

R-R 간격을 이용한 PVC-RUNs 부정맥 검출

Assessment of PVC-RUNs Arrhythmia by R-R Interval

이선주¹, 윤태호², 김경섭³, 이정환⁴

^{1,4}건국대학교 의료생명대학 의공학부

Sun-Ju Lee¹, Tae-Ho Yoon², Kyeong-Seop Kim³, Jeong-Whan Lee⁴, Dong-Jun Kim⁵

^{1,4}School of Biomedical Engineering, Konkuk University, Chungju, Korea

Abstract - 심장의 활성 근육의 움직임에 의하여 발생하는 전기적 변화량을 나타내는 심전도는 부정맥 또는 허혈성 심장 질환을 진단하는데 널리 활용되고 있다. 특히 심실빈맥(Ventricular Tachycardia) 또는 심실세동 (Ventricular Fibrillation)과 같이 치명적인 심장리듬이 발생하기 이전에, 심실조기수축(Ventricular Premature Contraction)을 검출하여 생명을 위협할 수 있는 부정맥을 조기에 진단할 수 있는 연구들이 일부 진행되고 있다. 이에 따라서 본 연구에서는 심전도 신호의 R-R 간격 정보와 R-peak 정보의 진위성을 판단하여 PVC 부정맥 패턴뿐만 아니라 PVC 파형이 연속적으로 진행되는 PVC-RUNs를 효율적으로 검출할 수 있는 부정맥 진단 알고리즘을 제안하고자 하였다.

Key Words : ECG, Arrhythmia, PVC, PVC-RUNs, R-R

1. 서 론

심전도(Electrocardiogram)는 심장의 전기적 활동을 그래프 형태로 나타낸 것으로 심장근육의 전도를 평가하는데 가장 효율적인 진단 방법이다. 정상 심전도는 4개의 파형(P, QRS, T, U)과 2개의 간격(PR, QT)으로 구성되어 있다. 4개의 중요한 심전도 파형의 특징점들을 살펴보면, P파는 동방결절에서 나온 전기적 자극이 심방을 수축 시킬 때 일어나는 심방 탈분극으로 소요시간은 0.05~0.12sec이다. 또한 QRS파는 전기적 자극이 심실을 수축시킬 때 나타나는 심실 탈분극으로 소요시간은 0.06~0.12sec이며, T파는 심실의 재분극을 표시한 것으로 심실수축 후의 회복기를 나타내며 소요시간은 0.1~0.25sec이다. 부정맥(Arrhythmia)은 발생 부위에 따라 심방 부정맥과 심실 부정맥으로 구분되는데, 심실 부정맥은 His 속(Bundle of His)이 좌우각으로 갈라진 부위 아래쪽에 서 발생하는 부정맥으로 심실조기수축(Ventricular premature contraction), 심실빈맥(Ventricular tachycardia), 심실세동(Ventricular fibrillation), 심정지(Cardiac arrest) 등이 있다. 심실 부정맥은 심박출량 감소를 초래하게 되고, 대부분 생명을 위협하는 부정맥으로서 응급조치가 필요하다. 따라서 심실빈맥 또는 심실세동과 같이 위험하고, 치명적인 심장리듬이 발생하기 이전에, 심실조기수축을 검출하여 생명을 위협할 수

있는 부정맥을 조기에 진단할 수 있는 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 심전도 신호의 R-R 간격 정보와 R-peak 정보의 진위성을 판단하여 심실조기수축 부정맥 패턴뿐만 아니라 심실조기수축 파형이 2회 이상 연속적으로 진행되는 PVC-RUNs를 효율적으로 검출할 수 있는 부정맥 진단 알고리즘을 제안하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 PVC-RUNs 부정맥

심실조기수축 부정맥은 동방결절(SA node)에서 정상적인 수축을 내보내기 전에 심실내의 흥분된 세포가 심실을 직접 수축시킴으로써 심실이 조기에 탈분극하여 발생한다. 원인으로서는 심근경색증이 가장 많은 비율을 차지하며, 디지탈리스(digitalis)와 같은 약물복용 시, 카페인이나 니코틴 등의 심장 자극물질 섭취 시, 전해질 불균형, 빈맥(tachycardia)이나 서맥(bradycardia) 등이 있다. 심장의 박동수는 분당 60~100회를 유지하며 정상적으로 나타나지만 P파는 심실에서 시작된 자극이 심방까지 전달되지 않아 관찰되지 않는다. QRS complex의 경우 0.12초 이상 지속되어 정상의 QRS complex 보다 폭이 넓어지고 변형된 모양을 가지게 된다. 심실조기수축 후에는 보상휴지기를 갖게 되므로 조기심실수축과 그 다음 정상박동에 소요되는 시간은 두 번의 정상박동에 소요되는 시간과 차이를 보이지 않게 된다. 심실조기수축은 부정맥 중 가장 흔하게 관찰할 수 있고, 건강한 사람에게서도 볼 수 있지만 분당 6회 이상 또는 연속적으로 발생할 경우 심실빈맥이나 심실세동과 같이 생명유지에 치명적인 부정맥으로 진

