

## 심전도 신호의 R-R 간격 정보를 이용한 심실빈맥 부정맥 검출

이성택\*, 윤태호\*, 신승원\*, 이선주\*, 김경섭\*, 이정환\*  
\*건국대학교 의료생명대학 의공학학부

### Ventricular Tachycardia Arrhythmia Detection Using R-R Interval

Seong-Taek Lee, Tae-Ho Yoon, Seung-Won Shin, Sun-Ju Lee, Kyeong-Seop Kim, Jeong-Whan Lee,  
School of Biomedical Engineering, Konkuk University, Chungju, Korea

**Abstract** - 심실 빈맥은 심실에서 비정상적인 전기자극 발생으로 인하여 심박수가 분당 100~120회를 초과하는 부정맥 증상을 일컫는다. 심실 빈맥이 발생하는 경우 심박출량이 감소하고, 폐에는 미처 나가지 못한 피가 고이는 경우도 발생하여 심부전증이 나타나거나 심실 세동으로 발전하여 사망에 이를 수 있는, 매우 위험한 부정맥 중의 하나이므로 심실 빈맥 검출은 매우 중요한 사안이다. 따라서 본 연구에서는 R-R 간격 정보를 이용하여 심실 빈맥 부정맥 신호를 실시간으로 검출할 수 있는 신호처리 알고리즘을 구현하고자 하였다.

#### 1. 서 론

심전도 신호는 심장의 전기적 활동 상태를 비침습적인 방법으로 인지할 수 있게 하기 때문에, 심장 질환을 1차적으로 진단하는데 널리 사용된다. 최근에 인간의 평균 수명이 길어지면서 서구선진 국가를 및 대한민국 사회는 고령화 단계로 이미 접어들고 있다. 이에 따라 만성 심장병을 가진 환자들의 수가 증가하는 추세이며, 아울러서 심전도 모니터링의 중요성 또한 증가하고 있는 실정이다. 그러나 심전도를 측정하기 위해서는 병원을 방문한 후, 간호사의 도움을 받아 일련의 절차를 거쳐야 된다. 하지만 부정맥을 가지고 있는 사람이 일상생활 중에 갑자기 심장의 이상으로 쓰러진다면, 최악의 경우에는 병원을 가는 도중에 사망할 가능성도 있다. 따라서 병원을 가지 않고도 일상적인 생활 속에서 자신의 심전도의 이상여부를 사전에 확인할 수 있다면 만성 심장병 환자의 건강 상태를 감시하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 이에 따라서 본 연구에서는 R-R interval 정보를 이용하여 인체에 치명적일 수 있는 심실빈맥 부정맥을 실시간으로 검출하는 알고리즘을 구현하고자 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 심전도

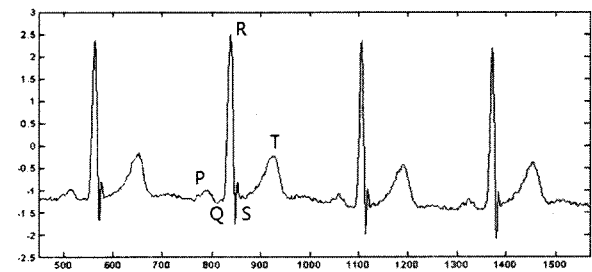
심전도는 파형, 분절, 간격으로 표현된다. 파형의 종류로는 P파, T파, U파 등이 있고, Q, R, S는 파로 부르지는 않고, QRS complex로 묶어서 부른다[1]. P파는 좌우 심방의 탈분극에 의해서 생성되며, QRS complex는 심실의 탈분극에 의해 그리고, T파는 심실의 재분극 과정에 의하여 생성된다. U파의 발생 원인은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았으며 심실에 존재하는 심근의 긴 탈분극 시간 때문에 재분극 과정이 늦어져서 생성된다는 학설이 있다. 분절은 방실결합부의 탈분극에 의해 발생하는 PR 분절과 심실의 재분극기에 해당하는 ST 분절이 있다. 그리고 파와 분절을 묶어서 간격으로 표현한다. 예를 들면 P파와 PR 분절을 묶어서 P-R 간격으로 표현한다. 즉, 심장에서 생성된 전기신호를 직접적으로 보여주는 것은 파형이며, 파형과 파형 사이를 분절이라고 한다. 결과적으로, 부정맥을 가진 사람의 경우에는 심전도의 파형이 정상인의 심전도 파형과 다른 양상을 보인다. 따라서 비정상적인 심전도 파형에 대한 특징을 파악할 수 있다면 부정맥을 진단하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

