표에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이에 한의학에서는 인체의 병변과 생리적 변화를 진단하고 혈관의 질환이나 노화의 평가지표로서 맥파를 이용하고자 하는 많은 임상 연구

들을 진행하여 왔다. 그러나 맥파는 맥파가 갖는 특성에 의해 검출방법에 대한 신뢰성이나 재현성 등에 많은 문제점을 가지고 있으며, 맥파 형상의 모호함으로 인해 맥파를 이용하여 심혈관계에 대한 정보를 얻고자 하는 연구에 많은 어려움을 갖는다.

이에 노화나 동맥경화 및 협착에 의해 동맥의 탄성도가 감소하고 혈관의 저항이 증가하거나 혈관반응성이 저하하는 등으로 표현되는 동맥계 특성변화를 안정성 있게 검출할 수 있는 다채널 광전식 용적맥파시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 동일 동맥 지도상의 여러 지점에서 동시에 맥파를 검출하여 변화특성을 나타내는 특징 파라미터들을 시간 및 주파수 영역에서 추출하여 연령별로 그 상관관계를 비교·분석하였다.

II. 다채널 용적맥파 검출 시스템

그림 1과 같이 다채널 용적맥파 검출 시스템을 4채널로 구성하여 위팔의 상완동맥(上腕動脈, brachial artery), 손목의 요골동맥(桡骨動脈, radial artery) 그리고 지침의 말초동맥(末梢動脈, peripheral artery) 부위에서 맥파를 검출하였고 동시에 심장의 수축 개시신호인 심전도를 검출하였다.

사용된 맥파 검출변환기는 투과형과 반사형 변환기로 구현하여 투과형 변환기로 검출이 어려운 상완동맥과 요골동맥에서는 반사형 변환기를 사용하였다. 투과형 변환기는 발광부(IrED)와 수광부(photodiode)를 서로 마주보게 구성하여 발광부에서 방출된 광이 지침을 통과하면서 말초동맥의 용적변화에 의해 변위되고 그 변위된 광이 광다이오드에 수광되도록 하였다. 광다이

오드에 수광된 광은 매우 미세한 전류로 변환되어 출력되고 I-V 변환부에 의해 전압으로 변환하였다. 이때, 투과형 변환기는 그림 2(a)와 같이 손가락을 삽입하여 측정할 수 있는 모형을 자체 제작하여 재현성 있는 측정이 용이하도록 하였다. 반사형 변환기는 손목의 요골동맥 부위와 팔뚝의 상완동맥 부위의 신체 구조를 고려하여 변환기를 동맥관 표피에 장착할 시에 피부와의 긴밀도를 높이고 좀 더 효율적인 측정이 가능하도록 각 부위의 구조에 따르는 반사원형 모형으로 그림 2(b)와 같이 구현하였다. 변환기를 통해 각 지점에서 검출된 맥파는 채널 모듈을 통해 신호의 전처리 후 RS-232C를 통해 PC로 전송된다. 전송된 4채널의 신호는 그림 3과 같이 PC 화면에 디스플레이 된다.

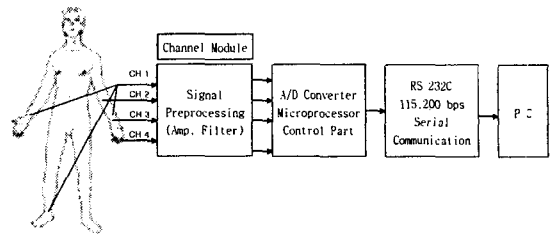


그림 1. 다채널 용적맥파 검출시스템 구성도.

III. 특징 파라미터 분석

특징 파라미터는 검출된 각 지점의 맥파로부터 시간 영역과 주파수 영역에서 그 변화특성을 분석하도록 하였다.

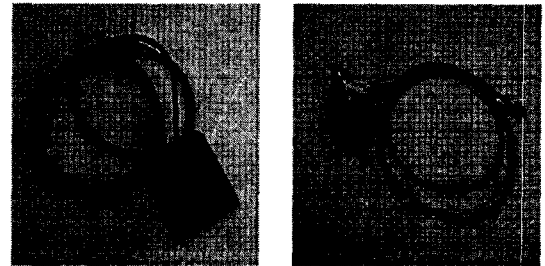
시간영역의 특징 파라미터는 심장의 수축과 이완에서 나타나는 심수축력, 동맥벽의 탄성도, 동맥계 상태에 따라 나타나는 특징점간의 시간차, 가속도 맥파 파고비, 그리고 두지점간의 동맥벽 상태에 따라 변화하여 나타나는 전달시간차와 전달속도 변화를 구하여 추출하였다.

