

맥파속도 측정을 위한 PPG 기시점 검출알고리즘

정석훈*, 고국원*, 이상준*
 *선문대학교 정보통신공학과
 e-mail : mcp94lee@sunmoon.ac.kr

A photoplethysmography starting point detection algorithm for pulse wave velocity

Seokhoon Jeong*, Kuk Won Ko*, Sangjoon Lee*
 *Dept of Information and Communication Engineering, Sunmoon University

요약

본 연구는 맥파속도를 측정 하는데 간단한 방법으로 1 채널 심전도 데이터와 4 채널 광전식 용적맥파를 이용하여 취득한 데이터를 분석하는 알고리즘을 제안한다. 심전도의 R 피크점과 좌우 지점, 족첨에서 발생하는 4 채널 맥파신호간 시간차를 이용하여 맥파 전달시간을 구하고 팔, 다리 길이로 나눠서 맥파전달속도를 구한다. 알고리즘은 심전도 R 피크점 검출, 4 채널 맥파에서의 피크점 검출 이후 검출된 피크정보를 이용하여 맥파의 시작지점인 기시점을 검출하는 간단한 방법을 개발하였고, 4 가지 맥파형태에 검출알고리즘을 적용하여 검증 하였다. 본 연구에서 개발한 방법으로 간단히 맥파속도를 측정하여 동맥경화나 고혈압, 당뇨 등 심혈관 관련 연구의 기반이 될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서론

동맥경화를 판단하는 이상적인 방법은 동맥의 탄력성과 말초부위의 순환상태를 측정하는 것이지만, 간편하고 신뢰할 수 있는 측정방법이 부족하고 또한 측정된 데이터의 임상적 신뢰성 개선이 요구되고 있다.[1-2] 맥파속도는 혈류속도를 이용하여 동맥경화도 측정에 사용되는 신뢰성 있는 파라미터로 최근 연구에 많이 사용되며,[3] 고혈압이나 당뇨환자와 혈류속도와의 연관관계 등도 활발히 연구되고 있다.[4-5]

본 연구에서는 맥파속도를 측정하는데 있어 필수 요소인 맥파전달시간을 간단히 검출하는 알고리즘을 제안한다.

2. 알고리즘

1) ECG 분석

맥파전달속도 (PWV: Pulse Wave Velocity)를 계산하기 위한 기준점으로 심전도 신호의 피크점을 사용한다. 피크점 검출방법은 일반적으로 많이 사용하는 TOMKINS 방법을 응용하여 사용하였다. 전처리 과정으로 저역필터를 거친 후 3-point differential로 미분한 후 신호의 제곱 과정을 통하여 QRS complex 만을 부각되도록 한 후 문턱 값을 넘는 구간에서 최대값을 구하며 수식으로 표현하면 다음과 같다.

(a) Original ECG (Moving average) point

$$y_1[n] = \frac{1}{L} \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x[n-m], L = 20 \quad [1]$$

(b) 3-point differential

$$y_2[n] = y[n+1] - y[n-1] \quad [2]$$

(c) squiring

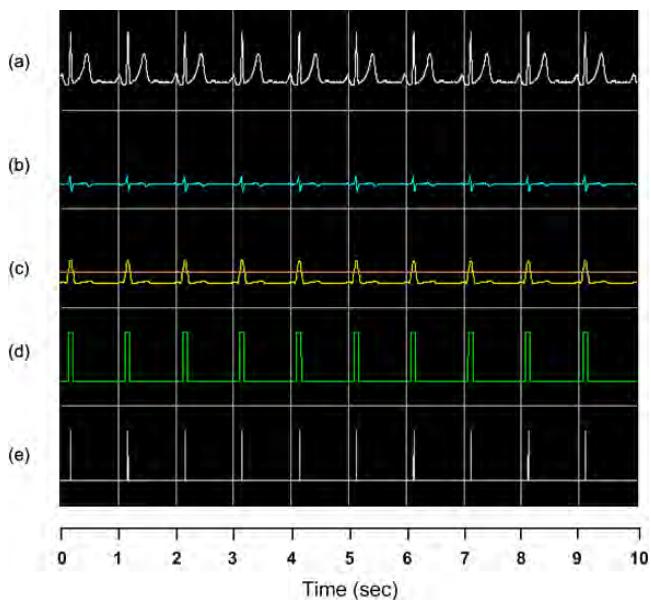
$$y_3[n] = y^2[n] \times y^2[n] \quad [3]$$

(d) QRS complex detection

$$\begin{aligned} TH &= \text{Min}(y_3[n]) + \{\text{Max}(y_3[n]) - \text{Min}(y_3[n])\} \\ \text{if } y_3[n] \geq TH, y_4[n] &= 1 \text{ else } y_4[n] = 0 \end{aligned} \quad [4]$$

