

심전도 R-R 간격 정보를 이용한 심실조기수축 부정맥 검출

윤태호*, 이선주**, 김경섭†, 이정환***

Assessment of PVC (Premature Ventricular Contraction) Arrhythmia by R-R Interval in ECG

Tae-Ho Yoon*, Sun-Ju Lee**, Kyeong-Seop Kim†, Jeong-Whan Lee***

요 약

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 경우에는 심정지 등을 유발하여 사망에 이르기 때문에 지속적으로 관찰이 필요한 증상이다. 따라서 본 연구에서는 심전도 신호의 R-R 간격 정보를 이용하여 심실조기수축 부정맥 증상을 실시간으로 검출할 수 있는 알고리즘을 구현하였으며, 또한 심전도 신호의 R-R 간격 정보와 R-peak의 진위성 여부를 판단하여 심실조기수축 및 심실조기수축 파형이 다발적으로 발생하는 PVC-RUNs를 효율적으로 검출할 수 있는 부정맥 진단 알고리즘을 제안하고자 하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a novel algorithm to assess the abnormal heart beats such as PVC (Premature Ventricular Contraction) and its subsequent RUNs. Our Arrhythmic detection scheme is based on only the R-R Interval features extracted from ECG waveforms and MIT-BIH arrhythmia database is evaluated to validate the efficiency of our algorithm in terms of sensitivity, specificity, FPR(%) and FNR(%).

Key Word

ECG, Arrhythmia, PVC, PVC-RUNs, R-R interval

I. 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 특징 점들을 살펴보면, 우선 P파는 동방결절에서 나온 전기적 자극이 심방을 수축시킬 때 일어나는 심방 탈분극으로 소요시간은 0.05~0.12sec이다. 또한 QRS파는 전기적 자극이 심

실을 수축시킬 때 나타나는 심실 탈분극으로 소요시간은 0.06~0.12sec이며, T파는 심실의 재분극을 표시한 것으로 심실수축 후의 회복기를 나타내며 소요시간은 0.1~0.25sec이다. PR 간격은 P파의 시작점에서 QRS파의 시작점까지로, 심방의 전기적 자극이 방실결절을 통과하여 히스다발까지 오는데 걸리는 시간을 나타내며, 정상 PR간격은 0.2sec 이 내이며 만일 이 시간이 지연되면 심방에서 심실로 전기적 자극이 전달되는데 장애가 있는 것으로 해석된다. QT간격은 QRS파의 시작점에서 T파의 끝점까지로, 정상인의 경우에는 0.32~0.4sec 정도의

* 건국대학교 의료생명대학 의학공학부 박사과정 (apple@konkuk.ac.kr)

** 건국대학교 의료생명대학 의학공학부 석사과정 (yoursun1202@konkuk.ac.kr)

+ 교신저자, 건국대학교 의료생명대학 의학공학부 부교수 (kyeong@kku.ac.kr), 건국대 의공학실용기술연구소·공방.

