
부호화와 정보 엔트로피에 기반한 심방세동 (Atrial Fibrillation: AF) 패턴 분석

조익성* · 권혁송**

Atrial Fibrillation Pattern Analysis based on Symbolization and Information Entropy

Ik-Sung Cho* · Hyeog-Soong Kwon**

요 약

심방세동(Atrial Fibrillation:AF)은 각종 심장질환에서 비교적 빈번히 발생하는 부정맥으로 알려져 있으며, 그 발병률은 연령의 증가와 더불어 점차 증가한다. 전통적으로 심방세동을 검출하는 방법은 시간 영역 분석법과 주파수 영역분석법이 대부분이었다. 하지만 심전도 신호는 잡음의 영향을 많이 받는 환경에서 검출의 정확도가 떨어지며, 시간·주파수 영역 분석법은 RR 간격에 따라 변화하는 불규칙적 리듬에 관한 정보를 정확하게 얻지 못하는 단점이 있다. 본 연구에서는 부호화와 정보 엔트로피에 기반한 AF 패턴 분석 방법을 제안한다. 이를 위해 먼저 RR 간격 데이터를 차분 분할 방식을 통해 부호 서열화 한 후 그 리듬에 대한 패턴을 분석하고 이를 샤논의 정보 엔트로피를 통해 복잡도를 정량화하여 심방세동을 검출하였다. 성능 평가를 위해 10부터 100까지의 문턱값에 따른 엔트로피를 통해 복잡도를 분석하였으며 MIT-BIH 심방세동 데이터베이스를 이용하여 실험하였다.

ABSTRACT

Atrial fibrillation (AF) is the most common arrhythmia encountered in clinical practice, and its risk increases with age. Conventionally, the way of detecting AF was the time-frequency domain analysis of RR variability. However, the detection of ECG signal is difficult because of the low amplitude of the P wave and the corruption by the noise. Also, the time-frequency domain analysis of RR variability has disadvantage to get the details of irregular RR interval rhythm. In this study, we describe an atrial fibrillation pattern analysis based on symbolization and information entropy. We transformed RR interval data into symbolic sequence through differential partition, analyzed RR interval pattern, quantified the complexity through Shannon entropy and detected atrial fibrillation. The detection algorithm was tested using the threshold between 10ms and 100ms on two databases, namely the MIT-BIH Atrial Fibrillation Database.

키워드

심방세동, RR 간격, 부호화, 정보 엔트로피, MIT-BIH 데이터베이스

Key word

atrial fibrillation, RR interval, symbolization, information entropy, MIT-BIH database

* 정회원 : 부산대학교 (ischo@pusan.ac.kr)

접수일자 : 2012. 02. 01

** 중신회원 : 부산대학교 (교신저자)

심사완료일자 : 2012. 03. 01

I. 서 론

심방 세동(Atrial Fibrillation:AF)은 각종 심장질환에서 비교적 빈번히 발생하는 부정맥으로 알려져 있지만, 심장질환이 없는 정상인에게도 나타나며, 그 발병률은 연령의 증가와 더불어 점차 증가한다[1, 2]. 전통적으로 심방세동을 검출하는 방법은 평균이나 표준편차와 같은 시간 영역 분석법과 파워 스펙트럼을 이용한 주파수 영역분석법이 대부분이었다[3-5]. 하지만 심전도 신호는 잡음에 노출되어 있고, 제한된 데이터 길이, 비정상성을(non stationary)을 내포하고 있기 때문에 전통적인 분석 방법으로는 RR 간격에 따라 변화하는 불규칙적 리듬에 관한 정보를 정확하게 얻기 힘들다[6-8]. 따라서 기존 방법의 문제점들을 개선하여 시간에 따라 변화하는 RR 간격의 복잡도를 정량화 하는 방법이 필요하다. 최근에 심장박동 속도의 내부 동역학뿐 아니라 뇌와 같은 생체 신호의 비선형 신호처리를 위해 부호 동역학 방법이 사용되고 있다. 부호 동역학은 어떤 측정값을 통계적 근사하는 것에 바탕을 둔 분석 방법으로 임의의 심전도 데이터를 몇 개의 부호로 구성된 서열로 변환한 후, 연속된 서열로 이루어지는 패턴을 찾아 분석하는 것이다. 이는 측정값에 대한 세부 정보는 다소 잃어버리지만 원래 생체신호에 포함된 불변의 동역학적 특성을 유지하여 시계열 내부 변화를 알 수 있는 유용한 방법이며, 매우 빠른 신호분석이 가능하므로 심장 변화를 감지하는 실시간 모니터링에 응용할 수 있다. 본 연구에서는 불규칙한 RR 간격을 부호화 방법으로 분류하고, 샤논 엔트로피를 이용하여 복잡도를 정량화한 후 심방 세동 패턴을 검출하는 방법을 제안한다. 이를 위해 먼저 RR 간격 데이터를 차분 분할 방식을 통해 부호 서열화 한 후, 샤논 엔트로피를 통해 복잡도 지수를 찾아 그 리듬에 대한 패턴을 분석하였다. 여기서 유한한 길이의 부호 서열화 패턴 분석이 적절하였음을 판단하기 위해 보정된 샤논 엔트로피를 통해 확인하였다. 성능 평가를 위해 1부터 100까지의 문턱값에 따른 부호화의 변화로부터 복잡도 지수를 측정하였으며 MIT-BIH 심방세동 데이터베이스를 이용하여 실험하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 심장질환을 진단하기 위한 RR 간격의 분석에 대하여 논하고, 3장에서는 복잡도 분석에 사용되는 부호화 방법 및 엔트로피에 대하여 분석하고, 4장에서는 MIT-BIH 데이터베이스에 대하여 실