저자 소개:

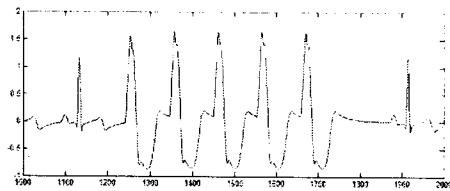
¹准會員 : 建國大學 醫學工學部 碩士課程

²准會員 : 建國大學 醫學工學部 博士課程

³正會員 : 建國大學 醫學工學部 副教授·工博

⁴正會員 : 建國大學 醫學工學部 助教授·工博

전되기 쉬운 경향이 있으므로 심실조기수축의 진단은 임상적 의의가 크다. 심실조기수축이 2회 이상 연속해서 나타나는 것을 RUNs형 심실조기수축(그림 1 참조) 이라고 하며, 심실조기수축이 나타나는 형태에 따라 그 중증도를 분류한 것으로는 Lown의 분류가 유명한데 Lown의 분류는 grade I에서 V까지 나누어져 있다. PVC-RUNs은 grade IV(2연속 PVC: IV_a, 3연속 PVC 이상: IV_b)이며, 일반적으로 grade II 이상은 주의해야 할 부정맥으로 생각되고 있다. 또한 심실조기수축이 3회 이상 연속해서 발생하는 부정맥을 심실빈맥으로 보기 때문에 PVC-RUNs는 위험한 부정맥으로 간주되므로, 실시간으로 PVC-RUNs를 검출하고, 진단하는 것은 매우 중요하다.



<그림 1> PVC-RUNs 부정맥

2.2 R-peak 검출 알고리즘

R-R 간격을 이용하여 심실조기수축 부정맥을 검출하고자 할 때 가장 중요하게 고려해야 할 사항으로는 심전도의 R-peak 검출 알고리즘의 성능으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 심전도의 R-peak 검출 알고리즘으로 가장 널리 사용되고 있으며, Base-line wander와 같은 기저선 변동 잡음에 강하고, 또한 전원 잡음과 같은 고주파 잡음에도 민감하게 반응하지 않은 R-peak 검출 알고리즘을 [1] 사용하였다. 심전도 신호의 R-peak 검출을 위한 다양한 알고리즘들은 입력 신호의 크기, 모양, 그리고 잡음의 정도에 따라 검출성능이 변하기 때문에 입력신호에 따라 가장 적합한 알고리즘을 설계하는 것이 중요하다. 고정된 문턱치를 신호에 적용할 경우 입력되는 심전도 신호에 다양한 형태의 R-peak가 포함되어 있거나 신호대 잡음비(signal to noise ratio)가 낮은 경우에는 검출성능이 낮아지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 '적응가변 문턱전압'(adaptive threshold)을 사용하였다. 전처리 과정을 거친 신호는 신호대 잡음비의 증대로 R-peak 검출이 용이해진다. 이러한 스무딩된 신호의 진폭변화에 따라 검출문턱전압도 변화되는 가변문턱전압을 사용하였다. 초기의 적응가변문턱전압을 결정하기 위하여 입력되어 들어오는 ECG 신호의 샘플치 중 400ms 내의 최대값을 R-peak로 결정한다. 이후, 검출된 R-peak 값의 30%를 문턱전압으로 사용하여 각각 3개의 R-peak를 검출한다. 검출된 3개의 R-peak에서 진폭의 평균값을 계산하고, 계산된 값의 30%를 다음번 검출문턱전압으로 결정한다. 본 연구에서의 가변문턱전압은 매 ECG 신호의 파형에 따라서 위의 과정을 반복하여 입력되어 들어오는 신호에 따라서 자동적으로 문턱전압도 변화하여 검출의 효율성을 증대시키기 위해서 사용되었다. 심전도의 데이터 개수를 포함하는 윈도우의 크기는 입력되어 들어오는 신호간격의 변화에 따라 자동적으로 변화되고, 신호가 윈도우 내에서 가변문턱전압을 초과할 때, 최고점을 검출하여 R-peak를 결정하며, 스무딩

