

맥파의 특징점 인식과 파형의 분류에 관한 연구

길세기*, 김낙환*, 이상민*, 박승환**, 홍승홍*
* 인하대학교 공과대학 전자공학과, ** 서울보건대학 의공학과
kclips@korea.com

The Study on the Feature Point Recognition and Classification of Radial Pulse

S. K. Kil*, N. H. Kim*, S. M. Lee*, S. H. Park**, and S. H. Hong*
*Dept. of Electronic Eng., Inha Univ. **Dept. of Biomedical Eng., Seoul Health College
kclips@korea.com

ABSTRACT

In this paper, we present the result of feature points recognition and classification of radial pulse by the shape of pulse wave. The recognition algorithm use the method which runs in parallel with both the data of ECG and differential pulse simultaneously to recognize the feature points. Also we specified 3-time elements of pulse wave as main parameters for diagnosis and measured them by execution of algorithm, then we classify the shape of radial pulse by existence and position of feature points.

서 론

현재 의공학 분야에서 진단기술의 급속한 발전이 이루어지고 있으며 이중에 심장질환을 진단하기 위한 자동 진단화 의료기로서 심전도를 이용하는 방법이 널리 보급되어 사용되고 있다. 한의학의 맥진 분야에서도 계량진단화와 자동진단을 위한 한의학 적 해석을 위해, 심전도와 함께 심혈관계의 맥파정보를 동시에 얻을 수 있는 맥진 시스템의 개발 및 활용이 요구되고 있다. 심전도 외에 맥파신호를 함께 진단정보로서 이용하면 심전도로서는 얻기 어려운 혈관계의 물리적 특성에 관한 정보를 동시에 얻을 수 있으며, 한의학적으로 새로운 접근방법이 접 목될 수 있는 장점을 갖는다.

이러한 맥진 시스템에서 가장 중요하게 다루어져야 할 부분은 맥파 검출방법의 신뢰성과 검출된 맥 파 파형에 대한 정확한 진단 정보취득의 가능성의 두 면에 있다. 특히 후자의 경우, 현재의 맥진용

시스템의 자동진단화 과정에서 요구되는 맥파특징 점의 자동인식을 위한 기법의 발전이 심전도의 파 형 인식기법에 비해 미약한 상태에 있다.

심장 박동을 유발하여 구동시키는 전기적 신호인 심전도 신호와 달리, 맥파신호는 심혈관계의 물리 적 요인에 기인한 결과로 생성되므로 심전도보다 복잡한 변화인자들을 갖는다. 맥파신호는 다양하고 변화가 많은 파형상의 특징으로 인해 맥파 특징점 의 인식에 심전도에서 사용한 기법 외의 접근방법 이 요구된다. 맥파의 특징점을 인식하기 위한 방법 에는 첫째, 맥파의 기울기나 미분값을 이용하는 방 법, 둘째, 경계선 검출자를 이용하는 방법, 셋째, 심전도에 사용된 기존의 검출 알고리즘을 사용하는 방법의 세가지 대표적인 방법이 있다. 이외에 뉴럴 네트워크나 웨이블릿을 이용한 방법들도 사용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 기존의 인식방법과 맥파신호의 다 양한 특징을 고려하여 맥파 파형의 인식 알고리즘 의 새로운 기법으로서 ECG의 주기와 맥파의 주기를 관련시켜 해결하는 방법을 개발했다. 이는 ECG의 Q 파를 이용하여 맥파의 1주기를 검출하고 미분맥파 의 특징선을 인식논리로 적용한 새로운 방법으로, 3Q-1 주기법에 의한 인식 알고리즘은 ECG의 Q파 주기와 맥파의 미분값에서 본 연구에서 설정된 DN 선 (DN line)과 T선(T line)을 검출해냄으로서 아래 그림 1의 맥파의 주요 특징점인 S, P, T, C점의 인식 을 수행할 수 있도록 하였고 심장과 심장혈과의 물 리적인 특성을 나타내주는 주요 맥진 파라미터인 용기시간(Up-time), 구혈시간(E-time), 맥파전달시 간(Tp-time)을 구하였다.^{[1][2]}

