

FRACTAL 차원을 이용한 심박변화 분석에 관한 연구

이 병 채, 이 명 호
연세대학교 공과대학 전기공학과

A Study on Analysis of Heart Rate Variability Using Fractal Dimension

Byungchae Lee and Myoungho Lee
Dept. of Electrical Eng., Yonsei University

Abstract

This paper is to find out more reliable analyzing method of heart rate variability. Heart rate variability analysis is to evaluate cardiovascular stability and also have used as an indicator of autonomic nervous system activity. In this study, time domain analysis, spectral analysis and state space analysis method are applied to analyze heart rate variability. Because of nonlinear characteristics of heart rate, we need not only spectral analysis, but also state space analysis. Fractal dimension of spectral estimation is useful indicator of autonomic nervous activity.

1. 서 론

심박변화 분석은 심혈관 시스템의 안정성 평가뿐만 아니라 다양한 생리적 변동을 예측하거나 진단하는데 이용된다.

1978년 Lipsitz등에 의해 심근경색 이후 환자의 생존율을 예측하려는 목적으로 이용된 이후, 생리학자들이나, 의용공학자에 의해 잠재적으로 많은 정보를 제공해 줄 수 있는 심박변화 분석에 대한 연구는 많은 주목을 끌고 있다.

심박변화 분석 방법은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째는 시간 축 해석 방법이다. 이 방법은 평균, 분산, 표준편차와 같은 확률적 방법을 이용하는 것으로 현재 대부분의 임상 시스템에서 채용하고 있는 것이다. 이 방법은 피상적인 정보만을 제공해 주며, 자율신경 활동을 평가하는 등의 변화 측정에는 제한이 있다.

두번째로는 가장 일반적인 방법인 주파수 분석이다. 대부분 FFT 나 자기회기함수를 이용한다. 지난 10여년간의 연구를 통해 알려진 바로는 심박변화에는 3개의 주파수 성분 0.0 Hz 부근의 VLF(very low frequency), 0.1 Hz 부근의 LF (low frequency) 그리

고 0.25 Hz 부근의 HF (high frequency)이 존재한다. 심장순환계에서 LF 진동은 혈관운동과 HF 진동은 호흡에 영향을 받는 것으로 알려졌다. 즉, 신체가 기울어 지거나, 스트레스를 받거나, 운동후에 LF의 증가가 보고되고 있다. LF와 HF는 상호 밀접한 관계가 있어 LF의 증가는 HF의 감소로 나타난다.

현재까지는 주파수분석법이 자율신경시스템의 활동을 평가하는 가장 간단하고 정확한 방법으로 인식되어 대부분의 연구에서 이를 이용하고 있다. 그러나 심박변화 신호가 갖는 비선형적인 성질이 주파수 분석이 갖는 결정론적인 특성과는 본질적으로 일치하지 않는다. 주파수분석법에서 사용되는 LF, HF 및 이를 이용한 교감성신경 및 부교감신경계의 활동을 나타내는 SNS 및 PNS 신호는 넓은 대역의 주파수 스펙트럼 잡음과 중첩되어 있으며 이 신호는 주파수에 역비례한다. 일반적으로 $1/f^\beta$ 특성이라고 한다. 따라서 심박변화 분석을 위해서는 LF, HF 와 같은 주기성 요소뿐만 아니라 비선형적인 $1/f^\beta$ 특성을 정량화 해야 한다.

최근에는 이러한 주파수 특성 분석이 새로운 분석 방법으로 연구되고 있다. 세번째 방법으로는 위상공간 영역에 어트랙터를 재구성한 후 이 어트랙터의 정성적, 정량적 분석을 하는 방법으로 재구성된 어트랙터의 기하학적인 의미에서 새로운 정보를 찾아내는 방법이다. 본 논문에서는 시간축분석, 주파수 분석 및 어트랙터 재구성에 의한 위상공간 분석을 병행하여 심박변화 분석에 보다 정확한 정보를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

본 논문에서 실시한 모든 분석 과정은 본 연구진이 제안한 '카오스 분석기'를 이용하였다.