*** 건국대학교 의료생명대학 의학공학부 조교수 (jwlee95@kku.ac.kr)

#논문번호 : KIIECT2009-02-05

#접수일자 : 2009.04.24

#최종논문접수일자 : 2009.06.10

간격을 가지며, 심실의 탈분극 시작부터 재분극 종료까지의 시간을 나타낸다. 일반적으로 심장 부정맥 (Cardiac arrhythmia)은 심장의 리듬이 불규칙하거나 심박동수가 비정상적인 상태를 의미한다. 부정맥의 형태는 정상인에게도 올 수 있는 가벼운 리듬의 장애에서부터 생명을 위협할 수 있는 위험한 장애까지 다양하며 이는 심장세포의 자동성 장애나 전도장애로 인해 초래된다. 심장 부정맥은 발생 부위에 따라 심방 부정맥과 심실 부정맥으로 구분되는데, 심실 부정맥은 히스 속 (Bundle of His)이 좌우 각으로 갈라진 부위 아래쪽에서 발생하는 부정맥으로 심실조기수축 (Ventricular premature contraction), 심실빈맥 (Ventricular tachycardia), 심실세동 (Ventricular fibrillation), 심정지 (Cardiac arrest) 등이 있다. 심실 부정맥은 심박출량 감소를 초래하여 실신이나 돌연심장사 (sudden cardiac death)를 일으키기도 하고, 대부분 생명을 위협하는 부정맥으로서 응급조치가 필요하다. 이 중 심실조기수축은 부정맥 중 가장 흔하게 발생하며, 건강한 사람에게서도 나타나지만, 심장질환이 있는 환자의 심실조기수축 부정맥의 발현은 심질환 (Cardiac disease)의 악화로 발전할 수 있는 가능성을 의미하며 심실빈맥이나 심실세동으로 전이되는 경우 심정지를 유발할 수도 있다. 따라서 심실조기수축의 발생 빈도와 유형에 따라 생명을 위협하는 부정맥이 유발되는 경향이 있고, 특히 급성 심근경색이나 심근허혈증 후에는 더욱 위험한데, 이러한 위험한 부정맥을 예고하는 경고성 심실조기수축에는 심실조기수축 파형이 2~3개 또는 그 이상으로 연달아 발생하는 다발성 심실조기수축 (PVC-RUNs)이 있다[1-2]. 따라서 심실빈맥이나 심실세동과 같이 위험하고, 치명적인 심장리듬이 발생하기 이전에, 심실조기수축을 검출하여 생명을 위협할 수 있는 부정맥을 조기에 진단할 수 있는 연구들이 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 심전도 신호의 R-peak 검출 알고리즘을 구현하고, 또한 R-R 간격 정보와 R-peak 정보의 진위성을 판단하여 단발성 심실조기수축 부정맥 패턴뿐만 아니라 심실조기수축 파형이 2회 이상 연속적으로 진행되는 PVC-RUNs를 효율적으로 검출

할 수 있는 부정맥 진단 알고리즘을 제안하고자 하였다.

II. 본 론

2-1 심실조기수축 (PVC) 및 PVC-RUNs 부정맥

심실조기수축은 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 높은 비율을 차지하며, 디지털리스 (Digitalis)와 같은 약물 복용 시, 카페인이나 니코틴 및 약물 등의 심장 자극물질 섭취 시, 전해질 불균형, 빈맥 (Tachycardia)이나 서맥 (Bradycardia) 등이 나타날 수 있다[3].

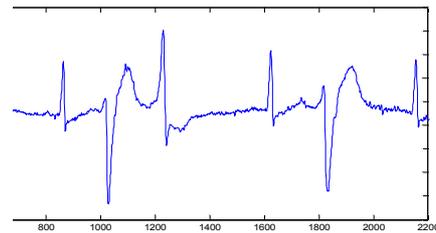


그림 1. 심실조기수축 부정맥
Fig 1. Premature Ventricular Contraction Arrhythmia

심장의 박동 수는 분당 60~100회를 유지하며 P파는 심실에서 시작된 자극이 역행하여 심방을 수축시킬 경우 뒤집혀서 나타나지만, 대부분의 자극은 심방까지 전달되지 않아 P파는 관찰되기 어렵다. QRS complex의 경우 그림1에서와 같이 0.12초 이상 지속되어 정상의 QRS complex보다 넓어지고 변형된 모양을 가지게 된다. 또한 심실에서 시작된 수축 자극이 역행하여 방실결절 및 심방으로 전도되지만, 대부분 심방까지 도달하지 못하

로 동방결절은 본래의 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. 또한 심실조기수축이 2회 이상 연속해서 나타나는 것을 RUNs형 심실조기수축과 같이 이라고 하며, 심실조기수축이 나타나는 형태에 따라 그 중증도를 분류한 것으로는 Low의 분류[4][5]가 유명하는데 이에 따르면 grade I에서 V까지 나누어져 있다. PVC RUNs는 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.