(e) R-point detection

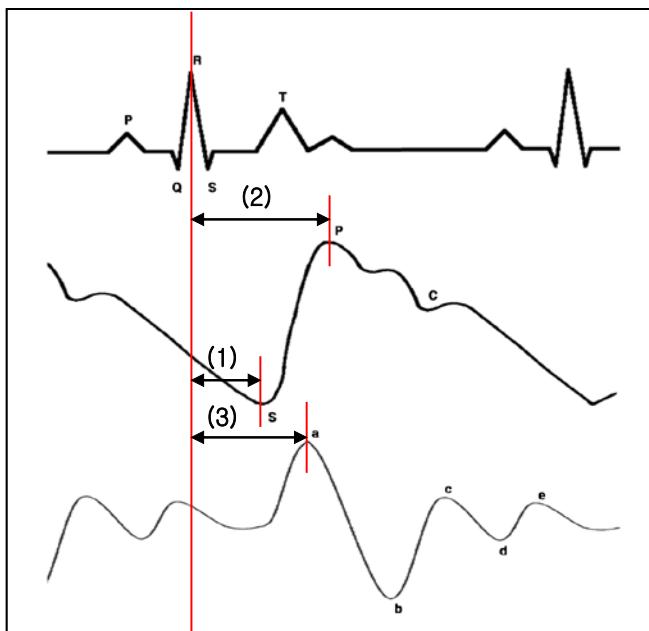
$$R_{peak}[n] = \max(x) \text{ at } y_4[n] = 1 \quad [5]$$



(그림 1) 심전도신호의 피크점 검출과정

2) 맥파전달시간 (PTT : Pulse Transit Time) 분석

맥파전달시간은 앞에서 구한 ECG 의 피크점을 기준으로 지침과 족첨 용적맥파의 맥파 시작점인 기시점 사이의 거리로 정의한다.

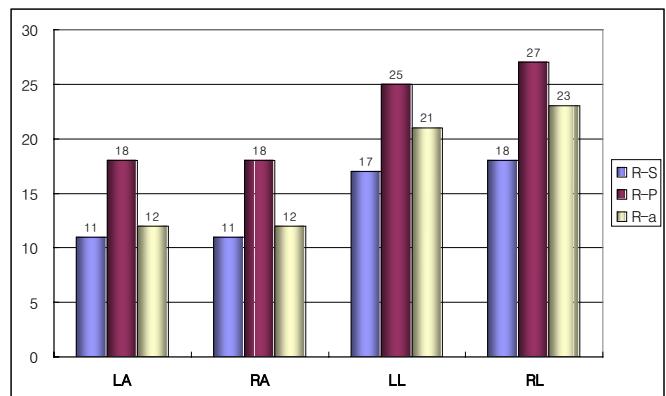


(그림 2) PTT(Pulse Transit Time)의 3 가지 검출방법.

(1) R-S: ECG R-point 와 맥파의 기시점(S) 사이의 시간간격, (2) R-P: ECG R-point 와 맥파의 피크점(P) 사이의 시간간격, (3) R-a: ECG R-point 와 가속도맥파 a 점 사이의 시간간격

맥파전달속도의 개인차를 알아보기 위한 실험으로 LA(Left Arm), RA(Right Arm), LL(Left Leg), RL(Right Leg) 측정위치에서 3 가지 방법의 10 초간 데이터를 측정하여 각각의 표준편차(Standard Deviation)를 산출

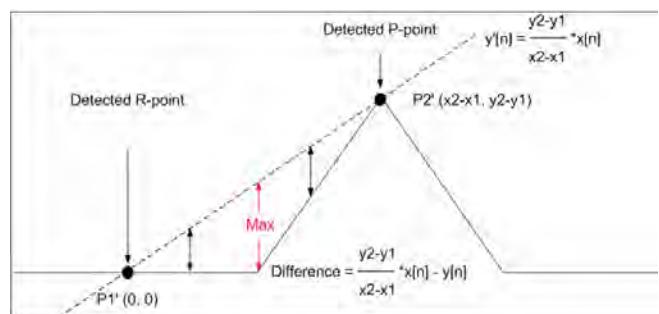
하였다. 그 결과 기시점을 기준으로 맥파전달 속도를 구하는 경우에서 표준편차가 가장 적게 나타났으며, 맥파의 기시점을 이용하여 맥파전달속도를 구하는 방법의 당위성을 입증 할 수 있었다.



(그림 3) 각 부위별 PTT 간의 3 가지 방법의 표준편차

맥파전달시간 검출 방법은 다음과 같이 3 단계로 구성된다.