본 논문에서는 일반적으로 생리 실험에 많이 사용되는 누운 자세와 선자세에서 심전도를 측정하는 '자세실험'을 실시 하였다. 실험대상자는 23세에서 31세

에 이르는 10명의 건강한 성인남자로 하였다. 측정 기기는 SpaceLab 사의 90701 모델을 이용하였으며 TEAK 4 채널 데이터 레코더를 이용하여 누운 자세에서 15분 측정후, 일어선 자세에서 15분간의 데이터를 아날로그 테이프에 저장하였다. 저장된 데이터는 DT2821 아날로그/디지털 변환기를 이용하여 500 Hz의 샘플 주파수로 디지털 데이터로 저장 하였다.

디지털 심전도 데이터는 QRS 검출 알고리즘에 의해 R 점을 검출한 후, 확인과정을 통하여 평균 RR 간격의 2배 이상 되거나, 2배 이하되는 R 점들은 삽입 또는 제거 과정을 통해 보정하여, RR 데이터를 얻었다. 이 RR 데이터는 다시 2 Hz의 연속적이며, 균등한 시간격의 IHRS (instantaneous heart rate series)로 변환하여 분석한다. 그림 1에는 분석과정을 흐름도로 나타내었다.

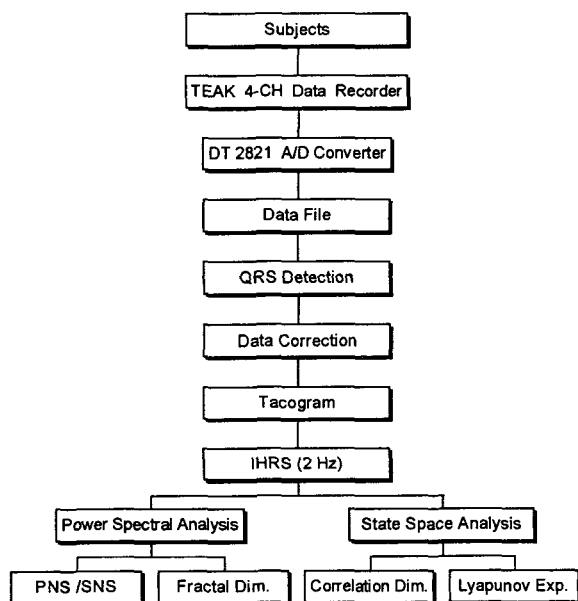


그림 1 분석 흐름도

- 주파수 분석

본 논문에서는 주파수 분석을 위해 Yamamoto 등이 제안한 CGSA(coarse grained spectral analysis) 방법을 이용하였다.

CGSA 방법은 주파수 분석시 주기성 요소와 프랙탈 요소를 분리하므로 일반적인 자율신경계 평가 및 프랙탈 차원을 계산할 수 있어, 비선형적인 성질을 고려하지 않은 기존의 주파수 분석 방법에 비해 편리하고 효율적인 방법이다. 그림 1은 이 방법을 이용한 주파수 분석의 한 예를 나타내었다.

그림 2의 (a)는 심박 파형이며, (b)는 심박파형의 전체 주파수 스펙트럼을 로그-로그 그림으로 나타낸 것이다. (c)와 (d)는 전체 스펙트럼 중 프랙탈 요소와 주기성 요소의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