주파수영역의 특징 파라미터는 동맥계 상태에 따라 달라지는 맥파 형상과 특징점들의 유무에 의해 나타나는 고조파 성분 비율과 각 지점간의 성분 변화를 보일 수 있는 스펙트럼 차분을 구하여 나타내었다.

따라서 맥파로부터 검출되는 시간영역의 파라미터는 맥주기, 맥박수, 동맥의 신전성(伸展性)과 동맥의 경도와 관계가 있는 맥파 전달속도(Pulse Wave Velocity, PWV), 심수축력과 관련된 용기시간(Upstroke time, U-time) 그리고 혈관저항에 의해 생성되는 증복파의 위치에 따른 구혈시간(Ejection time, E-time)이다.

주파수영역에서 검출되는 맥파의 특징 파라미터는 두 지점에서 얻어진 맥파 스펙트럼의 고조파 성분의 높이 비율과 스펙트럼 차분에 대한 것이다.

그림 4는 프로그램의 메인 화면으로 채널별로 검출된 맥파 신호와 분석·처리 후 추출된 시간 및 주파수 영역의 특징 파라미터들을 나타낸다.



(a) 투과형 변환기 실물 (b) 반사형 변환기 실물

그림 2. 용적맥파 검출 변환기.

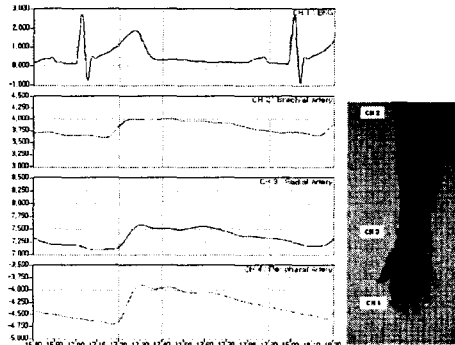


그림 3. 검출된 ECG와 맥파 디스플레이 화면.

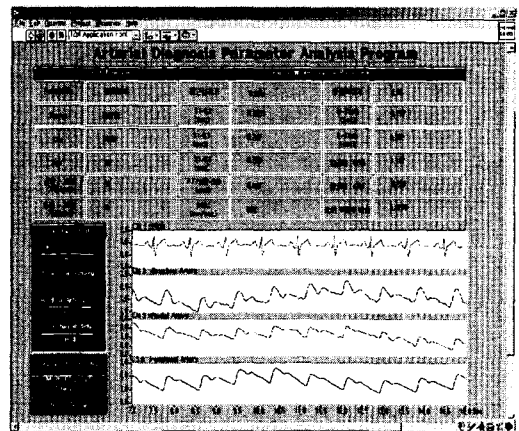


그림 4. 신호분석 후 메인화면.

IV. 실험 및 고찰

본 논문에서는 연령에 따른 동맥계 혈관 특성에 대한 특정 파라미터들의 관계성을 비교 검토하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

먼저, 성인 남녀 20명을 연령별로 20~30대 10명인 그룹 A와 60~80대 10명인 그룹 B를 구성하고, 그룹별로 다채널 용적맥파를 검출한 후, 제안된 특정 파라미터들의 변화를 살펴보았다. 그룹별 변화특성에 대한 관계성 평가는 통계적 분석을 이용하였다.

시간영역에서 검출된 맥파의 특징 파라미터는 심주기, 맥주기, 맥주기로 보정된 U-time과 E-time, 맥파 전달시간 PTT, 맥파전달속도 PWV, 그리고 맥파를 이차 미분한 가속도맥파 파고비등이다. 맥파의 전달시간 PTT는 그림 5와 같이 채널 1 심전도 QRS군의 S점에서 채널 2 상완동맥파의 용기기시점 S₁까지의 PTT₁과 채널 4 지첨맥파의 용기기시점 S₃까지의 PTT₃, 그리고 상완동맥파의 S₁과 지첨맥파의 S₃까지의 PTT₅를 검출하여 분석하였다. 두 동맥간의 전달 속도 PWV는 상완의 측정부위에서 지점의 측정부위까지 거리[m]를 계속하여 전달시간 PTT₅로 나누어 구하였다.