##### 2.2 심실빈맥 부정맥

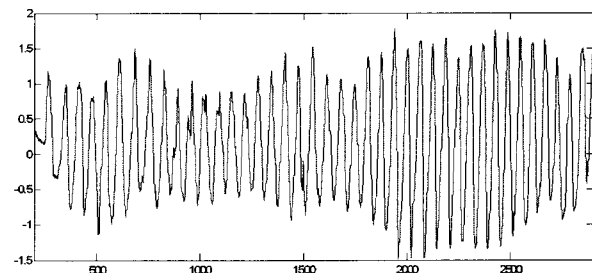
심실빈맥이란 심실 내에서 만들어진 자극에 의해 심실의 탈분극이 분당 100회 이상의 빠르기로 3개 이상 연속으로 나타나는 것을 말한다. 심실빈맥은 지속기간에 따라 여러 가지로 분류된다. 만약 3개 또는 그 이상의 PVC(Premature Ventricular Contraction)가 연속적으로 발생하여 심실빈맥이 진행될 때 그 지속기간이 30초를 넘지 않고 스스로 종료될 경우, 이를 발작성 심실빈맥(Paroxysmal Ventricular Tachycardia) 또는 비지속성 심실빈맥(Non-sustained Ventricular Tachycardia)이라고 한다. 반면에 빈맥이 30초 이상 지속되면 이를 지속성 심실빈맥(Sustained Ventricular Tachycardia)이라고 한다[2]. 심실빈맥의 지속기간을 이용해 분류하는 이러한 방법 외에 QRS파의 형태에 따라 분류하는 방법도 있다. 심실의 이소성 심장박동조율기 하나의 흥분으로 인해 심실빈맥이 진행될 경우, QRS파의 형태가 일정한 상태로 나타나게 되는데, 이를 단형 심실빈맥(Monomorphic Ventricular Tachycardia)이라고 한다. 반면 여러 개의 이소성 심장박동조율기에 의해 유발되는 다형 심실빈맥(Polymorphic Ventricular Tachycardia)은 QRS파의 형태가 다양하며 그 간격이 일정하지 않게 나타난다. 단적인

예로 TdP(Torsade de pointes)를 꼽을 수 있다. TdP 용어는 Twist of points라는 뜻을 의미하고 QRS Complexes의 진폭이 점점 커졌다가 작아졌다를 반복하며 파매기처럼 뒤틀리는 것에 착안하여 명명된 것이다. 심실빈맥의 파형이 이렇게 다양한 것처럼 그 원인 또한 다양하다. 심실의 중격에 존재하는 퍼킨제섬유망(Purkinje fiber network)에 의해 만들어진 회귀 등과 같이 심장 자체에 문제가 생겨서 발생하는 원인이 있는가 하면, 관동맥질환, 심근증, 판막증, 선천성 심장병, 약물 복용, 전해질 이상 등에 의해 이차적으로 발생하는 경우도 많다.

정상 심전도 신호의 경우 P, QRS, T의 파형이 그림 1에서와 같이 뚜렷하게 나타난다. 반면에 그림 2는 각 파형의 분별이 어려우며, 파형이 뒤틀리는 양상을 보이고 있는데, 이것이 바로 TdP 심실빈맥이다. 또한 QRS파의 모양이 다양하므로 다형 심실빈맥이라는 것을 알 수 있다.



