

R-R 간격 정보를 이용한 심실조기수축 부정맥 검출

이선주*, 윤태호*, 신승원*, 이성택*, 김경섭*, 이정환*, 김동준**
 *건국대학교 의료생명대학 의학공학부, **정주대학교 이공대학 정보통신공학부

PVC(Premature Ventricular Contraction) Arrhythmia Detection Using R-R Interval

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

Abstract - 심실조기수축(PVC: Premature Ventricular Contraction)은 성인에게서 가장 흔하게 발생하는 심장 부정맥 증상 중의 하나이다. 심실조기수축 부정맥이 자주 발현되는 사람의 경우 관상 동맥 질환, 고혈압 등의 심혈관계 질환이 진행되고 있을 가능성이 많고, 심실빈맥이나 심실세동으로 전이되는 경우 심정지 등을 유발하여 사망에 이르기 때문에 지속적으로 관찰이 필요한 증상이다. 따라서 본 연구에서는 R-R 간격 정보를 이용하여 심실조기수축 부정맥 증상을 실시간으로 검출할 수 있는 신호처리 알고리즘을 구현하고자 하였다.

1. 서 론

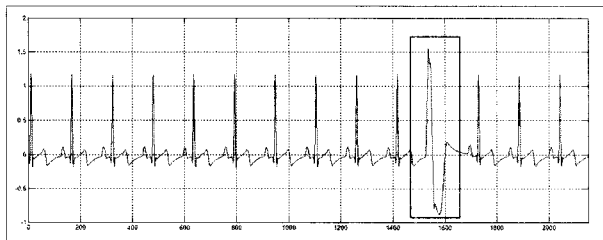
심전도(Electrocardiogram)는 심장의 전기적 활동을 그래프 형태로 나타낸 것으로 심장근육의 전도를 평가하는데 가장 효율적인 진단 방법이다. 정상 심전도는 4개의 파형(P, QRS, T, U)과 2개의 간격(PR, QT)으로 구성되어 있다. P파는 동방결절에서 나온 전기적 자극이 심방을 수축 시킬 때 일어나는 심방 탈분극으로 소요시간은 0.05~0.12sec이다. QRS파는 전기적 자극이 심실을 수축시킬 때 나타나는 심실 탈분극으로 소요시간은 0.06~0.12sec이다. T파는 심실의 재분극을 표시한 것으로 심실수축 후의 회복기를 나타내며 소요시간은 0.1~0.25sec이다. 현재 심전도 신호에 대한 분석은 급증하고 있는 심장질환 일차적 진단에 많이 이용되고 있다. 심장질환 중에서 심장 부정맥은 심장의 리듬이 불규칙하거나 심박동수가 비정상적인 상태를 의미한다. 부정맥의 형태는 정상인에게도 올 수 있는 가벼운 리듬의 장애에서부터 생명을 위협하는 위험한 장애까지 다양하며 이는 심장세포의 자동성 장애나 전도장애로 인해 초래된다.

심실조기수축(Premature Ventricular Contraction)은 부정맥 중 가장 흔히 발생하며, 심장 질환자뿐만 아니라 건강한 사람에게서도 볼 수 있다. 심장질환이 있는 환자의 심실조기수축 부정맥 발현은 심장질환의 악화로 발전할 수 있는 가능성을 의미하며 심실빈맥이나 심실세동으로 전이되는 경우 심정지를 유발할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해서 가장 기본이 되는 심실조기수축 부정맥 검출은 큰 의미를 지닌다. 따라서 본 연구에서는 R-R 간격 정보를 이용하여 심실조기수축 부정맥을 실시간으로 검출하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 심실조기수축 부정맥

심실조기수축 부정맥은 그림 1에서와 같이 심실에서 발생하는 이소성 자극에 의해 심실이 조기에 탈분극하여 발생하는 부정맥 신호로 동방결절(SA node)에서 정상적인 수축을 내보내기 전에 심실내의 흥분된 세포가 심실을 직접 수축시킴으로써 발생하며, 부정맥 중 가장 흔하게 관찰할 수 있고, 건강한 사람에게서도 볼 수 있다. 원인으로는 심근경색증이 가장 많은 비율을 차지하며, 디지탈리스(digitalis)와 같은 약물복용 시, 카페인이나 니코틴 및 약물 등의 심장 자극물질 섭취 시, 전해질 불균형, 빈맥(tachycardia)이나 서맥(bradycardia) 등이 있다.

