

새로운 맥파 인식 알고리즘을 적용한 자동 맥파 시스템에 관한 연구

박 승 환·홍 승 홍

= Abstract =

A Study on the Auto-diagnosis Plethysmograph by Novel Algorithm for Radial Pulse Detection

Park Seung Hwan, Hong Seung Hong

This paper describes a new system that detects radial pulse wave and allows the diagnosis of malfunctions of cardiovascular system by analyzing the waveforms with the newly proposed algorithm. The system consists of a sensor part and a data processing part within which a new detection algorithm is incorporated. In acquiring radial pulse signal noninvasively, the sensor used in this system is a new combinational fiber-optic sensor which has a detecting part and a transmitting part. Also, In order to analyze the characteristics of pulsation quantitatively, the algorithm proposed in this paper is a method that runs in parallel with both the data of ECG and differential pulse simultaneously. these concepts are based upon the idea that three Q points of ECG give obvious discrimination of one entire period of pulse in any abnormal cases, and newly defined feature lines at the differential counterpart can be used to recognize some significant points in one period of pulses.

Key words : Radial pulse fiber-optic sensor feature point

서 론

심장 질환을 진단하는 심전도 검사법은 검사법의 안정성, 신호 검출과 정보 취득의 용이성 등을 구비한 자동진단 시스템이 개발되어 임상에 이용되고 있다. 심전도와 달리 맥파신호는 압력의 발생원인 심장과 혈액의 전파 경로인 혈관계에 관한 정보가 포함되어 있을 뿐만 아니라 피검자에게 고통과 부담을 주지않는 방법인 비관혈적인 방법으로 측정할 수 있다는 잇점을 갖고 있음은 물론, 이러한 맥파신호에 대한 유효성과 중요성이 크게 인식됨에 따라 심전도와 병행하여 맥파정보까지도 처리가능한 시스템 개발의 요구가 커지고 있다^{1, 8~11)}.

심전도와 함께 심혈관계의 맥파정보를 동시에 얻을 수 있는 맥진 시스템의 활용은 특히 한방의 맥진분야의 계량진단화에 필요한 시스템 중의 하나이다. 그러나 맥진시스템의 개발 중에서 가장 중요하게 다루어져야 할 부분인

맥파 검출방법의 신뢰성과 검출된 맥파파형에 대한 정확한 진단 정보취득의 가능성 여부의 두 면으로 볼 때 현재의 맥진용 시스템은 진단장비로서 취약한 상태이다.

현재까지 실용화된 무침습적 맥파검출 방법은 광학적 검출 방식과 기계적 변환 방식이 있다. 전자는 빔의 생체조직 및 혈액의 투과특성이 문제가 되는 반면에 후자는 트랜스듀서의 피부접촉에 따른 맥동의 감지능력이 문제가 된다¹⁾. 진단정보를 얻기위한 파형의 특징점 인식에서도 첫째, 맥파 그대로의 기울기 또는 미분맥파를 이용하는 방법, 둘째, 경계선 검출자(edge detector)에 의한 연산자법^{3, 5)}, 셋째, ECG에 사용된 기존의 검출 알고리즘을 절충하는 방법등이 사용되고 있다⁹⁾. 이와같은 기존 맥파의 특징점을 검출하는 방법들은 맥파 한 파형에 의존하는 인식방법이다. 맥파만을 단독으로 사용한 특징점 인식은 파형 주기 구분의 중대한 오류가 발생할 수 있으며, 기저선의 작은 변화에 민감해져 인식상의 문제점이 대두된다.