맥주기, U-time, E-time은 그림 6에서와 같이 검출하여 U-time과 E-time은 맥주기로 보정한 후 분석하였다. 각 파라미터의 분석은 10분 동안 측정된 신호를 50초 구간씩 나누어 이동하면서 검출한 각 파라미터들의 평균값으로 수행하였다.

주파수 영역에서 검출한 특징 파라미터는 그림 7과 같이 각 채널별로 맥파의 고조파 성분 f₁, f₂, f₃ 주파수를 검출하고 기본 고조파 성분 f₁의 높이에 대한 f₂, f₃의 높이 비율을 구하여 비교하였다.

연령별 상관성 분석은 연령별로 검출된 특징 파라미터들의 변화 특성을 통계 분석으로 처리하여 평균, 표준편차, 그리고 연령과의 상관계수를 구하여 나타내었다.

상관계수는 두 신호 {x(n), y(n)}에 대한 상관성을 수치적으로 표현하는 것으로 식(1)과 같이 정의하여 구하였다. 상관계수는 두 신호간의 관련성 정도와 관련방향을 알 수 있고, 신호의 관련성 정도는 변수의 분산 중에서 두 변수가 변화하는 상관계수의 값이 어느 정도인가에 따라 좌우된다. 공통으로 변하는 부분이 적으면 적을수록 상관계수는 낮아지며 공통부분이 완전히 일치되면 상관계수는 1이 된다. 두 변수 사이

의 상관계수의 값이 0이면 두 변수는 서로 독립적인 관계를 갖는다고 볼 수 있다.

$$r_{xy}(k) = \frac{\sum_{n=1}^N x(n) - \bar{x} \cdot y(n+k) - \bar{y}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^2 \sum_{n=1}^N (y(n) - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

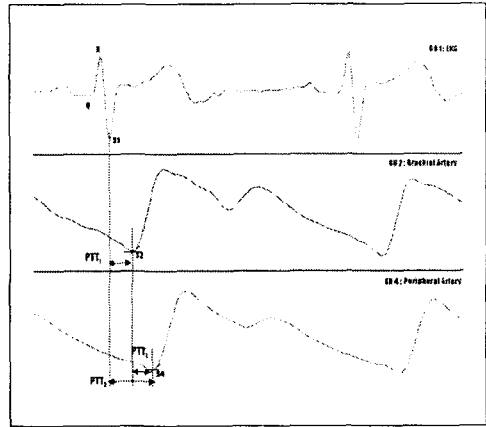


그림 5. 맥파 전달시간.

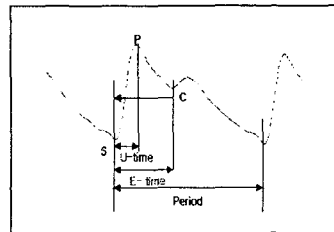


그림 6. 상승시간, 구혈시간.

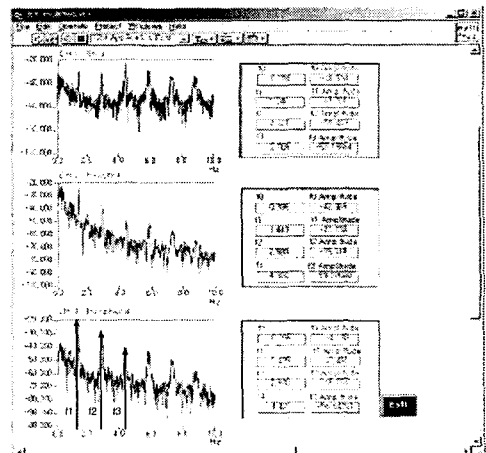


그림 7. 고조파 성분의 높이 비율 검출화면.

각 파라미터들의 연령에 따른 상관계수를 분석한 결과 표 1과 같이 얻을 수 있었다. 이를 그림 8과 같이 그래프로 나타내어 비교한 결과 주파수 영역에서 검출한 고조파 성분의 높이 비율이 시간영역의 특징 파라미터들에 비해 연령별 변화특성에 더 높은 상관성을 보였다. 이는 주파수 영역의 특징파라미터들이 시간영역에서 찾아지지 않는 파형 형상의 변화나 특징점 유무 등에 대해 연령별 변화특성에 보다 더 유의하게 나타난 것으로 추정할 수 있다.

표 1. 연령에 따른 상관관계 분석결과.