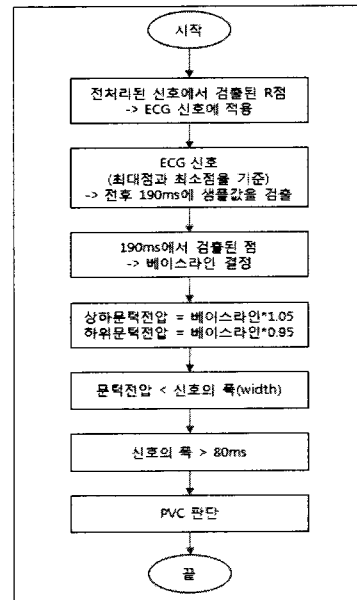


〈그림 1〉 심실조기수축 부정맥 신호

심장의 박동수는 분당 60~100회를 유지하며 P파는 심실에서 시작된 자극이 역행하여 심방을 수축시킬 경우 뒤집혀서 나타나지만, 대부분의 자극은 심방까지 전달되지 않아 P파는 관찰되지 않는다. QRS complex의 경우 그림1에서와 같이 0.12초 이상 지속되어 정상 QRS complex보다 넓어지고 변형된 모양을 가지게 된다. 또한 심실에서 시작된 자극이 역행하여 방실결절 및 심방으로 전도되지만, 대부분 심방까지 도달하지 못하므로 동방결절은 그 자체의 리듬을 유지하게 된다. 그 결과로 심실조기수축 후에는 보상휴지를 갖게 되므로 조기심실수축과 그 다음 정상박동에 소요되는 시간은 두 번의 정상박동에 소요되는 시간과 차이를 보이지 않게 된다. 심실조기수축은 그 자체로는 심장에 이상을 주지는 않지만 분당 6회 이상 또는 심실조기수축 부정맥이 연속적으로 발생할 경우 심실빈맥이나 심실세동의 전조 징후로 판단되기 때문에 심실조기수축 부정맥의 검출은 매우 중요하다.

2.2 기존의 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘

그림 2는 기존에 제시된 심실조기수축 부정맥 알고리즘의 전개도를 보여주고 있다[1].



〈그림 2〉 심실조기수축 부정맥 검출 전개도

그림 2를 살펴보면, 심실조기수축 부정맥을 검출하기 위하여 가장 먼저 심전도 신호에서 검출된 R파의 위치인 심전도 최대값을 기준으로 전 후 190ms 내의 최소값을 검출한다. 검출된 최대값과 최소값을 기준으로 다시 전후 190ms에서 얻은 샘플값들을 구하고, 그 6개의 샘플값들의 평균으로 베이스라인을 결정한다. 결정된 베이스라인을 기준으로 상, 하 2개의 문턱전위를 선정하여, 상위 문턱전위(베이스라인×1.05)를 초과한 심전도 신호의 폭 간격과 하위 문턱전위(베이스라인×0.95)보다 작은 심전도 신호의 폭 간격을 측정한다. 측정된 신호의 폭 간격이 80ms 이상이면 검출된 신호를 심실조기수축 부정맥으로 판단하고, 80ms 이하이면 심전도 신호의 R파로 판단한다. 여기서 사용된 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘은 P, QRS, T파 등의 심전도 구성 파형이 잘 나타나 있는 잡음 없는 안