험한 결과 및 3가지 방법과의 비교 평가를 실시하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. RR 간격 분석

RR 간격 분석은 심장질환 진단에서 중요한 도구로 사용되어 왔다. 측정 자체가 비침습적이고, 데이터 획득이 쉬워 심장병 환자에 따라 좋은 진단 정보를 제공할 수 있기 때문이다.

2.1. 선형 분석

시간 영역 분석법은 정상적인 RR 간격들에 대한 평균과 변화량을 통계적으로 사용하는 것으로, 특히 평균은 분당 심박수를 직접적으로 판단할 수 있어 측정자의 현재 심장 상태를 이해하는 중요한 기준으로 이용되고 있다. 그리고 평균과 같이 많이 사용하는 것으로 24시간 주기 동안 모든 정상 RR 간격의 표준편차인 SDNN(Standard Deviation of all the Normal RR intervals), RMSSD(Square Root of the Mean Squared differences of Successive RR interval) 등이 있다[9]. 심박변이 연구를 위한 또 하나의 방법으로 주파수 분석법이 있는데, 이것의 장점은 신호에 포함된 특정 주파수 성분에 대한 연구가 가능하다는 것이다. 이는 RR 간격의 연속된 값을 분해하는 방법으로 변화에 따른 차이를 파워 스펙트럼으로 나타낼 수 있다. 하지만 이러한 두 분석법은 RR 간격의 통계적인 선형분석과 생체리듬에 관여하는 시간과 주파수에 대한 정보만 알 수 있을 뿐 심장 박동속도에 따른 리듬에 대한 중요한 변화를 찾아낼 수 없는 단점이 있다.

2.2. 부호 분석

부호 분석은 시간에 따른 카오스 동역학계의 복잡한 변화를 설명하기 위한 기본적인 도구로 이용되었다. 이것은 어떤 측정값을 변환하여 새로운 부호로 구성된 데이터를 분석하는 방법으로 연속된 특정 개수의 부호로 재구성된 패턴을 이용하여 분석한다. 부호화 분석은 신호를 부호화하기 때문에 측정값에 대한 세부적인 정보는 다소 잃어버리기는 하지만 동역학계의 비선형적 특징은 유지되기 때문에 시계열의 내부변화를 알 수 있고, 빠른 신호분석이 가능하므로 실시간 분석에 적용할

수 있다[10,11]. 부호 변환에 사용되는 일반적인 접근 방법은 측정된 본래 신호에 대하여 영역을 분할하여 부호를 정의하는 구역 분할 방식과 연속된 두 값 사이의 차이에 대한 값을 몇 개의 영역으로 분할하는 차분 분할 방식이 있다. 본 연구에서는 부호화 분석에 있어 잡음으로 인한 데이터 안정성을 위하여 차분 분할 방식을 사용한다.

