

심전도에서 P파의 검출방법에 관한 연구

주장규* · 이기영* · 배철수* · 이상식**

A study on P wave detection method in ECG

Jang-kyu Ju* · Ki-Young Lee* · Cheol-Soo Bae* · Sang-Sik Lee**

요 약

본 연구에서는 부정맥 판독을 위해 심전도 신호로부터 P파의 강조 및 검출 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 고전적인 필터나 이동평균필터를 사용하지 않고 하강 기울기의 변곡점을 검출하기에 효과적인 하강 기울기 추적과를 이용하여 고주파 잡음을 무시해 주는 필터 용도로 사용함과 동시에 진폭이 낮고 불명확한 P파와 T파를 강조해 줌으로써 이들의 검출을 용이하게 하였다. 이 강조 및 검출 방법을 MIT/BIH 데이터에 적용하여 구현하였으며 그 실용성을 확인하였다.

Key Words : ECG, P wave, arrhythmia, T wave, Filter

ABSTRACT

In this study, a P wave emphasizing and detection algorithm from ECG signal was proposed to read arrhythmia. The algorithm uses two slope tracing waveform, the descending slope tracing wave and the ascending slope tracing wave, developed for efficient determination of slope inverting points and sudden slope changing points. The algorithm generates the slope tracing waveform which trace the original ECG wave, and subtracts one tracing wave from the other to detect P and T waves. The algorithm has been applied to MIT/BIH database in order to verify its efficacy and validity in practical applications.

1. 서 론

잡음이 유입되어 왜곡된 심전도에서 진폭이 큰 R파의 검출은 비교적 용이하다. 하지만 심전도의 P파와 T파는 심장의 전기적, 생리적 특성을 나타내는 중요한 파동으로 다양한 임상적 의미를 가짐에도 불구하고, 낮은 진폭과 형태의 불명확성, 가변성 때문에 그 검출은 여전히 어려운 문제이다.

일반적으로 심전도의 잡음을 제거하기 위하여 이동평균방법이 사용하였다. 그러나 심전도의 P파와 T파와 같이 진폭이 낮은 파형은 이동평균의 길이가 길어짐에 따라 파형이 훼손되는 문제가 있다 [1-2].

심전도의 P파와 T파를 검출하기 위해 기존에 제안된 대표적인 방법들은 Hengeveld 와 Van Bommel 의 방법[3]과 Gritzali 등의 방법[4]이 있

* 관동대학교 의료공학과

** 교신저자: 관동대학교 의료공학과 교수 (lsskyj@dreamwiz.com)

접수일자 : 2011년 01월 05일, 수정일자 : 2011년 01월 25일, 심사완료일자 : 2011년 02월 03일

다. Hengeveld 와 Van Bommel 의 방법은 QRS 파를 검출하고 제거한 후 대역필터를 거친 신호에 검색구간을 설정하여 알고리즘을 적용하는 방식이고, Gritzali 등의 방법 다중채널 신호들의 미분치를 결합하는 크기 변환을 거친 후 알고리즘을 적용하는 등의 복잡한 과정을 거치게 된다. 그러나 이상의 방법들에서도 심전도에 고주파 잡음이 유입되어 신호가 왜곡된 경우 심전도의 P파와 T파의 검출에 어려움이 있다.

본 연구에서는 고주파 잡음이 유입되어 왜곡된 심전도로부터 P파와 T파를 강조하고 검출하는 방법을 구현하였다. 이 방법에서는 신호의 기울기 반전점과 특히 하강 기울기의 변화가 큰 기울기 변곡점을 효과적으로 검출하는 하강 기울기 추적파[5, 6]를 이용하였다. 여기서 하강 기울기 추적파는 고주파 잡음을 무시함과 동시에 진폭이 낮고 불명확한 P파와 T파를 강조해 줌으로써 이들의 검출을 용이하게 하였다. 제안된 이 방법은 실용성을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터에 적용되었고, 그 효용성과 타당성을 확인하였다.