2-2 R-peak 자동 검출

실시간으로 R-peak를 검출하기 위해서 그림 2와 같이 총 4단계의 전처리 과정을 거치게 된다 [6]. 첫 번째로 심전도 신호의 미분을 통하여 기울기의 변화량이 큰 구간을 획득하게 되고, DC 성분이 제거된다. 두 번째로 미분된 심전도 신호 값을 제공하면 심전도의 R-peak를 강조 시킬 수 있다. 여기서 제공 과정은 제공연산을 통하여 음수의 값을 양수의 값으로 반전시켜 R-peak 검출을 용이하게 한다. 세 번째 단계는 이동평균필터(Moving Average Filter)를 이용하여 심전도 각 주기에서의 R-peak를 강조한다. 마지막으로 윈도우를 사용하여 윈도우 내에서의 최고점을 찾는 방식으로 R-peak를 검출하게 된다. 그러나 이동평균필터 윈도우가 너무 클 경우 그림 3에서와 같이 추출된 R-peak의 위치가 실제 심전도에서의 R-peak 위치와 다른 경우가 발생한다. 또한 샘플 개수를 조절

하여 정상적인 심전도 신호의 R-peak를 추출할 수 있도록 조절했을 경우에도 그림 4에서와 같이 심실조기수축 부정맥 R-peak는 정상적으로 추출되지 않는다.

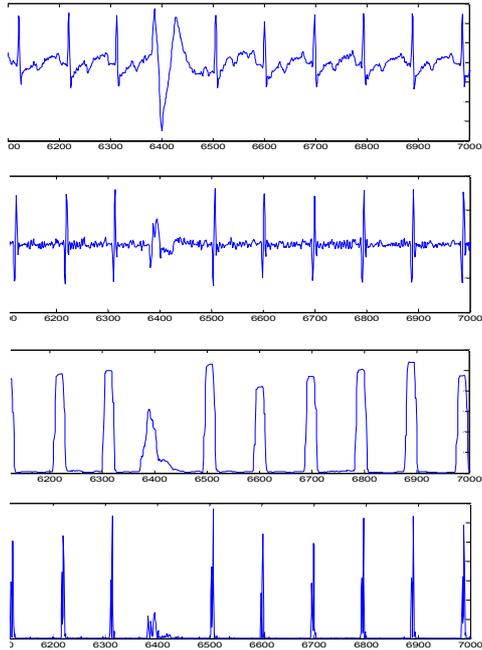


그림 2. R-peak 자동 검출을 위한 전처리 알고리즘
Fig 2. Automatic Detection of R-peaks

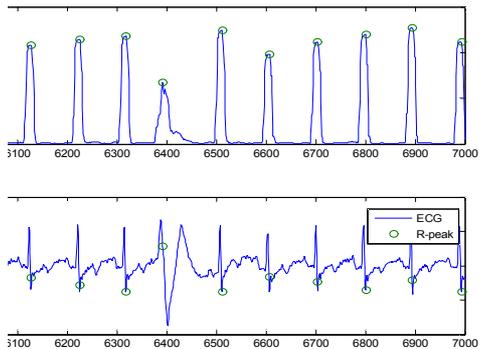


그림 3. 이동평균필터의 크기가 0.12s 경우의 R-peak 검출

Fig 3. Extraction of R-peak by Moving Average Filter with a size=0.12sec

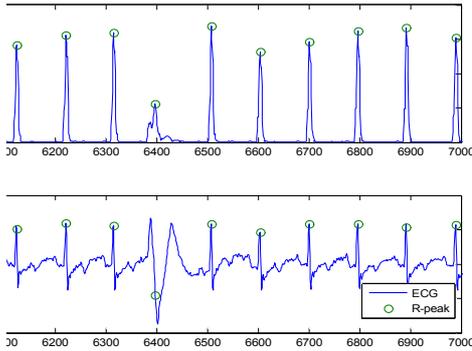


그림 4. 이동평균필터의 크기가 0.04s 경우의 R-peak 검출

Fig 4. Extraction of R-peak by Moving Average Filter with a size=0.04sec

그림 4에서같이 정상적인 심전도 신호의 R-peak는 추출되지만, 심실조기수축과 같이 비정상적인 부정맥 신호의 R-peak를 잘못 인식하는 문제점을 보완하기 위하여, 추출된 R-peak의 샘플 위치를 실제 심전도 신호에 적용하여 추출된 R-peak의 위치가 실제로 심전도 신호의 R-peak인지의 여부를 확인하는 방법을 사용하였다. 추출된 R-peak의 위치가 실제 심전도의 R-peak인지를 검사하여 실제 심전도의 R-peak와 일치할 경우 정상 심전도 신호로 판단하고, 만약 추출된 R-peak가 실제 심전도 신호의 R-peak와 일치하지 않는 경우에는 R-peak의 위치를 보정하였다.