2.2.1. 차분 분할 방식

연속된 두 데이터의 차이에 대하여 부호화하는 것으로 차이가 특정 문턱값 보다 크다면 부호 1로 변환되는 2진 차분 분할 방식으로 수식 (1)과 같다. 부호 1은 n 번째 RR 간격보다 $n+1$ 번째 RR 간격이 더 길어졌다는 것이고, 분당 박동 수가 감소하여 심장박동이 늦어져 RR 간격의 변화가 감소한 것을 나타낸다. 반대로 부호 0은 n 번째 RR 간격보다 $n+1$ 번째 RR 간격이 더 짧아져 분당 박동 수가 증가하여 심장 박동이 빨라진 것으로 그 변화가 증가한 것을 나타낸다. 식 (2)는 4진 차분 분할 방식으로 문턱값을 RR 간격에 대한 평균값과 이에 대한 가중치(0.5)를 이용하여 부호화하는 방식을 나타낸다.

$$S_n = \begin{cases} 0, & t_{n+1} - t_n \leq \text{문턱값} \\ 1, & t_{n+1} - t_n \geq \text{문턱값} \end{cases} \quad (1)$$

$$S_n = \begin{cases} 0, & t_{n+1} - t_n \leq (1+k)A \\ 1, & t_{n+1} - t_n > A \text{ and } t_{n+1} - t_n \leq (1+k)A \\ 2, & t_{n+1} - t_n > (1-k)A \text{ and } t_{n+1} - t_n \leq A \\ 3, & t_{n+1} - t_n \leq (1-k)A \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $A = \text{RR간격의 평균값}$,
 $k = \text{평균값에 대한가중치}(0.5)$

2.2.2. 절대 차분 분할 방식

RR 간격의 변동은 심장의 교감과 부교감 신경의 조절에 의해서 나타나는 자율 신경계의 활동에 대한 정보를 제공하며, HR(heart rate)의 증가 또는 감소의 변화가 매우 복잡하게 나타난다. 절대 차분 분할 방식은 연속된 RR 간격 데이터의 절대적인 차이를 구분하여 심박동 변이가 증가 또는 감소를 확인하는 방법으로 수식 (3)과 같이 나타낸다. 이 값이 0인 경우에는 RR 간격의 변화가 감소한 것을 나타내고, 1인 경우에는 증가한 것을 나타낸다.

$$S_n = \begin{cases} 0, & |t_{n+1} - t_n| \leq \text{문턱값} \\ 1, & |t_{n+1} - t_n| \geq \text{문턱값} \end{cases} \quad (3)$$

III. 복잡도 분석

부호화를 통해 새롭게 생성된 부호서열에 대한 복잡도 분석을 위해 그 지수를 판단해야 하며 분석법으로는 샤논 엔트로피(Shannon Entropy :SE)가 주로 사용된다.

3.1. 샤논 엔트로피(SE)

부호화를 통해 생성된 부호서열에 대한 엔트로피 분석방법으로 데이터 내부에 존재하는 패턴의 불확실성(uncertainty)과 복잡도(complexity)를 계산하는 정량화 지수이다. 구체적으로 SE가 특정주기 동안의 데이터에 대해 규칙적인 패턴을 나타낸다면, 이후 주기 동안의 데이터에 대해서도 역시 유사한 규칙적인 패턴을 가진다. 예를 들면 임의의 백색 잡음 신호는 최대의 불규칙성을 나타내는 높은 SE 값(1.0)을 가지는 반면 단순한 사인 곡선 신호는 매우 낮은 SE 값(0.0)을 가진다. 이와 같이 정상 리듬의 SE 값은 AF일 경우의 그것보다 두드러지게 낮다. SE는 부호 서열에 대한 분석법으로 일반적으로 많이 사용되는 방식이며, 패턴 길이가 l , 부호 개수가 k 인 확률 $P(S_i^k)$ 에 대한 SE는 아래 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SE = - \sum P(S_i^k) \log_2 (P(S_i^k)) \quad (\text{단, } S_i^k, P(S_i^k) > 0) \quad (4)$$