II. 잡음 심전도의 하강 기울기 추적파

기울기 추적파는 자동형 제세동기(AED, Automatic External Defibrillator)에서 심실 세동을 효과적으로 검출하기 위해 개발되었다. 본 연구에서는 하강 기울기의 신호를 추적하는 의미에서 붙여진 하강 기울기 추적파는 그림1에 점선으로 나타내었으며, 다음에 설명할 주어진 조건에 따라 매 샘플치가 발생할 때마다 새로운 값으로 갱신된다.

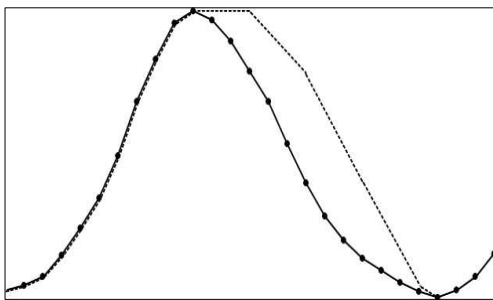


그림 1. 하강 기울기 추적파의 동작
Fig 1. Operation of descending slope tracing wave.

1. 신호의 굴곡 검출

그림 1에서 하강 기울기 추적파의 주어진 조건은 원 신호의 진폭이 증가하는 동안의 신호이다. 원 신호의 상승 기울기에서는 그 증가되는 신호와 동일한 모양의 진폭으로 갱신하면서 추적파가 생성된다. 하지만 더 이상 진폭이 증가하지 않는 최고의 진폭에 해당하는 점에 도달하면 수~수십 ms 일정시간의 최고의 진폭을 유지한 후, 일정시간 전에 원 신호가 감소하는 즉 하강 기울기에 해당하는 원 신호의 진폭들의 평균치 모양으로 하강하는 추적파를 생성한다. 이렇게 추적파를 생성하다가 하강 방향으로 추적하는 하강 기울기 추적파와 원신호가 만나게 될 때 신호의 굴곡(변곡점)이 검출되었다고 판단한다.

2. 잡음에 대한 추적파의 대응

그림 1의 하강 기울기 추적파가 최고의 진폭에 해당하는 점에 도달하여 수~수십 ms 일정시간에서 최고의 진폭을 유지하는 편평한 부분이 다다르기 전이다. 즉 원신호의 진폭이 하강하다가 일정시간에 다다르기 전에 하강 기울기 추적파보다 높아지면 그 최고 진폭은 무시되고, 하강 기울기 추적파는 다시 상승하는 신호의 진폭을 추적해 간다. 따라서 하강 기울기 추적파는 잡음의 진폭의 크기에 관계없이 P파, R파 및 T파가 갖는 주파수보다 높은 고주파 성분일 때 그 잡음을 무시하고 추적파를 진행시키는 특성이 있다.

III. P파와 T파의 강조 및 검출

잡음이 유입된 심전도에 QRS 구간을 검출하여 제거하고 잡음으로 왜곡된 신호로부터 P파와 T파를 강조시키며 검출하기 위하여 이상에서 기술한 하강 기울기 추적파를 이용한다. 그림 2는 임의의 심전도 1초 구간에 적용한 하강 기울기 추적파를 보이고 있으며 그에 의해 강조된 P파와 T파를 보이고 있다.

1. R파와 QRS 구간의 검출

하강 방향으로 추적하는 하강 기울기 추적파와 원신호가 만나게 될 때, 그림 1과 같이 심전도에 하강 기울기 추적파를 적용하면 신호의 굴곡(변곡점)이 검출할 수 있다. 이를 위해 굴곡점과 반등점을 다음과 같이 정의한다.

- (1) 굴곡점 : 추적파가 일정시간(t_H) 동안 최고의 진폭을 유지하기 시작하는 심전도 샘플의 위치.
- (2) 반등점 : 하강 기울기 추적파가 굴곡점을 지나 일정시간을 유지하다가 하강하기 시작하여 반대로 상승해 오는 원 신호와 만나는 샘플의 위치.