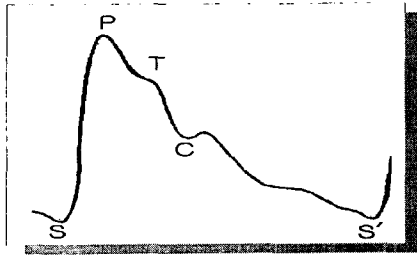


그림 1 맥파의 특징점

본 연구에서는 이러한 인식 알고리즘을 토대로 프로그램 수행의 실제적 문제를 해결하고 인식 수행 방법을 개선하기 위해, 자신을 신체 강건한 정상자(定常者)로 인식하고 있는 다수의 피검자를 대상으로 맥파 데이터를 획득하고 인식 프로그램을 적용하여 그 결과를 조사하였다. 여기에 프로그램의 인식 오류등의 문제점을 해결하고 인식률을 향상시키기 위해 인식적 측면에서 결과에 대한 분류가 시도되었으며 새로운 분류방법을 제시하였다. 그 과정에서 맥파데이터의 획득 소프트웨어와 인식을 위한 전처리(pre-processing)에서 요구되는 필터링 소프트웨어, 맥파 특징점 인식 소프트웨어등을 개발하여 사용하였다.^[3]

맥파의 특징점의 인식

가. 3Q-1 주기 윈도우법

맥파의 한 주기는 ECG와 달리 불분명한 특성을 보일 수 있고, 파형의 형태변화와 기저선의 요동이크어서 주기인식의 혼란이 발생할 수 있다. 맥파의 잘못된 1주기설정은 특징점 인식의 혼란을 초래하여 인식률에 많은 악영향을 준다. 이러한 문제를 극복하기 위해 3Q-1 주기 윈도우법이라고 하는 기법을 개발 이용했다. 이는 ECG의 Q파와 다음 Q파의 구간에는 하나의 맥파주기가 존재하지 않을 수 있으나, 맥파의 특징점인 한 개의 S점과 P점은 반드시 존재한다는 사실로부터 인식기준을 설정하였다. 먼저, Q파로부터 S와 P점의 인식 특히, S파의 존재를 검출하고 다음에 오는 S파와 함께 맥파의 1 주기를 인식한 후에 단계별로 그 외의 맥파 특징점을 검출하는 것이다. 본 연구에서는 20~26세 남성 80여명에게서 얻은 약 200여개의 데이터를 사용하여 인식을 행하였고, 맥파의 형태를 특징점의 인식의 관점에서 분류하였으며, 인식상의 판단 요소를 결부시켜 알고리즘에 적용시켰다.

나. 절흔(C, incisura)과 DN선

알고리즘 수행상 T파와 D파의 유무를 인식하는데 있어서 C점을 포함하는 판단의 기준이 되는 중요한 특징적인 선이 발견되는데, 이 선을 우리는 DN선이라 설정하였다.

아래 그림으로부터 DN선의 형성과정을 심장의 생리학적 현상과 함께 살펴보면, DN선은 심장 수축기가 끝나 미분 맥파의 값이 크게 강화된 점에서 시작되어 미분 맥파의 기울기 상승과 정점 도달까지 형성되는 선이다. 즉, 심장수축기가 끝난 후에 심실 내압과 대동맥과의 차에 의해서 대동맥의 혈액이 심실 방향으로 빠르게 역류될 때 폐쇄되어 있는 대동맥판과 만나며, 판 및 심근의 탄성이 작용하여 다시 혈류가 대동맥 방향으로 압력을 가하고 되돌아 오는 시기까지 형성되는 변화를 기록한 것이다. 이러한 혈류의 역, 반(逆, 反) 운동이 수축기 다음으로 맥파 파형상에 큰 특징적 변화를 발생하게 한다.

DN선의 유무에 따라 T파와의 유무 및 위치를 예측할 수 있는 인식판단의 기준이 되며, C점 및 D점 발견에 이용될 수 있는 미분 맥파 상의 특징선이라 할 수 있다. 이 DN선을 알고리즘 수행에 이용할 때 얻어지는 효과는 맥파상에서 절흔이 곡을 이루지 않아 구분이 어려운 절흔이라도 미분 맥파 상에서는 DN선으로 명확히 확대되어 표현되므로 C점이 용이하게 인식될 수 있게 한다.