3.2. 보정된 샤논 엔트로피

일반적으로 SE는 대상의 동역학적 정보를 얻기 위해서 무한히 긴 시계열의 정보를 분석해야 한다. 하지만 RR 간격과 같은 생체 데이터는 유한한 시간 동안만 얻는 것이 가능하기 때문에 짧은 데이터로 분석할 경우 잘못된 결과를 가져올 수 있다. 따라서 유한한 부호 서열에 대한 SE분석이 적절하였음을 판단하기 위해 보정된 샤논 엔트로피(Correction SE: CSE)를 이용하여 확인하였고, 이는 수식 (5)와 같이 나타낸다. 여기서 M 은 전체 부호 서열의 수, C_R 은 주어진 부호 서열에서 실제로 나타나는 길이가 k 인 서로 다른 패턴의 개수를 나타낸다.

$$CSE = SE + \frac{C_R - 1}{2M \ln 2} \quad (5)$$

그림 1과 같이 낮은 값의 엔트로피는 특정 부호가 주도적으로 나타난다는 것으로 단순한 구조를 가지고 있다는 것을 의미하고, 그림 2와 같이 높은 값의 엔트로피는 고른 분포를 보인다는 것은 부호서열의 구조가 어느 한 변화에 국한되지 않는 복잡한 구조를 가졌다는 것을 의미한다.

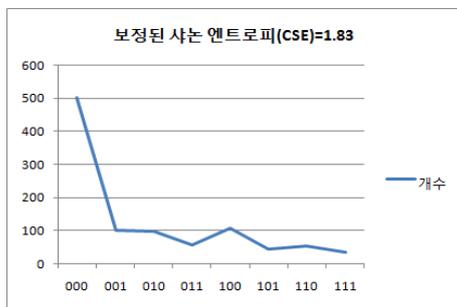


그림 1. 낮은 값의 엔트로피
Fig. 1 The low entropy

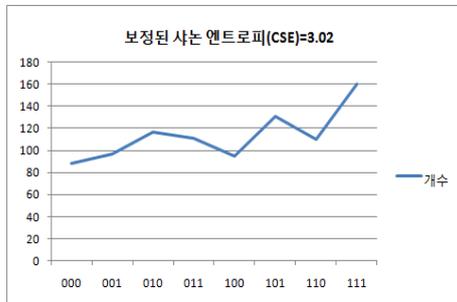


그림 2. 높은 값의 엔트로피
Fig. 2 The high entropy

IV. 성능 평가

4.1. 부호화 분석

본 연구에서는 정상 상태와 심방세동(AF) 상태에서의 RR 간격 신호를 분석하였다. 분석 데이터는 MIT-BIH 데이터베이스로부터 얻은 정상군과 AF군에 대하여 분석하였고, 데이터 길이는 2048로 제한하였다. 부호화 분

석 알고리즘은 3가지 방법으로 분류하였으며, 각각의 분류 기준은 다음과 같다.

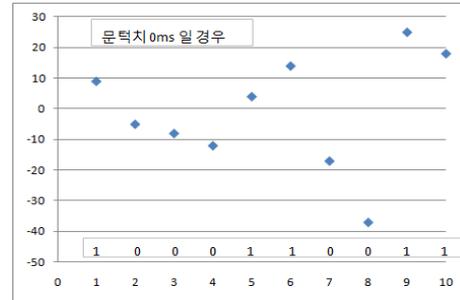


그림 3. 2진 차분 분할 방식
Fig. 3 Binary differential partition

4.1.1. 2진 차분 분할 방식

이는 식 (1)을 이용하였으며, 그림 3과 같이 비교적 단순한 형태를 나타낸다. 문턱값 0ms로 하였을 경우 Y축의 0을 기준으로 그 상위에 있는 점은 RR 간격의 차이가 문턱값보다 커 부호 1로 변환되었고, 하위에 있는 점은 그 차이가 문턱값보다 작아 부호 0으로 변환된 것을 보여주고 있다.

4.1.2. 4진 차분 분할 방식

2진 차분 분할 방식을 4부호로 확장한 것으로 문턱값을 평균값과 그 평균값에 대한 가중치의 곱으로 계산한다. 이 방식은 0과 1의 값과 같이 특정영역에 대해서 구성되는 것이 아니라 각각 평균값과 그 가중치에 대하여 0, 1, 2, 3의 4가지 값으로 구분하여 부호화하는 방식으로 그림 4에 나타내었다. 그림 4는 RR 간격의 평균값이 50ms, 가중치가 0.5일 경우의 부호화한 결과를 나타낸 것이다. 이 방식은 재구성된 부호 서열로 시간(t)에 따른 변이를 나타내는 것으로 부호로 재구성된 패턴들에 의해 변이도의 증가 또는 감소를 알 수 있으며, 부호화는 수식 (2)를 이용하였다.