잡음을 포함한 심전도 신호의 수많은 굴곡 중에서 QRS 구간의 R파에 해당하는 굴곡의 위치를 검출하기 위하여, 각 굴곡점 위치의 심전도 진폭 값과 그에 해당하는 반등점 위치의 진폭 값의 차이를 구한다. 이 차이 값들 중에서 최대를 구하면 해당 구간의 심전도에서 QRS파의 굴곡점에 해당하는 R파의 위치를 검출한다.

R파를 검출하여 그의 위치를 알면 QRS 구간을 근사적으로 추출할 수 있다. 즉, R파 위치에서 후진 방향으로 최소가 되는 첫 점의 위치에서 전진 방향으로 최소가 되는 첫 점의 위치사이가 근사적인 QRS 구간임을 알 수 있다. 그림 2는 이상의 과정에 의해 검출된 QRS 구간을 보이고 있다.

2. P파와 T파의 강조 및 검출

잡음이 유입된 심전도로부터 P파와 T파를 강조하고 검출하기 위해서 언급한 바와 같이 진폭이 P파나 T파보다 월등한 진폭의 크기로 추출한 QRS 구간을 제거한다. 그리고 QRS 구간을 포함하지 않는 나머지의 심전도의 신호로부터 P파와 T파를 강조하고 검출한다. 그림 2는 심전도의 QRS 구간을 제거한 후 나머지 심전도 신호와 강조된 P파 및 T파를 보이고 있다.

그림 2와 같이 심전도를 확대하면 P파, R파 및 T파를 제외하고 많은 잡음이 포함되어 있음을 알 수 있다. 그런데 P파, R파 및 T파를 제외한 부분에서 그의 하강 기울기 추적파는 이 잡음들을 무시하고 있다. 왜냐하면 하강 기울기 추적파는 잡음의 진폭의 크기에 관계없이 P파, R파 및 T파가 갖는 주파수보다 높은 고주파 성분일 때, 그 잡음을 무시하고 추적파를 진행시키는 특성이 있기 때문이다. 또한 P파와 T파에 대하여 생성된 하강 기울기 추적파는 각 P파와 T파의 최고점에서 수~수십 ms의 일정시간 동안 그 최고 진폭을 편평하게 유지하는 특성이 있기 때문이다. 그리고 주위의 다른 잡음들의 굴곡 및 반등하는 점들은 무시되고 해당하는 최고점들만을 강조하고 있다. 이와 같이 강조된 P파와 T파를 검출하려면 본 연구에서 제안한 R파의 검출방법을 사용하면 된다.

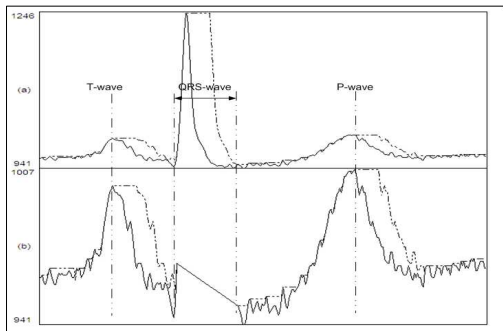


그림 2 하강 기울기 추적파의 잡음제거와 P 및 T파
Fig. Noise removal, P and T wave of descending slope tracing wave.

IV. 실험 및 고찰

본 연구에서는 구현한 잡음 심전도에서 P파와 T파의 강조 및 검출 방법의 효용성을 검증하기 위하여, MIT/BIH 데이터 중에서 잡음이 유입된 심전도를 선정하고 알고리즘을 적용하였다. 먼저 잡음이 무시되고 P파와 T파가 강조되기 위해 적당한 일정시간 t_H 를 결정하기 위하여 101번 데이터에서 잡음이 유입된 부분의 심전도 8초 구간에 일정시간을 변화시키면서 구현된 과정을 살펴보았다. 그림 3의 (a)는 MIT/BIH 심전도 데이터의 30~38초 구간의 원신호, (b)는 1~30Hz의 디지털 FIR BPF의 필터링 결과, (c)는 $t_H = 22.2$ ms, (d) t_H

= 41.7 ms, (e) tH = 63.9 ms, (f) tH = 83.4 ms, (g) tH = 138.9 ms 로 분석하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 하강 기울기 추적파를 보이고 있다. 여기서 그림 3과 그림 6의 (b)는 고전적인 BPF를 사용하고 있으나 원신호가 왜곡되어 P파 및 T파를 구분하기 어려운 형태이다. 그리고 잡음이 뚜렷이 무시되지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 그림 3의 (d)이하의 t H가 41.7~83.4 ms 정도인 경우 원신호의 형태를 어느 정도 유지하면서 잡음을 무시하고 P파와 T파를 강조해 보이고 있다. 다음 그림 4는 그림 3의 심전도에서 잡음이 유입된 부분을 확대한 결과이다.