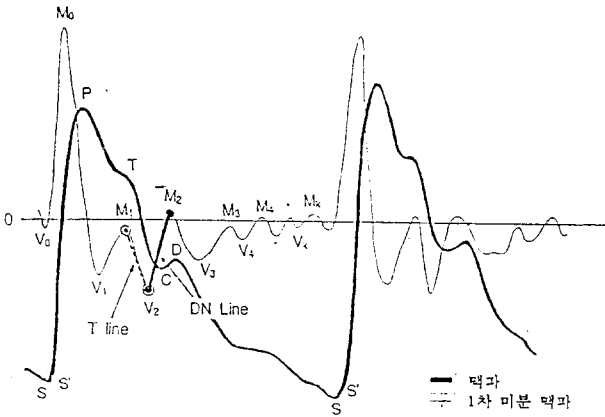


그림 1. 절흔과 DN line의 형성
Fig. 1. Formation of dicrotic notch and DN line

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서 맥동전달 효과를 높이기 위한 기계적 검출 방식과 광학적 감지 방식을 결합한 새로운 형태의 조합형 방식을 이용했다. 이는 검출부와 감지부를 갖는 조합형 광맥파 트랜스듀서로 구성되는데 보다 신뢰성있는 파형검출이 가능하다^{4,5)}.

맥파 파형의 인식 알고리즘의 새로운 기법으로서 ECG의 주기와 맥파의 주기를 관련시켜 해결하는 방법을 이용했다. ECG의 Q파를 맥파의 1주기 검출에 이용하고 미분 맥파의 특징선을 적용하는 새로운 방법인 3Q-1 주기법을 고안하여 수행했다.

이는 ECG의 Q파 주기와 맥파의 미분데이터 값에서 본 연구에서 제안된 DN 선, T 선을 검출해냄으로써 그림 1에 있는 맥파의 주요 특징점인 S, P, T, C, D파와 수축 주봉(systolic main peak)인 P파에 이르는 상승곡선상에 심수축력의 감퇴로 발생하는 전릉파(前隆波, anacrotic wave)인 A파를 인식하는 것이다¹¹⁾.

본 연구는 맥진시스템이 갖추어야 할 가장 중요하다고 생각되는 두 기능인 맥파검출과 맥파인식에 관한 연구로서 이미 발표된 조합형 광파이버 트랜스듀서를 이용하여 맥진시스템을 구현하였고, 이 시스템에 의해 검출된 맥파에 새로이 제안된 3Q-1 주기법을 적용하여 각 특징점들을 인식하므로써 진단상의 주요 파라미터 값들을 측정하고 그 유용성을 평가하였다.

맥파검출용 조합형 광맥파 트랜스듀서

맥진센서로서의 기본 조건으로, 첫째 넓은 수압범위(30-350mmHg)가 요구된다. 이것은 센서가 피부를 눌러 측정하는 과정에서 실제의 혈압값보다 높은 센서의 혈압값을 나타낼 수 있어야 하기 때문이다. 둘째, 주파수 응답으로 최소한 0-80Hz 범위의 특성을 나타내어야 한다. 3개의 트랜스듀서를 프로토타입(P-1, P-2, P-3)으로 제

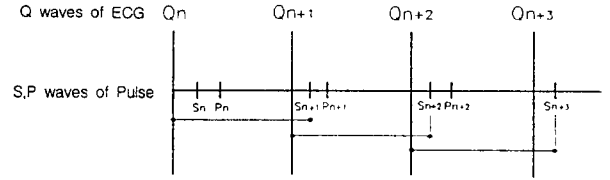


그림 2. ECG와 맥파의 주기 비교
Fig. 2. Comparison of Period between Pulse and ECG.

작하여 시험평가하였다. P-1형의 경우⁴⁾ 감지부의 형태는 투광 파이버와 수광 파이버가 반사막과 45°로 경사를 이루도록 배치되어 있어, 반사면에서의 광손실을 억제하고 최대의 광출력을 얻도록 설계되어 있다. 그러나 검출부의 지지대(support)와 맥검자(arterial rider)의 형태에 있어서 피부 조건과 손목의 구조적인 면이 고려되지 않아서 파형검출이 용이하지 않았다. P-2형의 경우⁵⁾, 감지부의 형태는 투광 파이버와 수광 파이버의 배치가 반사막과 수직을 이루도록 되어있다. 이러한 배치는 감지부의 변위(displacement) 측정 범위가 증가하여, 넓은 수압 범위를 갖는 센서를 설계할 수 있다는 장점이 있는 반면, 반사면에서의 광손실이 커져 신호검출에 악영향을 끼치므로, 결국 이러한 형태는 다수광(多受光), 다투광(多投光) 파이버를 이용한 번들(bundle)형 광파이버를 사용해야 할 것이다.