4.1.3. 절대 차분 분할 방식

변동 부호화 방식으로 식 (3)을 이용하였으며 값이 0인 경우에는 변화가 작은 것을 나타내고 부호 1인 경우에는 부호 0보다 큰 변화를 나타낸다. 그림 5는 연속된 두 RR 간격의 차이가 25ms보다 클 경우에는 Y축의 0을

기준으로 상위에 있는 점은 RR 간격의 차이가 문턱값보다 커 부호 1로 변환된 것으로 HR의 변위가 증가된 상태를 나타내며, 하위에 있는 점은 그 차이가 문턱값보다 작아 부호 0으로 변환되어 HR의 변위가 감소된 상태를 알 수 있다.

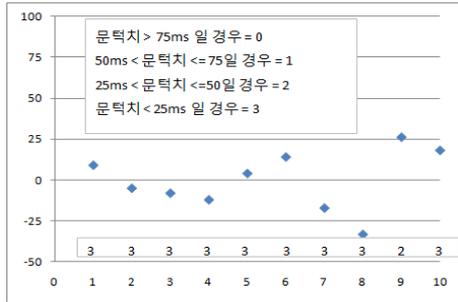


그림 4. 4진 차분 분할 방식
Fig. 4 Quad differential partition

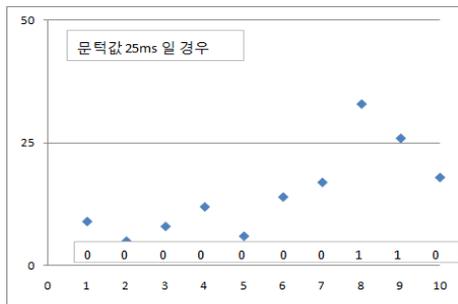


그림 5. 절대 차분 분할 방식
Fig. 5 Absolute differential partition

4.2. 문턱값에 따른 부호화 분석

부호 분석에 사용되는 문턱값은 심장 박동의 변이를 알 수 있는 매개 변수로 문턱값에 따른 부호화의 변화로부터 심장 박동의 가속과 감속을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 각 분할 방식에 따른 패턴 변화를 확인하기 위해 문턱값을 10, 20, 50ms로 변화시켰다. 패턴 분석은 제안된 3가지 부호화 방식에 의해 구성된 부호 서열에 대하여 길이가 3인 000부터 111까지의 총 8개의 패턴을 확인하였다. 그림 6은 문턱값이 10, 20, 50ms에서의 정상에서의 패턴변화를 나타냈고, 그림 7은 그 범위에서의 심방세동(AF)을 나타냈다.

그림 6에서 보는 바와 같이 정상일 경우에는 문턱값 10ms에서 패턴 111이 주된 형태로 나타나고, 20ms에서는 패턴 000이 주된 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 문턱값이 증가할수록 패턴 000이 나타나는 비율이 증가함을 알 수 있다. 하지만 문턱값이 50ms에 이르러서는 패턴 000이 아닌 다른 패턴도 나타남을 알 수 있으며, 이는 문턱값 50ms 이상의 증가는 패턴 분석에 효과가 없음을 의미하며, 정상군에서는 문턱값 10ms와 20ms일 경우 다른 패턴과의 차이가 명확하게 드러남을 알 수 있다. 그림 7의 심방세동군은 문턱값이 10ms에서는 패턴 000과 111이 주된 형태로 나타나고 나머지 패턴도 골고루 나타남을 알 수 있다. 또한 문턱값이 증가할수록 000의 패턴이 나타나는 비율이 증가한다. 즉 문턱값 10ms일 때 명확한 패턴이 드러남을 확인할 수 있다.