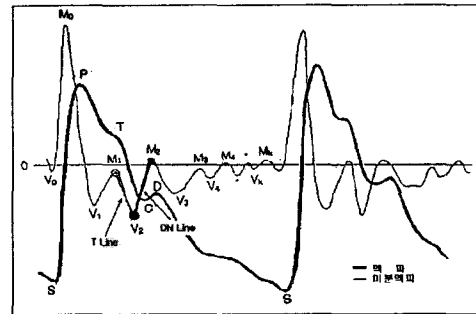


그림 2 맥파의 주요 특징점

위 그림 2에 정상후흉파의 맥파 신호와 1차 미분, 2차 미분 값을 나타내었다. C점(切痕)의 유무를 판정하고 D점을 검출하기 위해서, 그림의 봉(峰) M₂에서 곡(谷) V₂까지를 연결하는 경사선이 DN선(dicrotic notch line)이다. 즉, M₁ ~ M_k, V₁ ~ V_k 중에서 max(M_n)과 max(V_n)의 두점을 연결하는 경사선을 의미한다.

또한, 그림 2에서 미분 맥파의 봉(峰) M₁에서 곡(谷) V₂까지의 경사선을 T 선(tidal wave 선)이라 정의하고 T파의 유무 판정을 위한 인식기준으로 이용하였다. 즉, max(M_{n-1})과 max(V_{n-1})이 존재한다면 max(M_{n-1})과 max(V_n)의 두점을 연결하는 경사선을 의미한다. T 선 < DN 선의 조건을 만족하면 T파의 존재를 인정하게 된다.

파형의 분류

맥파의 진단상의 분류와 관계없이 본 연구에서는 맥파의 형태를 특징점의 인식의 관점에서 분류하였으며, 인식상의 판단 요소를 결부시켜 알고리즘에 적용시켰다.

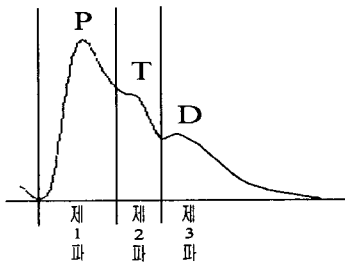


그림 3 정상후류파의 구성 맥파

정상 후류파의 특징점 인식을 위한 맥파 형태는 위 그림 3과 같이 크게 제 1파, 제 2파, 제 3파의 맥파로 구성되며, 피검자에 따라 파의 소실, 정점(頂點) 및 곡점의 탈락 현상, 또는 변용(變容)을 고려하여야 한다. 제1파는 P파, 제2파는 T파(조랑파), 제3파는 D파(중복파)를 이루며, 특히 T파는 진단상의 의미와 관계없이 맥파인식의 알고리즘 면에서 그 형태와 위치가 중요하다. 인식의 결과를 보면 정상인 청년(20-26세)이 갖는 다양한 맥파파형의 변화를 나타내며 특징점의 존재유무, 위치, 형태에 따라 크고작은 차이를 수반하여 인식상의 오류를 발생시키는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 혼돈과 오류를 피하고 인식률을 향상시키며, 그 문제점을 해결하기 위해 다수의 맥파 예를 인식적 측면에서 분류하고 이를 다시 인식 알고리즘에 적용시켜 인식률을 향상시켰다. 본 연구에서는 맥파의 파형을 다음과 같이 1) T파가 소실된 경우, 2) T파가 정점을 갖는 경우, 3) T파가 정점을 갖지 않는 경우, 4) 절흔이 중심선 위에 있는 경우, 5) 절흔이 중심선 아래에 존재하는 경우, 6) D파가 소실된 경우, 7) D파가 확대된 경우, 8) 예외인 경우로 분류하였다.^[4]

특징점 인식 및 측정 결과

개발된 맥파 인식 소프트웨어를 실제로 적용하여 결과 데이터를 얻기 위해 자신을 건강자로 인식하고 있는 피검자 80인을 대상으로 심전도와 맥파데이터를 얻고 각 프로그램을 수행하였다. 1인당 20개~30개의 파형에 대해 전체 80인의 데이터의 인식률을 조사하고 항목별로 표시한 것이 아래 표 1이다. 여기에서 실제수는 각각의 맥파 데이터를 눈으로 조사했을 때의 개수이고, 검출수는 인식 프로그램을 적용하여 특징점을 자동으로 인식한 개수이다. 인식률은 검출수를 실제수로 나눈 것이다. 단, 파형의 분류 중에서 T파가 소실된 경우의 T파 인식

은 제외시켰다.