(smoothing)된 신호에서 검출된 3개의 R-peak를 이용하였다. 3개의 검출된 R-peak의 간격(W_1, W_2)을 구하고 평균하여 그 평균값의 50%로 윈도우 간격을 설정하였다. 알고리즘은 윈도우 구간 내에서 가변문턱전압보다 높은 파형이 발생된 경우 최고점을 검출한다. 또한, 윈도우 구간 진행 중 문턱전압보다 낮은 파형이 발생된 경우에는 윈도우 구간을 문턱전압보다 높은 파형이 나타날 때까지 계속 확장하여 최고점을 검출한다. 여기서 고려해야 할 사항으로, 윈도우 간격이 너무 넓고 진폭크기가 서로 다른 두 개의 파형이 가변문턱전압을 초과할 경우, 윈도우는 큰 진폭을 가진 한 개의 파형만 검출한다. 따라서 윈도우 구간을 검출된 3개의 R-peak 간격에서 평균값의 50%로 설정하여 한 개의 탈분극된 신호의 최고점만을 검출하도록 하였다. 따라서 윈도우 간격은 R-peak간의 간격에 따라 구간이 자동적으로 변화되어 신호의 최고점을 검출한다.

2.3 PVC-RUNs 검출 알고리즘

심실조기수축 부정맥은 심전도 신호에서 QRS파에 선행하는 P파가 발견되지 않고 QRS파가 조기에 나타나는 것으로 정의할 수 있으며, 심실조기수축 부정맥 심전도의 QRS파는 심방에서 심실로 전달되는 원래의 리듬보다 먼저 발생하기 때문에 정상 R-R 간격을 유지하지 못한다. 그러므로 정상 QRS파와 그 뒤에 연속해서 발생한 심실조기박동의 R-R 간격은 좁아지게 되고, 심실조기박동 이후의 QRS파와 심실조기박동의 R-R 간격은 넓어지게 된다. 따라서 정상 박동과 심실조기박동의 R-R 간격은 정상 박동 사이의 R-R 간격에 비하여 많은 차이를 나타내기 때문에 이 R-R 간격의 차이점을 이용하여 심실조기수축 부정맥을 검출할 수 있다(그림 2 참조). 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘은 식(1)과 같이 가장 최근까지의 총 8개의 R-R 간격 정보를 추출하고, 추출된 8개의 R-R 간격 정보의 평균인 AR_i 의 바로 전 평균인 AR_{i-1} 의 값에 C_1 를 곱해서 RR_{i-1} 보다 작으며, 식(2)에서와 같이 RR_{i-1} 와 RR_i 의 합이 AR_{i-1} 값에 C_2 를 곱한 값과 0.1이하의 오차일 경우 심실조기수축 부정맥 간격으로 판단한다 [2-3].

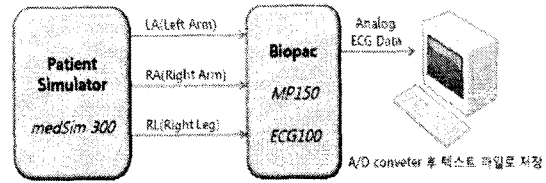
$$RR_{i-1} > C_1 [AR_{i-1}] \quad (1)$$

$$RR_{i-1} + RR_i \approx C_2 [AR_{i-1}] \quad (2)$$

여기서, RR_i : 가장 최근의 R-R interval,
 RR_{i-1} : RR_i 이전의 R-R interval,
 AR_i : RR_i 를 포함한 8개의 R-R interval 평균,
 AR_{i-1} : AR_i 이전의 R-R interval 평균

심전도 신호에서 정상 QRS파와 심실조기수축의 QRS파 사이의 R-R 간격이 두 개의 정상 QRS파 사이의 R-R 간격보다 좁거나 넓기 때문에, 이러한 R-R 간격의 차이를 이용하여 앞에서 설명한 심실조기수축 부정맥을 검출하는 알고리즘을 구현하면 한 개씩 따로 나오는 심실조기수축 박동의 검출은 용이하다. 하지만 PVC-RUNs과 같이 심실조기수축이 3개 이상 연속해서 발생하는 경우에는 심실의 조기 탈분극이 연이어 발생되기 때문에, 연속해서 발생하는 심실조기수축의 QRS파는 모두 정상 QRS파보다 일찍 나타난다. 하지만 연속

되는 심실조기수축의 QRS파들은 주기적으로 발생되기 때문에 그 사이의 R-R 간격은 정상 보다 짧아지게 되지만, 심실조기수축 박동들 사이의 R-R 간격들은 같아지기 때문에 R-R 간격의 차이를 알고리즘이 인식하지 못하므로 심실조기 박동을 정상 박동으로 검출하게 되는 오류를 범하게 된다.

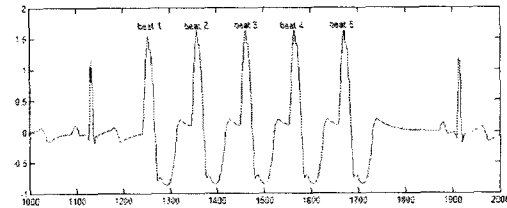


<그림 4> Patient Simulator를 이용한 부정맥 패턴 획득 및 저장 시스템

알고리즘의 검출성능을 파악하기 위하여 정상적인 심전도에 심실조기수축 부정맥을 2회 연속(PVC couplet) 그리고 5회 연속(PVC-RUNS)등으로 나누어 삽입하였으며, 부정맥이 포함된 각각의 데이터는 3분씩 측정하였다.