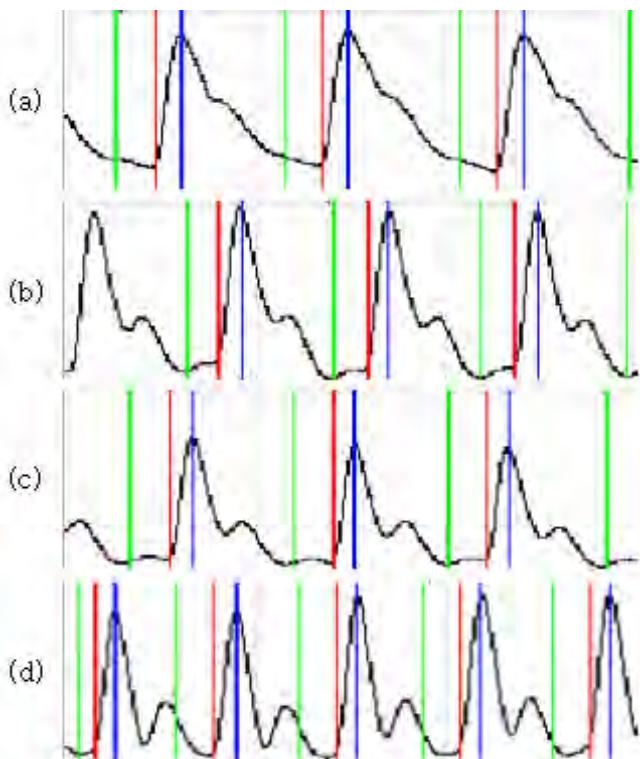
먼저 동시에 측정한 심전도의 피크점과 맥파의 피크점을 각각 $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$ 로 정의한다. 이후 두 점을 연결하는 직선의 방정식을 구하고 구한 선분과 원 신호간의 진폭 차이의 최고 값이 나타난 지점을 맥파의 시작점을 나타내는 기시점으로 한다.



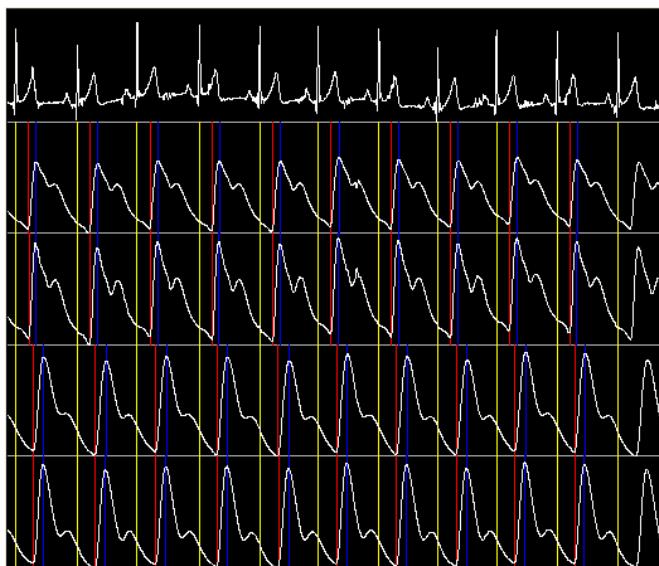
(그림 4) 맥파의 기시점 검출방법

맥파의 형태를 관찰한 결과 (그림 6)에서 보이는 바와 같이 크게 4 가지 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 앞서 설명한 기시점 검출 알고리즘을 적용하여 4 가지 형태의 맥파에서 모두 정확히 검출하였다.

(그림 7) 에서는 1 채널 심전도와 4 채널 사지맥파를 동시에 측정하여 저장된 데이터에 제안한 알고리즘을 적용시켜 심전도의 피크점과 맥파의 기시점 및 피크점을 검출하여 표시한 예를 보인다. 여기서 심전도 피크점을 기준으로 각 맥파간의 시간간격이이 맥파전달시간이 되며, 맥파전달시간을 이용하여 맥파전달속도 측정이 가능하다.



(그림 5) 맥파의 4 가지 형태 (a) 기울기가 일정하게 감소 후 증가 (b) 기울기가 일정하게 유지하다 증가 (c) 기울기가 약간 증가후 급격히 증가 (d) 기울기가 타원을 그리며 감소 후 증가



(그림 6) 제안 알고리즘을 이용하여 1 채널 심전도의 피크점과 4 채널 사지맥파 신호의 기시점 및 피크점 검출 예

3. 고찰

본 연구는 향후 동맥경화 환자를 대상으로 실험데이터 취득 및 상관관계 분석으로 동맥경화도를 진단할 수 있는 기반이 될 수 있으며, 당뇨 및 고혈압환자와의 연관관계 분석에도 활용이 가능할 것이다.

Acknowledgements

이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014H1C1A1066998)

참고문헌

- [1] Safar ME, London GM. Therapeutic studies and arterial stiffness in hypertension: recommendations of the European Society of Hypertension. The Clinical Committee of Arterial Structure and Function. *J Hypertens* 2000; 18: 1527–1535.
- [2] Mori J Krantz, “Pulse wave velocity and carotid atherosclerosis in White and Latino patients with hypertension”, *BMC Cardiovascular Disorders* 2011, 11:15 doi:10.1186/1471-2261-11-15
- [3] Sugawara J, Hayashi K, Yokio T, Cortez-Cooper MY, DeVan AE, Anton MA, Tanaka H: Brachial-ankle pulse wave velocity: an index of central arterial stiffness? *J Hum Hypertens* 2005, 19:401-406
- [4] Blacher J et al. Impact of aortic stiffness on survival in end-stage renal disease. *Circulation* 1999; 99: 2434–2439.
- [5] Munakata M, Ito N, Nunokawa T, Yoshinaga K: Utility of automated brachial ankle pulse wave velocity measurements in hypertensive patients. *Am J Hypertens* 2003, 16:653-657.