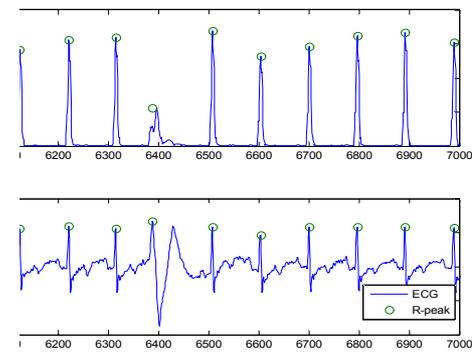


그림 5. 심실조기수축 부정맥 R-peak 검출 오류 수정

Fig 5. Acquisition of True R-peak

그림 5는 그림 4의 심실조기수축 부정맥 R-peak의 오류를 보정하여 실제의 심전도 신호에 적용한 결과를 보여준다. 실제 심전도 신호에서는 정상적으로 모든 R-peak가 검출된 것을 보여주며, 특히 심실조기수축 부정맥 R-peak의 경우, 추출된 R-peak의 위치가 원래의 위치대로 수정된 것을 확인할 수 있다.

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 최근까지 수집된 총 8개의 R-R 간격 정보를 추출하고, 추출된 8개의 R-R 간격 정보의 평균인 AR_t 의 바로 전 평균인 AR_{t-1} 의 값에 상수 C_1 을 곱해서 RR_{t-1} 보다 작으며, 식(2)에서와 같이 RR_{t-1} 와 RR_t 의 합이 AR_{t-1} 값에 상수 C_2 를 곱한 값과 0.1이하의 오차일 경우 심실조기수축 부정맥 간격으로 판단한다[7].

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

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

여기서,

RR_t : 가장 최근의 R-R interval,

RR_{t-1} : RR_t 이전의 R-R interval,

AR_t : RR_t 를 포함한 8개의 R-R interval 평균,

AR_{t-1} : AR_t 이전의 R-R interval 평균.

그림 6은 심실조기수축 부정맥 검출을 위한 지표인 AR_t , AR_{t-1} , RR_t , 그리고 RR_{t-1} 을 나타내며, 그림 7은 R-R 간격을 이용해서 심실조기수축 부정맥을 검출하는 알고리즘을 보여주고 있다.

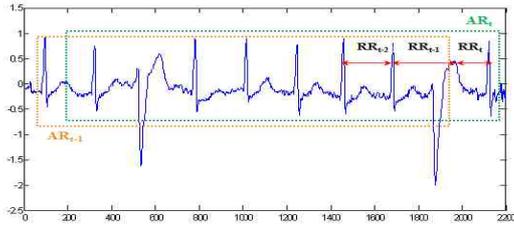


그림 6. 심실조기수축 검출 지표
Fig 6. Illustration of RR_{t-2} , RR_{t-1} , RR_t and AR_t

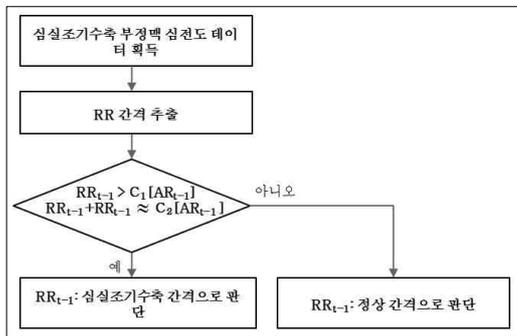


그림 7 R-R 간격을 이용한 심실조기수축 부정맥 검출 전개도

Fig 7. Flowchart for illustrating the PVCs detection algorithm

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. 그러나 PVC RUNs와 같이 심실조기수축이 3개 이상 연속해서 발생하는 경우에는 심실의 조기 탈분극이 연이어 발생되기 때문에, 연속해서 발생하는 심실조기수축의 QRS파는 모두 정상 QRS파보다 일찍 나타난다. 하지만 연속되는 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 부정맥 검출 알고리즘이 인식하지 못하므로 심실조기박동을 정상 박동으로 검출하게 되는 오류를 범하게 된다. 따라서 그림 8은 이러한 문제점을 보완하여 PVC RUNs를 검출하기 위해서 2가지의 새로운 규칙을 그림 7의 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘에 추가한 내용을 보여준다.