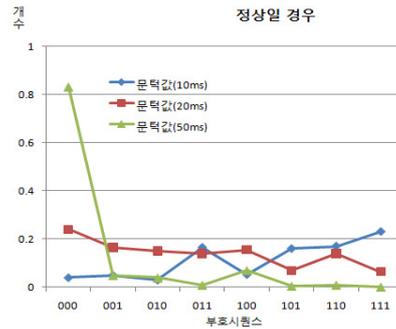


그림 6. 문턱값에 따른 패턴 변화(정상)
Fig. 6 Pattern variability by threshold(normal)

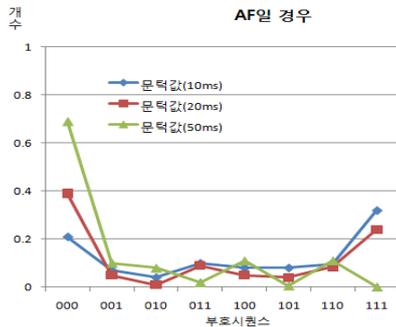


그림 7. 문턱값에 따른 패턴 변화(AF)
Fig. 7 Pattern variability by threshold(AF)

또한 문턱값에 따른 부호화 패턴을 분석하기 위해 최적 문턱값 10ms를 3가지 부호화방식에 적용한 결과를 표 1, 2, 3에 각각 나타내었다. 먼저 2진 차분 분할방식에 의한 정상과 AF의 패턴은 표 1에서와 같이 대부분 유사하게 나타났으나, 111은 AF가 정상의 0.45배의 값을 나타내므로 111이 두 군을 구분할 수 있는 패턴임을 확인할 수 있다. 4진 차분 분할 방식에 의한 패턴 비교에서도 표 2와 같이 2진 차분 분할방식과 유사하게 111 패턴이 AF군에서 정상군의 0.55배 정도의 빈도를 보였으나, 002, 120, 202 패턴에서는 AF군을 찾지 못하여 패턴차이를 구할 수 없는 문제점이 있었다. 표 3은 절대 차분 분할 방식을 이용한 패턴 분석 결과를 나타낸다. 이는 111 패턴에서 2진 차분분할 방식보다 약간 높은 0.54배의 패턴 차이를 보이고 있으며 다른 패턴과의 차이가 확연하게 나타남을 확인하였다.

표 1. 2진 차분 분할 방식에 의한 정상과 AF
*패턴차이=1-(AF군/정상군)
Table. 1 Normal vs AF through binary differential partition

빈도수	정상군	AF군	패턴차이
000	1018.06	953	0.18
100	855.35	875.94	0.14
010	920.47	1111.94	0.34
001	855.35	875.94	0.38
110	475.47	402.18	0.22
011	475.71	402.24	0.22
101	540.71	638.24	0.28
111	265.76	120.71	0.45

표 2. 4진 차분 분할 방식에 의한 정상과 AF
*패턴차이=1-(AF군/정상군)
Table. 2 Normal vs AF through quad differential partition

빈도수	정상군	AF군	패턴차이
002	0.12	0	0
111	265.8	120.8	0.55
112	475.6	402.2	0.154
120	0.12	0	0
121	540.7	638.4	0.2
122	855.4	876.1	0.01
202	0.12	0	0
211	475.7	402.3	0.15
212	920.5	1112	0.21
221	855.5	876.2	0.02
222	1018	953	0.16

표 3. 절대 차분 분할 방식에 의한 정상과 AF
*패턴차이=1-(AF군/정상군)
Table. 3 Normal vs AF through absolute differential partition

빈도수	정상군	AF군	패턴차이
000	1368.77	1503.41	0.20
100	1368.77	474.47	0.35
010	533.94	396.71	0.24
001	572.24	474.76	0.13
110	541	488.18	0.08
011	540.88	488.35	0.06
101	502.59	410.41	0.16
111	775.35	1143.89	0.54

4.3. 문턱값에 따른 샤논 엔트로피 분석

패턴 분석을 토대로 정상과 AF군을 분석한 후 부호 엔트로피를 계산하여 RR 간격의 변화에서 나타나는 동역학적 상태를 분석하였다. 그림 8은 문턱값이 10ms ~ 100ms로 변할시 각 군에서의 엔트로피 변화를 샤논 엔트로피를 통하여 정량화한 것으로 정상과 AF 모두에서 문턱값이 증가할수록 엔트로피가 감소하는 경향을 보였다. 특히 문턱값 10ms와 50ms 사이의 엔트로피 변화는 두 군에서의 차이를 확실히 구분할 수 있음을 알 수 있다. 또한 문턱값 10ms에서는 패턴분석에서와 마찬가지로 두 군의 엔트로피가 가장 높음을 알 수 있으며, 이는 10ms가 두 군을 구분할 수 있는 최적의 문턱값이며, 복잡도 지수를 정량화할 수 있었다.