〈그림 1〉 정상 심전도 파형



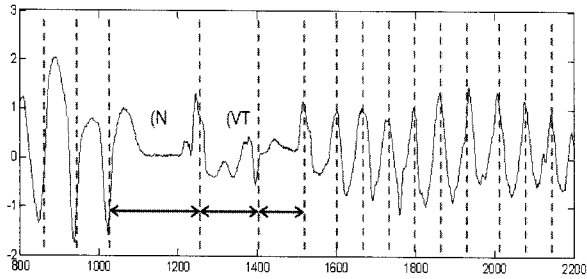
〈그림 2〉 심실빈맥 부정맥 심전도 파형

이처럼 QRS의 모양이나 R-R 간격의 시간 등의 여러 가지 방법을 동원해 빈맥파형을 분석하는 이유는 그 만큼 심실빈맥이 위험하기 때문인데, 일반적으로 심실빈맥이 발생하면 심실세동(Ventricular Fibrillation)으로 진행되는 경우가 많기 때문이다.

##### 2.3 심실빈맥 부정맥 데이터

심실빈맥 데이터는 CUDB(Creighton University Ventricular Tachyarrhythmia Database)의 'CU02' 데이터를 사용하였다. CUDB에서는 헤더 파일과 주석 파일 그리고 데이터 파일, 이렇게 3종류의 파일을 제공한다. 헤더파일은 각각의 라인이 Record Line, Signal Specification Line, Meta Information Line으로 구분된다. Record line에는 전체적인 ECG(ElectroCardioGraph) 계측정보가 기록된다. ECG를 구별할 수 있는 ID 값, ECG 채널 수, 샘플링 횟수, ECG 계측 시간과 날짜 등에 대해 기술되어 있다. Signal Specification Line에는 각 채널의 ADC Gain, ADC Resolution, Offset, 초기값 등에 대해 기록되어 있다. 마지막으로 Meta Information Line에는 ECG를 계측한 회원의 ID, 계측기기의 HW 모델명 및 SW버전, 계측장소 등에 대해 기술되어 있다. 데이터 파일에는 실제 심전도 신호가 저장되어 있으며, 12bit에 한 샘플이 저장된다. 주석 파일은 16bit로 이루어져 있다. 6bit는 주석 코드를 나타내며 나머지 10bit는 주석이 첨부된 샘플의 위치를 나타낸다. 따라서 주석을 통해 빈맥이 얼마나 지속되는지 그

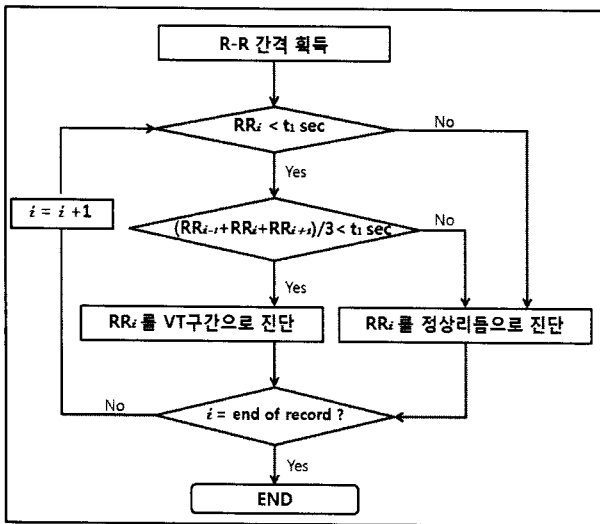
구간을 쉽게 알 수 있으며, R peak가 어느 순간에 존재하는지도 쉽게 알 수 있다. 그림 3은 'CU02'의 데이터의 일부분이다. 'CU02' 데이터에 대한 해더 파일을 살펴보면, ECG 채널수는 1개이며 샘플링 주파수는 250Hz라는 것을 알 수 있었다. 또한 ADC 이득은 400이고, ADC 해상도는 12bit로 기록되어 있다. 'N'은 Normal Beat을 의미하고, 'VT'는 심실빈맥 구간을 의미한다. 왼쪽에서부터 심실빈맥이 진행되다가 정상신호로 바뀌고, 다시 심실빈맥이 진행되는 그림이다. 각 점선은 R peak값을 표시해 놓은 것이며 이를 통해 R-R 간격을 파악할 수 있다.