정형 형태의 심전도 신호를 사용하였다. 그러나 24시간 동안의 심전도를 기록하는 홀터 심전도나 이동형 패치 심전도 측정 장치에서 측정되는 심전도 신호는 특정한 장소에서 편안한 자세로 심전도를 측정하는 것이 아니고 일반적인 활동과 동시에 심전도 신호를 측정하기 때문에 왜곡이나 잡음이 많고, 심전도를 구성하는 파형들인 P, T파가 뚜렷하게 나타나지 않을 수 있으므로, 일상생활과 동시에 측정 가능한 이동형 심전도에서는 이 알고리즘을 사용하여 정확한 심실조기수축 부정맥을 검출하기는 어렵다. 하지만 이동형 심전도에서 QRS파의 정보는 뚜렷하게 나타나기 때문에 이동형 심전도에 가장 적합한 심실조기수축 부정맥 검출 방법으로 R-R 간격을 사용하였다.

2.3 R-R 간격을 이용한 심실조기수축 부정맥 검출 방법

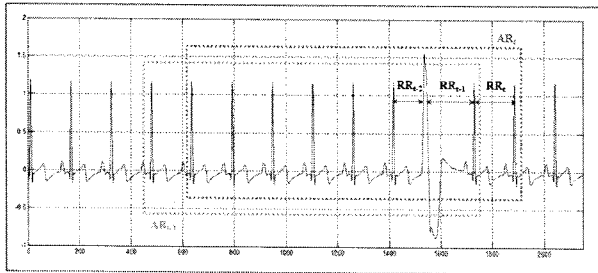
심실조기수축 부정맥은 심전도 신호에서 QRS파에 선행하는 P파가 발견되지 않고 QRS파가 조기에 나타나는 것으로 정의할 수 있으며, 심실조기수축 부정맥 심전도의 QRS파는 심방에서 심실로 전달되는 리듬보다 먼저 발생하기 때문에 정상 R-R 간격을 유지하지 못하고 정상적인 QRS파가 나오는 시점보다 앞서 발생한다. 그러므로 심실조기박동 바로 이전의 정상 QRS파와 심실조기박동의 R-R 간격은 좁아지게 되고, 심실조기박동 이후의 QRS파와 심실조기박동의 R-R 간격은 넓어지게 된다. 따라서 정상 박동과 심실조기박동의 R-R 간격은 정상 박동 사이의 R-R 간격에 비하여 많은 차이를 나타내기 때문에 이 R-R 간격의 차이점을 이용하여 심실조기수축 부정맥을 검출할 수 있다. 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_8 의 바로 전 평균인 AR_{-1} 의 값에 C_1 를 곱해서 RR_{-1} 보다 작으며, 식(2)에서와 같이 RR_{-1} 와 RR_8 의 합이 AR_{-1} 값에 C_2 를 곱한 값과 0.1이하의 오차일 경우 심실조기수축 부정맥 간격으로 판단한다[4].

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

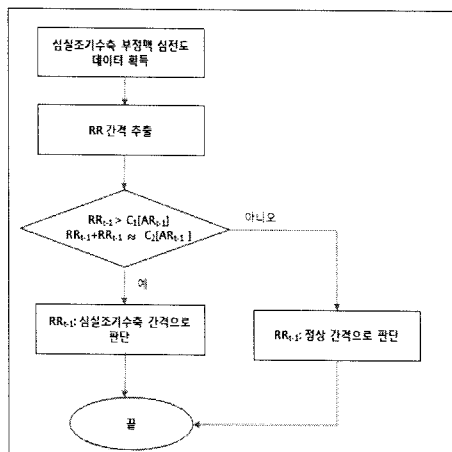
$$RR_{-1} + RR_8 \approx C_2 [AR_{-1}] \quad (2)$$

RR_i : 가장 최근의 R-R interval,
 RR_{i-1} : RR_i 이전의 R-R interval,
 AR_8 : RR_i 를 포함한 8개의 R-R interval 평균,
 AR_{-1} : AR_8 이전의 R-R interval 평균

그림 3은 심실조기수축 부정맥 검출을 위한 지표인 AR_8 , AR_{-1} , RR_8 , 그리고 RR_{-1} 를 나타내며, 그림 4는 R-R 간격을 이용해서 심실조기수축 부정맥을 검출하는 알고리즘을 보여주고 있다.