그림 3 MIT/BIH 101번에서 잡음 심전도와 BPF처리 및 본 방법에서 일정시간 tH 을 변경하며 적용한 비교
 (a) 원 신호 (b) 1~30Hz BPF (c) t H = 22.2 ms (d) t H = 41.7 ms (e) t H = 63.9 ms (f) t H = 83.4 ms (g) t H = 138.9 ms
 Fig. 3 MIT/BIH results.
 (a) Row data (b) 1~30Hz BPF (c) t H = 22.2 ms (d) t H = 41.7 ms (e) t H = 63.9 ms (f) t H = 83.4 ms (g) t H = 138.9 ms

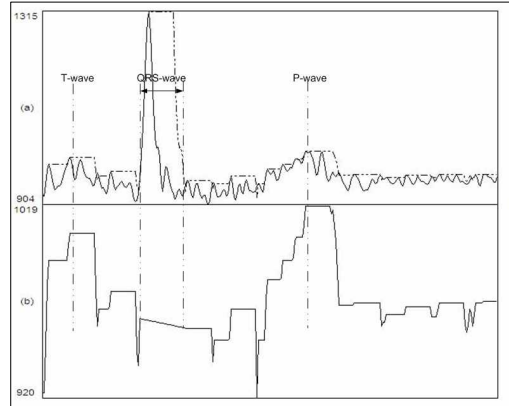


그림 4 MIT/BIH 101번 31.6초의 잡음 심전도에서 P파와 T파를 강조 및 검출하는 경우
 Fig. 4 P and T waves detection at MIT/BIH 101 times and 31.6 sec

그림 4로부터 잡음이 심한 부분의 심전도에서 P파와 T파를 강조 및 검출하는 경우를 확인하였다. 그러나 잡음의 진폭이 P파와 T파의 것보다 큰 경우 P파와 T파의 검출이 어려웠다.

그림 5는 MIT/BIH 113번 심전도에서 일정시간 tH 를 41.7 ms 이상으로 했을 경우 낮은 진폭 P파를 검출하는 경우를 보이고 있다.

이상의 실험으로부터 본 연구에서 제안한 방법은 잡음이 유입되거나 육안으로 식별하기 어렵도록 낮은 진폭의 P파도 강조하여 용이하게 검출하여 대부분의 P파와 T파를 강조 및 검출할 수 있음을 보이고 있다. 그러나 그림 5와 같이 PVC를 포함하고 있는 경우와 같이 기저선의 변동이 급작스러울 때, MIT/BIH의 101번에서 잡음의 진폭이 큰 경우에도 P파와 T파를 검출하는데 어려움을 겪을 것으로 생각된다. 이 경우에는 심전도의 PVC를 이외의 경우로 파악하여 적용하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

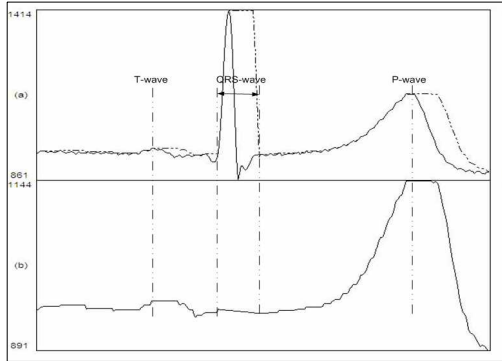


그림 5 MIT/BIH 113번 심전도의 낮은 진폭 P파를 검출하는 경우
 Fig. 5 P waves detection at MIT/BIH 113 times.