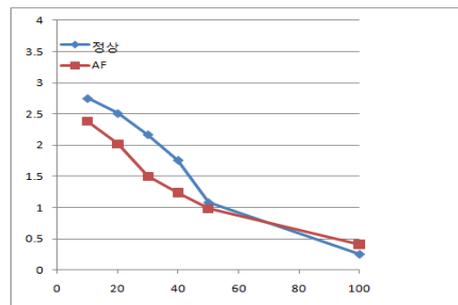


그림 8. 문턱값을 통한 샤논 엔트로피 분석
Fig. 8 Shannon entropy through threshold

4.4. 보정된 샤논 엔트로피 분석을 통한 검증

앞서 3가지 차분분할 방식을 통해 정상과 심방세동에 대한 RR 간격 변동의 패턴을 분석하였다. 또한 샤논

엔트로피를 이용하여 패턴의 복잡도 지수를 정량화 하였다. 여기서는 유한한 길이의 부호화 서열 패턴 분석이 보정된 샤논 엔트로피를 통해 적절하였음을 확인하였다.

그림 9에 패턴에 대한 샤논 엔트로피(SE)와 보정된 샤논 엔트로피(CSE)를 계산하여 복잡도 지수를 정량화하고 그 결과를 분석하여 나타내었다. 샤논 엔트로피를 이용한 3가지 차분 분할 방식에 의한 패턴의 복잡도 지수를 보면 2진 차분 분할 방식과 절대 차분 분할 방식에서는 AF군보다 정상군이 큰 값을 가진다는 것을 확인할 수 있으나, 4진 차분 방식에서는 AF군이 높은 엔트로피를 가지는 것으로 확인되었다. 보정된 샤논 엔트로피도 이와 마찬가지로 2진 차분 분할 방식과 절대 차분 분할 방식에서 AF보다 정상에서 큰 값을 가진다는 것을 확인할 수 있으나, 4진 차분 방식에서는 AF가 높은 엔트로피를 가지는 것으로 확인되었다. 이는 샤논 엔트로피를 유한 길이에 대해 부호를 서열화하여 패턴을 분석하여도 적절함을 확인할 수 있었다. 또한 복잡도 분석 결과 RR 간격 변동은 심방세동 환자는 정상인보다 더 복잡하다는 것을 나타낸다.

여기서 4진 분할 방식에서 AF군이 높은 엔트로피를 보인 것은 표 2에서 확인한 바와 같이 002 및 몇 패턴에서는 AF군을 찾지 못하여 패턴차이를 구할 수 없던 문제점이 발생하기 때문으로 생각된다. 즉 4진 분할 방식은 부호화 방식으로 적합하지 않다는 것을 확인할 수 있다.

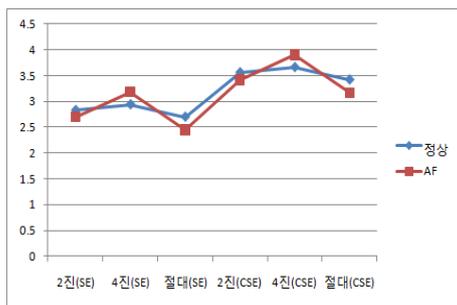


그림 9. 부호화를 통한 각 엔트로피 분석
Fig. 9 Entropy analysis through symbolization

V. 결 론

본 연구에서는 부호화와 정보 엔트로피에 기반한 AF 패턴 분석 방법을 제안하였다. 이를 위해 먼저 RR 간격 데이터를 차분 분할 방식을 통해 부호 서열화 한 후 그림에 대한 패턴을 분석하고 이를 샤논의 정보 엔트로피를 통해 복잡도를 정량화하여 심방세동의 변화를 분석하였다. 성능 평가를 위해 10부터 100까지의 문턱값에 따른 엔트로피를 통해 복잡도를 분석하였으며 MIT-BIH 심방세동 데이터베이스를 이용하여 실험하였다. 각 차분 분할방식에 의한 정상과 AF의 패턴은 대부분 유사하게 나타났으나, 특히 111 패턴이 두 군을 구분할 수 있는 패턴이라는 것과, 그 패턴이 명확하게 구분되는 문턱치는 10ms인 것을 확인할 수 있었다. 샤논 엔트로피를 이용한 3가지 차분 분할 방식에 의한 패턴의 복잡도 지수를 보면 2진 차분 분할 방식과 절대 차분 분할 방식에서는 AF보다 정상이 큰 값을 가진다는 것을 확인할 수 있으나, 4진 차분 방식에서는 AF군이 높은 엔트로피를 가지는 것으로 확인되었다.