3. 결 론

그림 5는 5개의 연속적인 심실조기수축 부정맥이 발생한 심전도 신호를 보여주며, 순서대로 beat 1~beat 5로 분류하였다.



<그림 5> 5연속 심실조기수축 부정맥

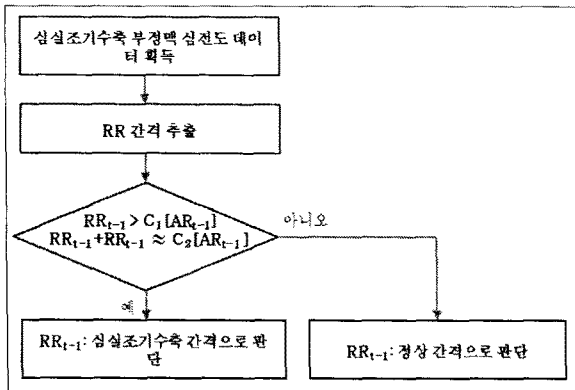
기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘 모두 2회 연속(PVC couplet)의 심실조기수축 부정맥은 검출이 가능하였다. 하지만, 5회 연속(PVC-RUNS) 심실조기수축 부정맥의 경우, 기존의 알고리즘은 beat 1과 beat 5만 심실조기수축으로 판단한 반면 제안된 알고리즘은 beat 1~beat 5를 모두 심실조기수축 부정맥으로 판단하였다. 따라서 기존의 알고리즘은 3회 이상 연속적으로 발생하는 PVC-RUNS의 경우는 검출이 불가능함을 확인하였으며, 제안된 알고리즘은 3회 이상 연속적으로 발생하는 PVC-RUNS를 검출 가능함을 확인하였다.

Acknowledgement

“본 연구는 지식경제부 전자부품기반기술개발사업(과제번호: 2008-A011-0112)의 지원으로 수행되었습니다.”

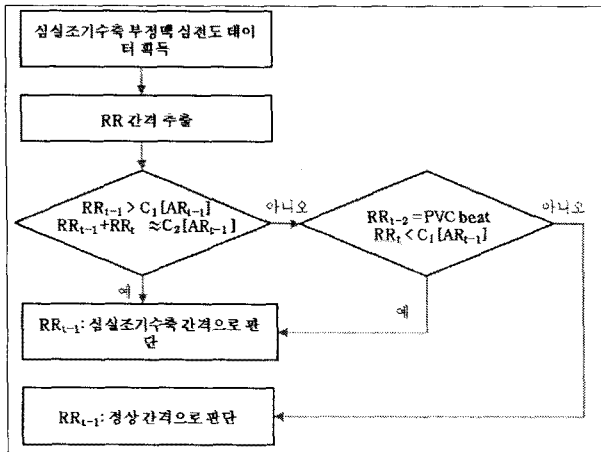
참 고 문 헌

- [1] Jiapu Pan, Willis J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.BME-32, No.3, 1985.
- [2] Kenneth L. Ripley, Alan Murray, "Introduction To Automated Arrhythmia Detection," IEEE Computer Society, pp.131-132, 1980.
- [3] D. C. Reddy, "Biomedical Signal Processing: Principles and Techniques," pp.254-303, International Edition 2005.



<그림 2> R-R 간격을 이용한 심실조기수축 부정맥 검출 전개도

따라서 그림 3은 이러한 문제점을 보완하여 PVC-RUNS를 검출하기 위해서 2가지의 새로운 규칙을 그림 2의 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘에 추가한 내용을 보여준다.



<그림 3> PVC-RUNS 부정맥 검출 전개도

2.4 실험

알고리즘의 검증은 위하여 그림 4와 같이 실제 환자의 부정맥과 유사한 부정맥 신호를 생성해주는 장비인 DYNATECH NEVADA사의 Patient Simulator 장비인 medSim 300과 Biopac사의 생체신호 측정 장비 MP150과 심전도 측정 전용모듈인 ECG100을 이용하여 초당 200Hz의 샘플링율로 심실조기수축 부정맥 신호가 연속적으로 나타나는 PVC-RUNS가 포함된 심전도 신호를 획득하여 텍스트형태로 저장하였다. 심전도의 측정 방식은 Patient Simulator의 출력 중 LA(Left Arm), RA(Right Arm), 그리고 RL(Right Leg)로 구성된 lead 2 측정방식을 사용하였다.