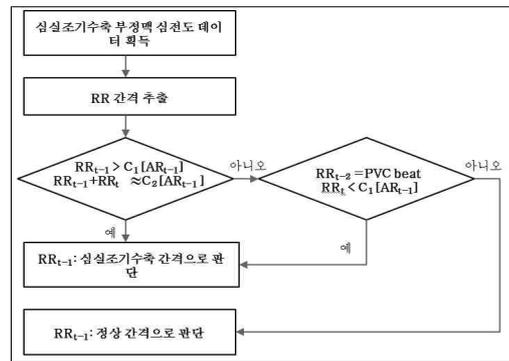


그림 8. PVC RUNs 부정맥 검출 전개도
Fig 8. Flowchart for illustrating the detection of PVC RUNs Arrhythmia

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[8] 중에서 심실조기수축 부정맥 심전도와 정상 심전도만으로 구성되어 있는 데이터들을 사용하였다.

표 1. MIT-BIH Arrhythmia Database의 주석정보와 검출 알고리즘에 의한 PVC 검출 개수

Table 1. Assessment of PVCs in MIT-BIH database

	Real NSR	Real PVC	TN NSR	TP PVC
200	1744	855	1682	805
228	1688	365	1679	361
106	1507	520	1506	519
116	2302	110	2301	109
119	1543	444	1543	444
121	1861	2	1861	2

표 2. 부정맥 검출 알고리즘의 PVC 검출 성능
Table 2. Performance of PVCs detection algorithm

	Specificity (%)	Sensitivity (%)	FPR(%)	FNR(%)
200	96.445	94.152	7.151	2.887
228	99.467	98.904	2.432	0.238
106	99.934	99.808	0.192	0.066
116	99.957	99.091	0.909	0.043
119	100	100	0	0
121	100	100	0	0

데이터의 주석 정보를 이용하여 R-R 간격을 추출 하였으며, MATLAB을 사용하여 심실조기수축 부정맥 진단 알고리즘을 구현하였다. 본 논문에서 제시된 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘의 검증을 위하여 단일 의사결정 문턱값 기법인 DYNA-GRAM III[9]를 사용하였으며, 표 1과 2는 알고리즘 성능의 검증 결과를 보여주고 있다.

2-5 PVC-RUNs 부정맥 검출 실험

PVC Runs 검출 알고리즘의 검증을 위하여 그림 9와 같이 실제 환자의 부정맥과 유사한 부정맥 신호를 생성해주는 장비인 DYNATECH NEVADA사 Patient Simulator 장비인 medSim 300과 Biopac사의 생체신호 측정 장비 MP150과 심전도 측정 전용모듈인 ECG100을 이용하여 초당 200Hz의 샘플링 비율로 심실조기수축 부정맥 신호와 심실조기수축 부정맥 신호가 연속적으로 나타나는 PVC RUNs가 포함된 심전도 신호를 발생 시키어 텍스트 형태로 저장하였다.

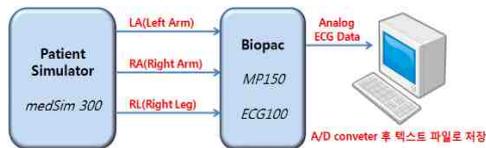


그림 9. Patient Simulator를 이용한 부정맥 패턴 획득 및 저장 시스템

Fig 9. Acquisition of Abnormal Heart Beat Data Generated by Patient Simulator

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. 그림 10은 5개의 연속적으로 심실조기수축 부정맥이 발생한 심전도 신호를 보여주며, 순서대로 beat 1~beat 5로 분류하였다.