Parameter	Mean	STDEV	r
ECG period [sec]	0.778	0.1372	-0.60
Pulse wave period [sec]	0.777	0.1371	-0.60
U-Time [sec]	0.175	0.0492	0.74
E-Time [sec]	0.371	0.0296	-0.53
PTT ₁ [sec]	0.074	0.0291	-0.76
PTT ₃ [sec]	0.123	0.0321	-0.77
PTT ₅ [sec]	0.054	0.0059	-0.47
PWV [m/sec]	7.895	0.7553	0.38
b/a	0.863	0.1509	-0.62
c/a	0.122	0.1150	-0.53
d/a	0.225	0.1327	0.70
e/a	0.248	0.0726	-0.37
f ₂ /f ₁ Height Ratio	0.696	0.1012	-0.79
f ₃ /f ₁ Height Ratio	0.469	0.1291	-0.83

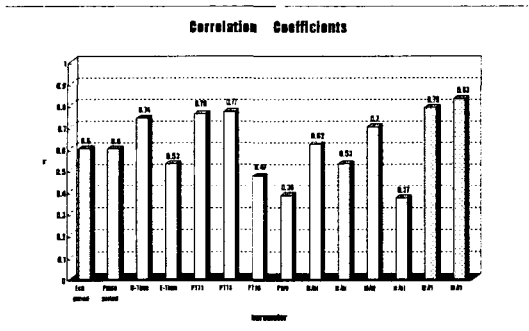


그림 8. 각 특징 파라미터들의 상관계수 비교

V. 결 론

본 논문은 심전도와 함께 팔의 상완동맥, 손목의 요골동맥, 그리고 지침의 말초동맥에서 동시에 맥파를 검출하고, 이를 비교·검토하여 연령에 따라 나타나는 동일 동맥계의 특성변화를 검출하고자 하였다.

동맥계의 특성변화는 맥파 신호의 시간영역과 주파수영역에서 추출된 특징파라미터들을 연령에 따라 비교하여 확인하고자 하였다.

따라서 검출된 시간영역과 주파수영역의 각 특징 파라미터들을 연령별로 상관성을 비교하였으며 그 결과, 각 파라미터들이 연령에 매우 유의한 상관성을 보였으며 특히 주파수 영역에서 추출한 특징 파라미터들이 동맥계 특성변화에 더 높은 상관성을 보였다.

따라서 추출한 맥파의 각 특징 파라미터들이 동맥계 특성변화에 매우 유의한 상관관계를 보여 이들을 심혈관계를 판단하는 유효한 정보로서의 활용이 가능함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 한순천, “다채널 용적맥파시스템과 동맥계의 연령 파라미터 검출”, 명지대학교 대학원 박사학위논문, 2003.
- [2] 김형태, 한순천, 허웅, “한방용 용적맥파시스템”, 전자공학회, 6, pp. 77~80, 2001.
- [3] 한순천, 허웅, “맥파 특징점 검출 알고리즘에 관한 연구”, 대한전자공학회, 6, pp. 569~572, 2000.
- [4] 한순천, 허웅, “맥파 특징점 검출 알고리즘에 관한 연구”, 전자공학회, 6, pp. 569~572, 2000.
- [5] 남동현, 박영배, “생기능 조절요법이 항노화 효과 및 가속도 맥파 파형에 미치는 영향”, 대한진단학회지, 5(2), pp. 350~364, 2001.
- [6] 남동현, 박영배, 박영배. “經皮 電鍼刺戟이 成人 男性의 脈波傳達時間에 미치는 影響”, 大韓韓醫診斷學會誌, 4(2), pp. 85~89, 2000.
- [7] 梁仁哲, “脈波傳達時間의 變移係數에 關한 研究”, 慶熙大學校 大學院 碩士學位論文, 2002.
- [8] Nagatomo I, Takigawa M., “Relationship between carotid arterial blood flow and accelerated plethysmogram in the aged”, Inter Med J., 5, 26 9~272, 1998.
- [9] Kase N., Suzuki H., “Accelerated plethysmography in patients with diabetes mellitus”, Nippon Rinsho, 48 Suppl., pp. 601~606, 1990.
- [10] Kelly R., Hayward C., Avolio A., O'Rourke M., “Noninvasive determination of age-related changes in the human arterial pulse”, Circulation, 80(6), pp. 1652~1659, 1989.
- [11] Ozawa T., “Relationship between accelerated plethysmogram and systolic time intervals”, Sphygmology, 8, pp. 22~31, 1978.