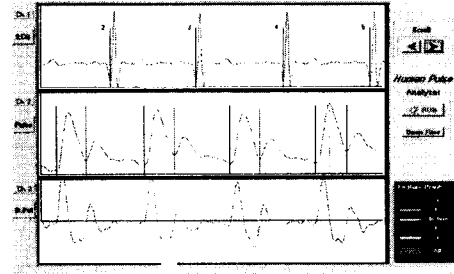


그림 4 D파가 확대된 경우의 인식결과 예

S, P점의 경우는 예외인 경우를 제외하고는 모두 94%를 넘는 인식률을 보이고 있다. T파의 인식률이 다른 특징점의 인식률보다 낮은 이유는 T파가 정점을 이루지 않고 완만한 경사를 형태를 보일 경우에 실제 눈으로서는 판단하기가 어려워지며 T파로 인정할 것인가의 여부를 확정치 못하는 경우들이 많이 발생하기 때문이다. 절흔 C의 경우 T파가 정점을 이루며 크게 발달하는 경우 T파를 절흔으로 오인하여 절흔의 인식에 영향을 줄 수 있으나 본 연구에는 비교적 높은 인식률을 보였다.(86%이상)

특징점 분류 파형	S(%)		P(%)		T(%)		C(%)	
	검출 수	실제 수	검출 수	실제 수	검출 수	실제 수	검출 수	실제 수
1. T파가 소실된 경우	94		95				91	
2. T파가 정점을 갖지 않는 경우	97	103	98	103			90	99
3. T파가 정점을 갖는 경우	94		95		75		90	
4. 절흔이 중심선 위에 존재하는 경우	810	862	819	862	646	862	747	830
5. 절흔이 중심선 아래에 존재하는 경우	95		94		86		91	
6. D파가 소실된 경우	290	305	287	305	262	305	278	305
7. D파가 확대된 경우	95		94		90		87	
8. 예외인 경우	219	231	217	231	192	213	196	225
9. 예외인 경우	95		95		81		91	
10. 예외인 경우	987	1039	987	1039	691	853	894	982
11. 예외인 경우	94		95		80		86	
12. 예외인 경우	42	45	43	45	16	20	37	43
13. 예외인 경우	95		95		82		92	
14. 예외인 경우	458	483	458	483	268	327	444	483
15. 예외인 경우	91		90		62		75	
16. 예외인 경우	35	38	34	38	8	13	21	29

표 1 특징점 인식률 (Recognition rate of characteristic point)

맥진단 파라미터의 측정결과

맥진단 파라미터의 측정은 맥파 인식에 이어 연속적으로 수행되도록 하였다. 특징점 인식 알고리즘

에 의해 인식된 S,P,C점은 표본화율에 따라 시간적 데이터로 환원되고 다음과 같은 진단 파라미터의 측정 계산식에 의해 자동으로 결과가 산출된다.

$$\begin{aligned} \text{용기시간(Up-time)} &= (S - P) / \text{샘플링 주파수} \\ \text{구형시간(E-time)} &= (S - C) / \text{샘플링 주파수} \\ \text{맥파전달시간(Tp-time)} &= (Q - S) / \text{샘플링 주파수} \end{aligned}$$

아래 그림 5에 맥진단 파라미터를 구한 예를 나타내었다. 인식 프로그램 우상단에 테이블로 표시되는 중속된 창이 열려서 각 주기별로 진단 파라미터들의 값을 표시해주고 있다.