P-3형의 경우, 위에서 언급한 지식의 배경을 종합하여, P-1형에서 감지부의 형태를 반사막과 45°의 경사를 갖는 투·수광 파이버의 배열로 변경하고, 피부와 손목 구조를 고려한 검출부의 설계로 맥파를 매우 효과적으로 검출할 수 있었다⁴⁾.

맥파의 특징점 인식

1. 3Q-1주기 윈도우법을 이용한 S점의 인식

그림 2를 보면 ECG신호의 Q파에 의한 맥파의 1주기 구간은 다음과 같은 방법으로 설정될 수 있다.

심전도의 [Qn, Qn+2]를 맥파의 1주기 구간으로 설정하는 경우 이 방법은 Qn, Qn+1, Qn+2점들에 대해 우선 [Qn+1, Qn+2]구간에서 Sn+1을 구해내고 새로운 구간으로 [Qn, Sn+1]을 알고리즘을 수행하는 맥파의 1주기 구간으로 설정하여 구간을 재조정 하는 것이다. 이 방법을 3Q-1주기방법이라 명명했다. 맥파와 ECG의 2채널 데이터의 관찰로써 또한 맥파와 ECG의 생리학적 연관성으로부터 본 연구에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있었으며, 이 사실을 알고리즘의 단계별 수행의 정의로서 활용하였다. 즉, ECG의 Q파와 다음 Q파의 구간에는 하나의 맥파 주기가 존재하지 않을 수 있으나, 맥파의 특징점인 한개의 S점과 한개의 P점은 반드시 존재한다는 사실로부터

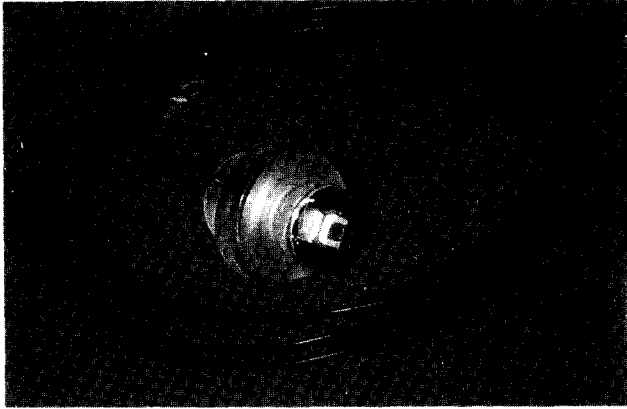


사진 1. 트랜스듀서의 외관
Pic. 1. External appearance of the transducer for pulse detection

다음과 같이 정의하였다.

[정의] : ECG의 $[Q_n, Q_{n+1}]$ 구간에서는 맥파의 S파가 반드시 하나만 존재한다.

맥파에서 S파는 물론 충격파(衝擊波, percussion wave)인 P파도 하나 존재하지만, P파가 A파와 함께 생겨날 수도 있어서 P파와 A파의 구별 알고리즘이 한단계 더 요구되기 때문에 P파는 알고리즘 수행상 정의에서 제외시켰다. 이 정의된 사실을 이용하여 $[Q_{n+1}, Q_{n+2}]$ 의 구간이 설정되고, 미분맥파의 데이터 최대값에서 역방향으로 영교차점을 탐색함으로써 하나 존재하는 S_{n+1} 이 쉽게 검출된다. 이어서 Q_n 과 S_{n+1} 사이의 구간을 알고리즘을 수행하는 맥파의 1주기로 설정하고 맥파의 다른 특징점들을 추출하게 된다.

2. 절흔과 DN line

맥파의 다양한 형태에 대하여 파형의 특징점(S, A, P, T, C, D) 인식의 측면에서 구분되는 기준을 제시해 보면, 1) 절흔(切痕, incisura) C점의 유무, (2) 전릉파(前隆波, anacrotic wave) A의 유무, (3) 조랑파(潮浪波, tidal wave) T파의 유무로 분류될 수 있다¹⁾.