이러한 분석이 나온 것은 몇 패턴에서 AF군을 찾지 못하는 문제점이 발생하기 때문이다. 즉 4진 분할 방식은 부호화 방식으로 적합하지 않다는 것을 확인할 수 있다. 보정된 샤논 엔트로피도 이와 마찬가지로 결과를 나타내었다. 여기서는 유한한 길이의 부호화 서열 패턴 분석이 보정된 샤논 엔트로피를 통해 적절하였음을 나타낸다. 따라서 샤논의 엔트로피 지수는 심장 박동의 리듬의 변화에 대한 특성을 검출할 수 있는 방법이라는 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 부호화와 엔트로피 분석은 RR 간격의 변화를 반영하는 기준이 된다는 것을 확인할 수 있다. 향후 심전도 신호에 나타나는 특정 패턴에 대한 의미 있는 해석을 위한 연구가 앞으로 더 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] A. Bollmann, F. Lombardi, Electrocardiology of Atrial Fibrillation. Current Knowledge and Future Challenges, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 25, No 6, 2006, pages 15-23.

- [2] Furberg C, Psaty B, Manolio T, Gardin J, Smith V, Rautaharju P: Prevalence of atrial fibrillation in elderly subjects. *The American Journal of Cardiology* 1994, 74(3):236-241.
- [3] Aytemir, K., S. Aksoyek, A. Yildirim, N. Ozer, and A. Oto. Prediction of atrial fibrillation recurrence after cardioversion by P wave signal-averaged electrocardiography. *Int. J. Cardiol.* 70:15 - 21, 1999.
- [4] Clavier, L., J. M. Boucher, R. Lepage, J. J. Blanc, and J. C. Cornily. Automatic P-wave analysis of patients prone to atrial fibrillation. *Med. Biol. Eng. Comput.* 40:63 - 71, 2002.
- [5] Dotsinsky, I. Atrial wave detection algorithm for discovery of some rhythm abnormalities. *Physiol. Meas.* 28:595 - 610, 2007.
- [6] Duverney, D., J. Gaspoz, V. Pichot, F. Roche, R. Brion, A. Antoniadis, and J. Barthe´ le´my. High accuracy of automatic detection of atrial fibrillation using wavelet transform of heart rate intervals. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 25:457 - 462, 2002.
- [7] Sarkar, S., D. Ritscher, and R. Mehra. A detector for a chronic implantable atrial tachyarrhythmia monitor. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 55:1219 - 1224, 2008.
- [8] Tateno, K., and L. Glass. A method for detection of atrial fibrillation using RR intervals. *Comput. Cardiol.* 27:391 - 394, 2000.
- [9] Tateno, K., and L. Glass. Automatic detection of atrial fibrillation using the coefficient of variation and density histograms of RR and RR intervals. *Med. Biol. Eng. Comput.* 39:664 - 671, 2001.
- [10] S. Dash, K. H. Chon, S. Lu and E. A. Raeder "Automatic Real Time Detection of Atrial Fibrillation," *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 37, No. 9, pp. 1701-1709 (2009).
- [11] Cysarz D, Bettermann H, Leeuwen PV, Entropics of short binary sequences in heart period dynamics, *Am J Physiol*, 2000, 278, H2163-H2172.
- [12] Kurths J, Voss A, Saparin P, Witt A, Kleincor HJ, and Wessel N. Quantitative analysis of heart rate variability. *Chaos*. 1995; 5 L 88-94.
- [13] Douglas EL, Joshua SR, Griffin MP, and Moorman JR. Sample entropy analysis of neonatal heart rate variability, *Am J Physiol Regul Integr comp Physiol*, 2002, 283 : 780-797.

저자소개

조익성(Ik-Sung Cho)

해양정보통신학회 논문지
제13권 제11호 참조

권혁송(Hyeog-Soong Kwon)

해양정보통신학회 논문지
제13권 제11호 참조