IV. 결 론

본 연구에서는 고주파 잡음으로 왜곡된 심전도로부터 P파와 T파의 강조 및 검출하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 하강 기울기의 변곡점을 검출하기에 효과적인 하강 기울기 추적파를 이용하여 고주파 잡음을 무시해 주는 필터 용도로 사용함과 동시에 진폭이 낮고 불명확한 P파와 T파를 강조해 줌으로써 이들의 검출을 용이하게 하였다.

본 연구에서 잡음 심전도의 P파와 T파 강조 및 검출 방법을 MIT/BIH 데이터 101, 113번에 적용하여 구현하였다. 그 결과 잡음 심전도의 하강 기울기 추적파는 P파와 T파의 진폭이 잡음의 것보다 작은 경우, 그 잡음을 무시하면서 P파와 T파를 강조하여 각각의 검출을 용이하게 해줌을 확인하였으며 매우 작은 P파의 경우에도 가능성을 확인하였다. 그러나 심전도에 PVC를 포함하거나 잡음의 진폭이 P파와 T파의 것보다 큰 경우 검출할 수 없었다. 또한 고전적인 BPF는 심전도의 원 신호를 왜곡시키고 이동평균필터는 P파나 T파가 PVC등의 직류 잡음을 포함하는 경우 P파와 T파의 검출을 어렵게 한다.

따라서 본 연구의 강조 및 검출 방법을 보완하기 위하여 심전도의 PVC나 직류잡음을 해결하고 고주파 잡음의 진폭이 P파와 T파의 것보다 큰 경

우에도 검출을 용이하게 하는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Guyton, A., Textbook of Medical Physiology (6th edition), pp. 176-178, Saunders, Philadelphia, 1981.
- [2] Rangayyan, R., Biomedical Signal Analysis, pp. 205-211, Wiley Interscience, 2002.
- [3] Hengeveld, S. and van Bommel, J., "Computer detection of P waves", Computers and Biomedical Research, 9: 125-132, 1976.
- [4] Gritzali, F. and Papakonstantinou, G., "Detection of the P and T waves in an ECG", Computers and biomedical Research, 22:83-91, 1989.
- [5] 주장규, 이기영, "하강 기울기 추적파와 Form Factor를 이용한 심전도 조기심실 수축의 검출 방법의 비교", 한국정보전자통신기술학회, 제1권 3호, 2008.
- [6] 조은석, 차샘, 이상식, 이기영, "ECG 심박수의 자동추출법에 관한 연구", 한국정보전자통신기술학회, 제2권 3호, 2009.

저자약력

주 장 규 (Jang-kyu Ju)

정희원



2000년 관동대학교
 전자통신공학과 학사
 2002년 관동대학교
 전자통신공학과 석사
 2006년-현재 관동대학교
 전자통신공학과
 박사과정

<관심분야> 디지털 신호처리, 음성 신호처리,
 의용전자 및 신호처리

이 기 영 (Ki-Young Lee) 종신회원



1987-1988년 한국전자통신
연구소 연구원
1992년 명지대학교 박사
2003-2004년 미주리주립대학
교환교수
2011년 성균관대학교
박사
1993년-현재 관동대학교
의료공학과 교수

<관심분야> 의용전자, 생체 신호처리,
기계 요소학, 디지털 신호처리

배 철 수 (Cheol-Soo Bae) 종신회원



1979년 명지대학교
전자공학과 공학사
1981년 명지대학교 대학원
공학석사
1988년 명지대학교 대학원
공학박사
1999-2001년 관동대학교
공과대학 학장
1981-현재 관동대학교
의료공학과 교수

<관심분야> 의용신호처리, 영상처리, 신호처
리시스템, 영상압축

이 상 식 (Sang-Sik, Lee) 종신회원



1993-2000년 LG전선(주)
1996-2000년 성균관대학교
박사
2001-2004년 (주)미도테크
2004-2010년 성균관대학교
연구교수
2011-현재 관동대학교
의료공학과 교수

<관심분야> 의용메카트로닉스, u-Health,
생체역학, 의용전기전자