알고리즘 수행상 T파와 D파의 유무를 인식하는 데 있어서 C점을 포괄하는 판단의 기준이 되는 중요한 선(line)이 발견되는데, 이 선을 우리는 DN 선이라 규정하였다. 그림 2에 정상후릉파(normal catacrotic wave)의 맥파신호와 1차 미분, 2차 미분 값을 나타내었다. 본 연구의 알고리즘 적용에 있어서 이 데이터를 표준데이터로 활용하였다. C점의 유무를 판정하고 D점을 검출하기 위해서 절흔이 존재하는 모든 미분 맥파에서 발견되는 봉(峰) M2 에서 곡(谷) V2까지를 연결하는 이 경사선이 DN 선(Dicrotic Notch line)이다. M1~Mk, V1~Vk 중에서 $\max(M_n)$ 과 $\max(V_n)$ 의 두점을 연결하는 경사선

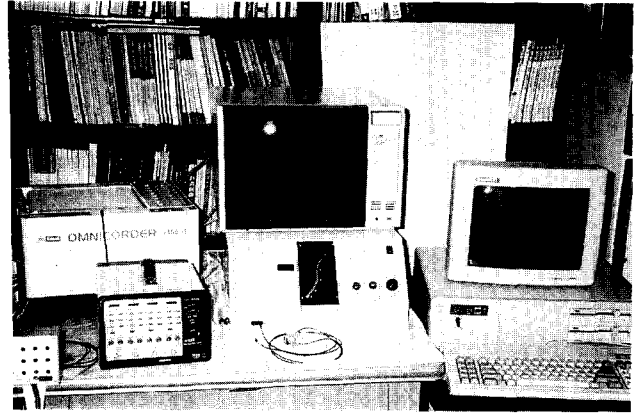


사진 2. 자동 맥진 시스템의 구성
Pic. 2. Constitution of the auto diagnosis system

을 의미한다. T파의 유무 판정도 미분맥파의 봉 M1에서 곡 V1까지의 경사선을 T 선(Tidal wave line)이라 정의하였다. $\max(M_{n-1})$ 과 $\max(V_{n-1})$ 이 존재한다면 이 두점을 연결하는 경사선을 의미한다.

T 선 < DN 선의 조건을 만족하면 T 선의 검출로써 T파의 존재를 인정하게 된다. 다음 D파와 P파로 인정된 두 데이터 값을 비교하여 $P < D$ 이면 P파는 A파로 인식되고 D파는 참된 정점인 P파로 확정된다. 전릉파가 있는 맥파의 C점은 이미 발견된 DN 선을 제외시킨 상태에서 다시 새로운 DN 선을 발견함으로써 인식될 수 있다.

실험 및 결과

1. 트랜스듀서의 제작

트랜스듀서의 구성재료는 직경 0.8mm, 외경 1.8mm, 광표 집 각도 20° 인 광파이버와 반경 25mm인 폴리비닐을 사용하였고, 광파이버와 반사막과의 거리 L은 2mm이다. 트랜스듀서의 무게는 22g으로 생체 부담을 주지 않도록 설계하였다.

트랜스듀서 검출부의 맥검자에 압력(g/cm²)을 가하면, 감지부에서 광 검출기(photodetector)는 전류-전압 변환기(current-voltage convertor)를 거쳐 광의 세기를 전압의 크기로 바꾼다²⁾. 실험에서 제작된 증폭 회로의 경우 전류-전압 변환기의 출력단의 전압 변화는 트랜스듀서의 전 수압범위에 대해 0~0.5V로서 비교적 큰 감도를 얻을 수 있었고, 드리프트 제거회로의 차동 증폭단을 거쳤을 경우의 SN비는 56dB이었고, 수압범위는 30~370mmHg였다. 본 연구에서 제작된 P-3형의 트랜스듀서에 대한 외관을 사진 1에 보였다.