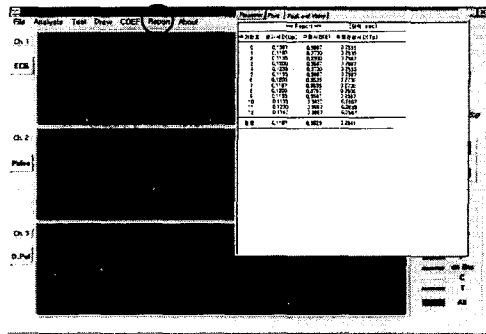


그림 5 진단 파라미터의 측정

이와 같이 맥진단 파라미터들을 측정하는 주요 이유는 심기능 장애와 물리적 특성변화에 대한 심수 측정 장애, 판막의 이상등을 알기 위해서이다.

대체적으로 용기시간의 측정에서 경동맥파의 경우 $0.09 \pm 0.02\text{sec}$, 지철맥파의 경우 $0.13 \pm 0.02\text{sec}$ 이다. 구형시간의 경우에는 경동맥파의 경우 $0.30 \pm 0.06\text{sec}$, 지철맥파의 경우 $0.32 \pm 0.06\text{sec}$ 정도가 표준으로 인정되고 있다. 아래 표 2에서 알수 있듯이 측정된 값들은 위의 값들을 만족하며 맥파파형을 분석하여 맥파전달시간이 측정되면, 맥파속도가 측정되어 심장의 기능장애, 동맥경화, 협착, 폐쇄에 대한 진단 파라미터로서 임상 진단논리 선정에 유효 정보를 제공할 수 있게 된다.

파라미터 피검자	Up-time (sec)	E-time (sec)	Tp-time (sec)
1	0.1187	0.3528	0.2641
2	0.1311	0.3738	0.2825
3	0.1027	0.2811	0.2846
4	0.1107	0.3017	0.2859
5	0.1167	0.3298	0.3138
6	0.1490	0.3917	0.2619
7	0.1173	0.3271	0.2902
8	0.1275	0.2969	0.3218
9	0.1281	0.3467	0.2956
10	0.1152	0.3229	0.2824
...
...

표 2 맥진단 파라미터

결 론

선정된 맥파데이터(80인의 맥파)에 대해 인식률을 조사한 결과, 극히 예외적인 맥파를 제외하고 S,P의 각 점에 대하여 94%이상, T파의 경우 80%이상 C점의 경우 90%에 이르는 높은 인식률 분포를 보임으로서 결과 인식의 유효성을 확인할 수 있었다. 따라서 맥파인식의 혼돈과 오류를 피하고 인식률을 향상시키며 그 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서의 분류방법이 사용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구의 맥파인식을 위한 소프트웨어 시스템은 맥진 자동화 시스템에 이용되어 맥진의 가장 기본이 되는 정상후류파에 대한 임상적 유효정보로서 신체 전반에 걸친 병리적인 면과 질병의 예후에 대한 판단자료를 제공할 수 있을 것이다.

그러나 앞으로 정상후류파의 유형이 아니며 병리적 특성을 갖고 변화가 많은 맥파에 대해서도 인식 소프트웨어의 적용이 가능하도록 하여야 하며, 더 많은 특징점(A파, D파)인식 알고리즘에 대한 지속적인 연구와 개발이 이루어져야 할 것이다. 또한, 맥파신호에서 보다 유용한 정보를 얻기 위한 기능도 추가되어 한의학의 맥파 진단분야의 진단의료기로서 그 가치가 분명히 입증된 확고한 의료장비로 발전되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] D.E. Bahr, and J. Petzke, "The automatic arterial tonometer." Proc. Annu. Conf. Eng. Med, Biil., pp. 259, 1973.
- [2] Y. Wei and T. Winchester, " Electronic diagnoser of arterial pulse, " Journal of Medical Engineering & Technology, volume, Number 4 (July/August 1985), pages 186-189.
- [3] Cox J.R, Nolle F.M, Fozzard H.A, et al., " Azted, a preprocessing program for real time ECG 2rhythm analysis, " IEEE Trans. BME-15, pp.128-129.
- [4] 吉村正治, 三島好雄 의 "臨床 脈波", 醫學書院