〈그림 3〉 심실빈맥 ECG 파형

2.4 심실빈맥 부정맥 검출 알고리즘

기존의 연구들에서 심실빈맥을 검출하고자 제시하는 방법들은 계산량이 많고 복잡한 연산들을 요구한다. 예를 들어서, 웨이블릿과 같은 신호처리 과정이 사용될 경우[3], 주파수 분석적인 측면에서는 좋을 수 있으나 수식 계산이 많아 부정맥 검출 시간이 많이 소요된다는 단점도 있다. 이런 점을 비추어 볼 때, 시간영역에서의 R-R 간격만으로도 심실빈맥을 검출할 수 있다는 것이 본 연구의 장점이라고 할 수 있겠다. 그림 4는 전체 알고리즘을 설명하고 있는 순서도이다.



〈그림 4〉 심실빈맥 부정맥 검출을 위한 알고리즘의 순서도

여기서  $R-R_i$ 는 현재 시점에서의 R-R 간격을 의미하며,  $R-R_i$  간격의 파형이 정상적인지 또는 빈맥이 진행되고 있는지를 판단하기 위해 총 3개의 R-R 간격을 이용한다. 즉, 과거의  $R-R_{i-1}$  간격과 현재의  $R-R_i$ , 미래의  $R-R_{i+1}$  간격을 모두 이용하게 된다. 먼저  $R-R_i$ 의 간격을 읽은 뒤  $t_1$ 초보다 오래 지속되면 정상 신호로 판단한다. 그렇지 않고  $R-R_i$  간격이  $t_1$ 초보다 짧다면 심실빈맥일 가능성이 높다고 판단한 뒤 한가지의 시도를 더 하게 된다.  $R-R_i$  간격과 앞, 뒤의 R-R 간격을 이용하여 평균값을 구하는 것이 그것이다.  $(R-R_{i-1} + R-R_i + R-R_{i+1})$ 의 합을 3으로 나누어 평균값을 구하게 되는데, 이 평균값이  $t_1$ 초보다 큰지 작은지를 한 번 더 검사한다. 이런 과정을 거치는 이유는 심실빈맥으로 진단하려면 심박동수가 100~120 bpm(beat per minute) 정도는 되어야 하기 때문이다. 예를 들어  $R-R_i$ 에서의 간격은  $t_1$ 초보다 작지만  $R-R_{i-1}$ 와  $R-R_{i+1}$ 에서의 간격이 각각  $t_1$ 초보다 크다면  $R-R_i$  구간에서 심실빈맥이 진행되고 있다고 보기 힘들다. 따라서  $R-R_i$ 의 간격이  $t_1$ 초보다 짧아도 R-R 간격 3개의 평균값이  $t_1$ 초보다 크다면 이  $R-R_i$  간격은 정상신호로 본다. 실제로 'CU02' 데이터에도 이런 구간이 존재했다.  $R-R_i$ 의 간격이  $t_1$ 초보다 작지만 주석 상에는 정상적인 심전도 파형으로 표시되어 있었다. 반면에  $R-R_i$ 의 간격이  $t_1$ 초보다 작

고 R-R 간격 3개의 평균값이  $t_1$ 초보다 작다면  $R-R_i$  구간은 심실빈맥이 진행되고 있는 구간으로 판단한다. 즉, 심실빈맥을 판정할 때 평균값을 이용하게 되면 관심 있는 R-R 간격 외에 앞, 뒤의 R-R 간격까지 고려할 수 있다는 이점이 있다.  $R-R_i$  간격에 대한 판별이 완료되고 나면 현재의 구간의 위치를 파악한다. 심전도 기록의 끝부분이  $R-R_{i+1}$ 와 일치한다면 프로그램을 종료하고, 일치하지 않으면 심실빈맥을 검출하는 알고리즘은 계속 수행된다.