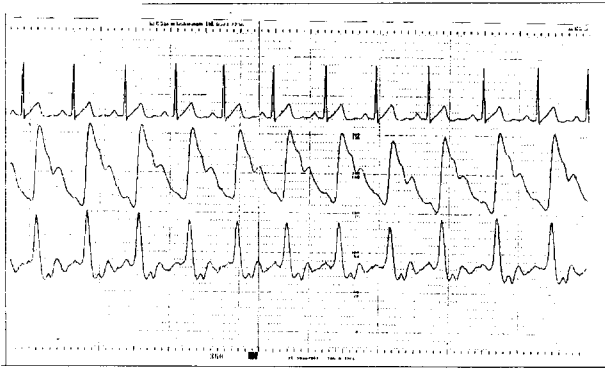


그림 3. ECG, 맥파, 미분맥파의 3채널 검출 결과
Fig. 3. Record of ECG, pulsewave and differential pulse

2. 시스템 구성

전체 시스템은 맥파 센서부, CRT 모니터, ECG, 데이터 레코더, PC로 구성되며, 사진 2는 실험에서 사용된 실제 맥파 시스템이다.

트랜스듀서의 운용을 위한 파형의 실시간 표시(real-time display)와 기록을 위해 CRT모니터, 기록계를 이용하였으며, PC에서는 검진자(檢診者)에 의해 선택된 진단 유효신호에 대해서만 파형을 저장함으로써 자동진단을 위한 전처리 과정이 이루어지고 환자 데이터로 이용하게 된다.

3. 맥파 검출과 특징점 인식 결과

그림 3에 ECG와 맥파, 미분맥파를 3채널로 동시에 검출한 결과를 보였다. ECG와 맥파는 중요한 상관관계를 가지고 있다. 미분맥파는 별도의 트랜스듀서를 통해 얻어지는 것은 아니고, 검출된 맥파만으로 미분기를 통과시켜 획득한 것으로 특징점 처리에 있어서 알고리즘 적용의 한 방법으로 사용될 수 있는데, 특히 절흔점 검출에 유용하다. 따라서 ECG와 맥파, 미분맥파가 3채널로 동시에 표현되면, 생체신호의 변화를 판독할 수 있게 해줄 뿐만 아니라, 맥파의 전달 속도 측정을 통해 혈관 정보까지 얻을 수 있다. 제안된 특징점 인식 알고리즘을 PC상에서 수행하고 PC모니터에 정상 후릉파의 특징점이 인식되어 나타난 한 예를 그림 4에 나타내었다. 또한 측정된 맥파에 대한 용기시간(upstroke time), 구혈시간(ejection time), 맥파전달시간(pulse transmitting time) 등¹¹⁾의 진단 파라메타값을 표 1에 나타내었고, 맥파 데이터 7종류에 대해 각각 파형 30개씩 총 210개에 대한 특징점 인식결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 실제수는 각각의 맥파 데이터를 눈으로 판정했을 때의 갯수이고, 검출수는 3Q-1주기법을 적용하여 특징점을 자동으로 인식한 갯수이다. 인식률은 검출수를 실제수로 나눈 것이다. D점을

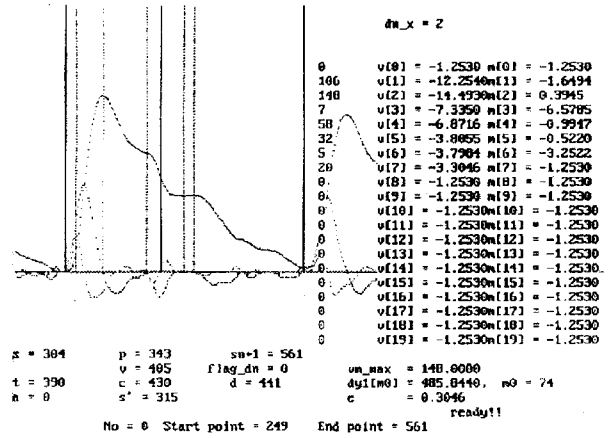


그림 4. 정상후릉맥파의 특징점 검출 인식 결과가 표시된 화면
Fig. 4. PC screen displayed the result of recognition on the feature point of catarcotic wave

제외하고는 모두 93%를 넘는 인식률을 보이고 있다. D점의 인식률이 낮은 이유는 DN선이 잘 검출되지 않는 사다리형파의 영향이 크기때문인데 이에 대해서는 알고리즘의 보완이 필요하다.