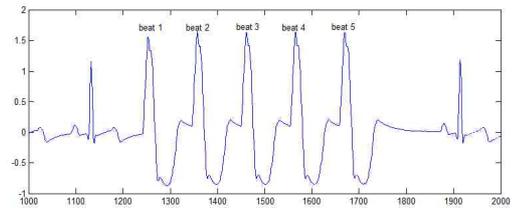


그림 10. RUNs 심실조기수축
Fig 10. PVC RUNs

그림 7에서의 심실 조기 수축 부정맥 검출 알고리즘과 그림 8에서의 개선된 알고리즘 모두 2회 연속의 심실조기수축 부정맥은 검출이 가능하였다. 그러나 5회 연속(PVC RUNs) 심실 조기수축 부정맥의 경우, 그림 7에서의 알고리즘은 beat 1과 beat 5만 심실조기수축으로 판단한 반면 그림 8에서의 개선된 알고리즘은 beat 1~beat 5를 모두 심실조기수축 부정맥으로 판단하였다. 따라서 기존의 알고리즘은 3회이상 연속적으로 발생하는 PVC RUNs의 경우는 검출이 불가능함을 확인하였으며, 개선된 알고리즘은 3회이상 연속적으로 발생하는 PVC RUNs를 검출 가능함을 확인하였다.

III. 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 심실조기수

축 부정맥의 검출은 큰 의미를 지닌다. 그러나 R-R 간격 정보에 의존하는 알고리즘의 특성상 반드시 정확한 위치에서 R-peak가 검출되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 실시간으로 검출 가능한 R-R 간격 정보를 이용한 심실조기수축 부정맥 알고리즘 구현을 위하여 효율적인 R-peak 자동 검출 알고리즘을 구현하였고, 또한 R-R 간격의 정보를 이용하여 실시간으로 심실조기수축 부정맥을 검출하였다. 또한 그림 7의 심실조기수축 부정맥 검출 알고리즘은 3회이상 연속적으로 발생하는 PVC RUNs의 경우는 검출이 불가능함을 확인하였으며, 그림 8의 개선된 심실 조기 수축 검출 알고리즘은 3회 이상 연속적으로 발생하는 PVC RUNs를 검출 가능함을 확인하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임[지역거점연구단육성사업/충북 BIT연구중심대학육성사업단].

참고문헌

[1] 1. Goldschlager N, Goldman MJ, "Principles of Clinical Electrocardiography," Appleton and Lange, 1989.
 [2] Chen SW, Clarkson PM, Fan Q. A robust sequential detection algorithm for cardiac arrhythmia classification. IEEE Trans Biomed Eng, vol-43, pp, 1120-1125, 1996.
 [3] 김조자, 왕명자, 이영자, 전시자, "심전도," 현문사, pp.170-173, 1999.
 [4] 최윤식, 이영우, "임상전기생리학적 검사를 이용한 만성 재발성 지속성 심실빈맥에 관한 연구," 대한순환기학회, 14호, pp.243-251, 1984.
 [5] 최윤식, "임상심전도학 제4판," 서울대학교출판부, pp.109-113, 2004.
 [6] Jiapu Pan, Willis J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm," IEEE Trans. Biome. Eng., vol.BME-32, No.3, 1985.
 [7] D C Reddy, "Biomedical Signal Processing:

Principles and Techniques," McGraw-Hill pp.254-303, 2005.

[8] <http://www.physionet.org/cgi-bin/rdann>
 [9] Kenneth L. Ripley, Alan Murray, "Introduction To Automated Arrhythmia Detection," IEEE Computer Society, pp.131-132, 1980.

저자약력

윤태호 (Tae-Ho Yoon)



2005~현재 동대학원 박사과정.
 2005년 건국대학교 의학공학부 석사.
 2003년 건국대학교 의학공학부 학사.

<관심분야> 생체신호처리, U-healthcare.

이선주 (Sun-Ju Lee)



2008년~현재 동대학원 석사과정.
 2008년 건국대학교 의학공학부 학사.

<관심분야> 생체신호처리

김경섭 (Kyeong-Seop Kim)



2001~현재 건국대 의학공학부 부교수.
 1994년 The University of Alabama in Huntsville, Electrical & Computer Engineering Ph.D.
 1981년 연세대학교 전기공학과 석사.
 1979년 연세대학교 전기공학과 학사.

<관심분야> Biomedical Signal Processing, U-healthcare.

이정환 (Jeong-Whan Lee)



2004~현재 건국대 의학공학부 조교수.
 2000년 연세대학교 전기공학과 박사.
 1994년 연세대학교 전기공학과 석사.
 1992년 연세대학교 전기공학과 학사.

<관심분야> Biomedical Instrumentation, U-healthcare.