〈그림 3〉 심실조기수축 검출 지표



〈그림 4〉 R-R 간격을 이용한 심실조기수축 부정맥 검출 전개도

2.4 심실조기수축 부정맥 검출 실험

R-R 간격을 이용한 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘의 성능을 실험하기 위하여, 실제 부정맥 검출 실험용으로 가장 널리 사용되고 있는 MIT-BIH arrhythmia database[2][3] 중에서 심실조기수축 부정맥 심전도와 정상 심전도만으로 구성되어 있는 106번 데이터를 사용하였다. 이 데이터는 총 심전도 비트수 2098개, 정상 심전도 비트수 1507개, 심실조기수축 비트수 520개로 구성되어 있다.

심실조기수축 부정맥 검출 실험을 위하여 106번 데이터의 주석 정보를 이용하여 R-R 간격을 추출 하였으며, MATLAB을 사용하여 심실조기수축 부정맥 진단 알고리즘을 구현하였다.

2.5 실험 결과

본 논문에서 제시된 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘의 검증 을 위하여 단일 의사결정 문턱값 기법인 DYNA-GRAM III를 사용 하였으며, 표 1은 알고리즘 성능의 검증 결과를 보여주고 있다. Sensitivity와 Specificity의 결과는 모두 99.8%이상 일치하는 결과를 보였으며, 심실조기수축 비트를 정상 비트로 판단한 FNR(False Negative Rate)의 값은 0.066, 정상 비트를 심실조기수축 비트로 판단한 FPR(False Positive Rate)의 값은 0.192로 계산되었다.

〈표 1〉 백분율로 표시한 심실조기수축 부정맥 검출 실험 결과

	Normal (1,507)	PVC (520)
Normal (1,507)	1,506(TN) 99.934%(A)	1(FN) 0.066%(B)
PVC (520)	1(FP) 0.192%(C)	519(TP) 99.808%(D)

여기서, TN(True Negative), TP(True Positive), FN(False Negative), FP(False Positive),

$$(A): Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \%$$

$$(B): False Positive Rate = \frac{FP}{TP+FP} \times 100 \%$$

$$(C): False Negative Rate = \frac{FN}{TN+FN} \times 100 \%$$

$$(D): Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \%$$

이다.

3. 결 론

심실조기수축은 부정맥 중 가장 흔히 발생하며, 심장 질환자뿐만 아니라 건강한 사람에게서도 볼 수 있지만, 심장질환이 있는 환자의 심실조기수축 부정맥 발현은 심장질환의 악화로 발전할 수 있는 가능성을 의미하며 심실빈맥이나 심실세동으로 전이되는 경우 심정지를 유발할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해서 가장 기본이 되는 심실조기수축 부정맥의 검출은 큰 의미를 지닌다. 따라서 본 연구에서는 실시간으로 R-R 간격의 심전도 정보를 이용하여 심실조기수축 부정맥을 실시간으로 검출 하였으며, 조기에 심장 질환에 대한 예방과 동시에 추후에 발생할 수 있는 위험한 부정맥 진단에 활용될 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

Acknowledgement

"이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 지원을 받아 수행된 연구임" (지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단)

참 고 문 헌

- [1] 이승환, "ECG 신호의 R과 검출 및 PVC판별 알고리즘", *명지대학교 공학석사학위논문*, p.31-33, 2001.
- [2] <http://www.physionet.org/cgi-bin/rdann>
- [3] Kenneth L. Ripley, Alan Murray, "Introduction To Automated Arrhythmia Detection", *IEEE Computer Society*, p.131-132, 1980.
- [4] D C Reddy, "Biomedical Signal Processing: Principles and Techniques", p.254-303, International Edition 2005.