2.5 실험 결과

앞서 설명한 알고리즘으로 실제 프로그램을 구현하여 'CU02' 데이터의 심실빈맥에 대한 구간을 검출하는데 성공하였다. 표1은 'CU02' 데이터의 주석에 적혀있는 심실빈맥이 지속시간을 표로 나타낸 것이고, 표2는 프로그램을 이용하여 심실빈맥을 검출한 결과이다. 표 1과 표 2를 살펴보면, 시작시점과 종료시점이 정확하게 일치하지는 않는데, R-R 간격을 이용하는 알고리즘을 사용하기 때문에 이러한 오차가 발생한다. 즉, R peak점이 아닌 곳에서는 정상인지 빈맥인지를 판단 할 수 없다. R-R 간격은 R과 R 사이의 시간을 의미하기 때문에 각 peak지점의 사이에서의 판단은 불가하다. 그러나 'CU02' 데이터의 주석은 심전도 신호 그 어떤 지점에서도 제약을 받지 않고 표시될 수 있다. 다시 말하면 CUDB의 주석은 R peak와 R peak 사이에도 표시되어 있다는 것이다. 이 때문에 심실빈맥의 시작점과 종료점의 오차가 생기는데, 심실빈맥 시작지점의 평균오차는 약 0.6초 정도이고, 종료지점의 평균오차는 약 0.508초로 계산되었다.

〈표 1〉 CU02 데이터 주석

심실빈맥 시작 (sec)	심실빈맥 종료 (sec)
196.908	206.340
488.708	491.816
492.436	495.548
496.308	End of record

〈표 2〉 심실빈맥 검출 프로그램 실행 결과

심실빈맥 시작 (sec)	심실빈맥 종료 (sec)
197.436	205.980
489.448	491.452
493.056	494.748
497.072	End of record

표1, 2에서 알 수 있듯이 'CU02' 데이터에는 총 4번의 심실빈맥이 발생한다. 데이터의 초반부는 정상적인 파형을 보이고 있지만 196.908초에 처음으로 심실빈맥이 출현하여 약 9초간 지속하다가 다시 정상 파형으로 돌아오게 된다. 그리고 488.708초부터 심실빈맥과 정상신호가 번갈아가며 나타나다가 496.308초부터는 결국 심전도의 끝부분까지 심실빈맥이 진행된다. 따라서 3개의 R-R 간격만을 이용하여 심실빈맥의 추이를 실시간으로 확인할 수 있었다.

3. 결 론

오늘날, 사람들의 평균 수명이 더 길어지면서 사회는 고령화 사회로 접어들고 있다. 이에 따라 만성 심장 질환을 앓는 노년층의 환자들이 증가하는 추세이며, 아울러서 심전도 모니터링의 중요성이 증가하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 R-R 간격 정보를 이용하여 심실빈맥 부정맥을 실시간으로 검출하는 알고리즘을 구현하고자 하였다.

Acknowledgement

This work was supported in part by MIC & IITA through IT Leading R&D supporting project(2005-S-093).

〈참 고 문 헌〉

- [1] Rajendra Acharya U, Jasjit S.Suri, Jos A.E. Spaan, S.M. Krishnan, "Advances in Cardiac Signal Processing," Springer Verlag, 2006.
- [2] 조정관, "심전도 홀로서기," 고려의학, 2006.
- [3] 송미혜, 이진, 조성필, 이경중, "SVM 분류기를 통한 심실세동 검출," 2005 전자공학회, 제 42 권 SC편 제 5호, September 2005, pp.27-34.