결 론

자동 맥진을 가능하게 하기 위해서는 맥파의 자동분석의 선행과정으로써 파형의 특징점 검출이 이루어져야한다. 본 연구에서는 자동맥진을 수행하는 검출 알고리즘으로 기존의 방법보다 개선된 3Q-1주기 방법을 새로이 제안하였고, 맥파와 미분 맥파들의 상관관계의 관찰을 통해 공통적으로 발견되는 현상인 DN 선, T 선을 새로이 정의함으로써 인식률을 높일 수 있었다.

기존의 알고리즘에 비해 새로이 고안된 알고리즘은 다음과 같은 장점을 갖는다.

1) 맥파의 주기성이 명확하게 구분될 수 있어서 맥파 1주기당 알고리즘 수행 구간 설정을 할 수 있다. 이런 효과로 특징점의 인식이 순서적으로 규정되어 프로그램 수행률을 높일 수 있다.

2) 전릉파가 있는 경우와 꼭(谷)을 이루지 못하는 C파, D파의 이상 파형에 대해서도 인식이 가능하다.

지금까지 정상맥파에서만 적용 가능했던 알고리즘을 비정상 맥파에 대해서까지 적용할 수 있는 알고리즘으로 그 응용 범위가 확대 되었다. 이어서 검출된 맥파의 특징점들에 의해 맥파의 용기시간, 구혈시간, 맥파전달시간 등이 진단 파라메터 측정 알고리즘에 의해 측정해 낼 수 있었다. 이 결과는 바로 자동 맥진 시스템의 실용화에 이용될 수 있을 것이다.

시스템 하드웨어 면에서는 맥파검출을 위하여 기존의

방식에 비해 구조 및 제작이 간단하면서도 맥파진단에 실효성이 충분한 신호를 얻을 수 있는 새로운 방식의 트랜스듀서를 적용하였으며, 실용화 됐을 경우 데이터의 기록 유지의 편리성을 도모하였다.

이 시스템이 응용된다면 한의학분야의 4진 중에 하나인 맥진분야 뿐만 아니라 혈류학 분야에도 활용될 수 있어 신체 전반에 걸친 병리적인 면과 질병의 예후 판단자료로 이용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. 홍승홍, "맥파검출과 이의 유효성", 전자공학회지, 제 15권, 제1호, 1978. 3.1.
2. J.Y.Lee and J.C.Lin, "A Microprocessor-Based Noninvasive Arterial Pulse Wave Analyzer." IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-32, No. 6, June, 1985.
3. Horowitz, S.L.A., "Syntacticalgorithm for peak detection in waveforms with applications to cardiography communiton." ACM 18, pp. 281, 1975.
4. 박승환, 홍승홍 외 "광파이버 트랜스듀서에 의한 맥파의 검출", 의공학회지, 제10권, 제3호, pp. 229-235, 1989.
5. 박승환, 홍승홍 외 "광파이버 트랜스듀서에 의한 맥파의 무침습적 검출(II)", 전자공학회 추계 학술대회 논문집, pp. 312-315, 1989.
6. Jacob Kline, "Handbook of Biomedical Engineering", Academic press, Inc., 1988.
7. Richard Skalak and Shu Chien, "Handbook of Bioengineering", McGraw Hill, Inc., 1987.
8. Valerio Annovazzi-Lodi and Silvano Donati, "An optoelectronic interconnection for bidirectional transmission of biological signals", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 35, pp. 595-606, Aug. 1988.
9. Hideaki Shimazu et al., "Noninvasive Measurement of the Volume Elastic Modulus in Finger Arteries Using Photoelectric Plethysmography", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-33, pp. 795-798, Aug. 1986.
10. Kenichi Yamkoshi et. al., "Indirect Measurement of Instantaneous Arterial Blood Pressure in the Human Finger by the Vascular Unloading Technique", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-27, pp. 150-155, Mar. 1980.
11. 吉村正治, 三島好雄 外 "臨床 脈波", 醫學書院