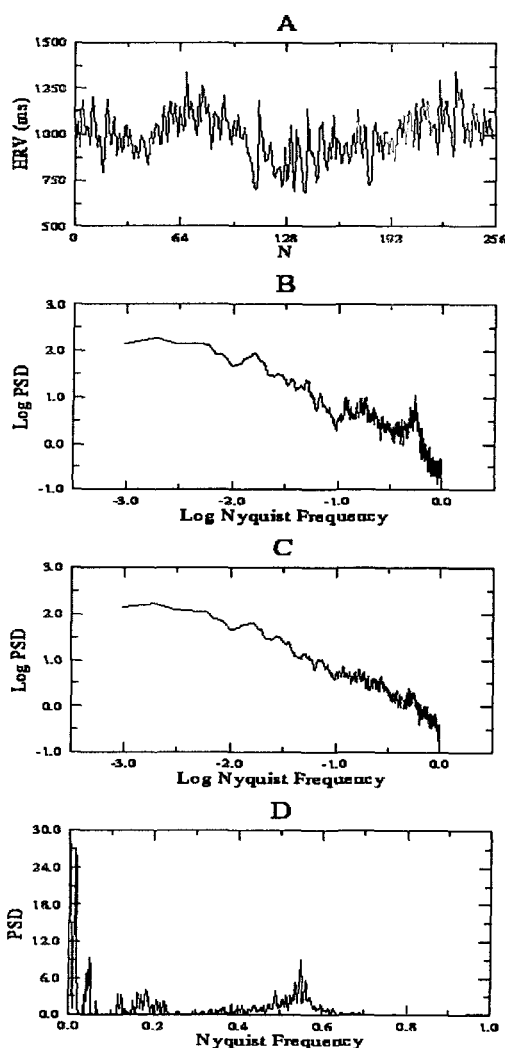


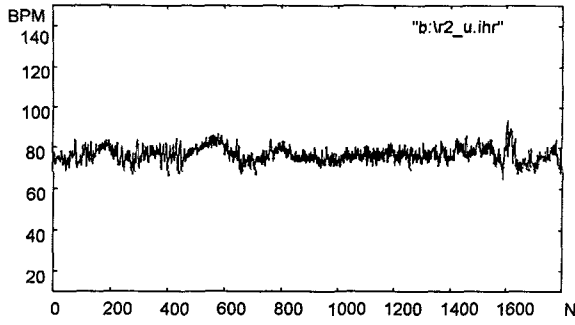
그림 2 주파수 분석의 예

- 어트랙터 분석

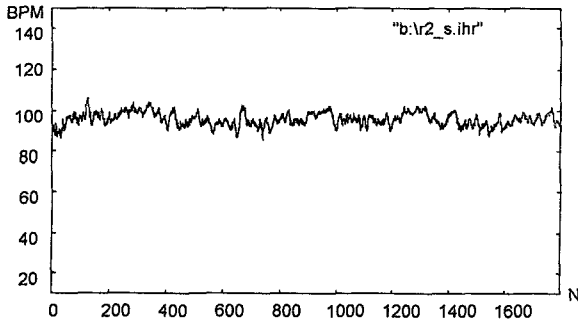
IHRS 신호에 대해 상호정보량과 False neighbor 알고리즘에 의해 임베딩 변수를 찾아내었다. 본 논문의 경우 지연시간은 4 초이며, 최소 임베딩 차원은 8 이었다. 임베딩 변수를 이용하여 어트랙터를 재구성한 후 상관차원 및 최대 리아프노프 지수를 계산 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3에는 두 자세에서 얻어진 26세 남자의 IHRS 신호를 나타내었다. 이때의 평균 심박수는 각각 76과 95 이었으며, 표준편차는 3.26과 2.73이었다. 그림 4의 (a)는 누운 자세에서의 주파수 스펙트럼이며, (b)는 선 자세에서의 주파수 스펙트럼을 나타내었다. 표 1에는 각 자세에 대한 주파수 분석 결과를 나타내었다.

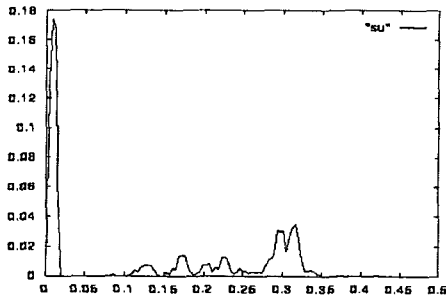


(a) 누운 자세에서의 심박변화

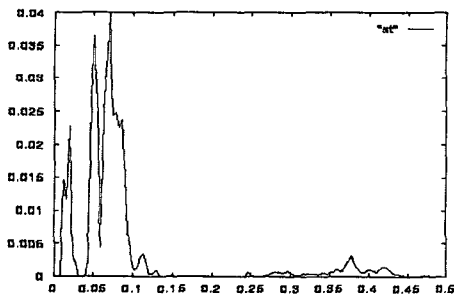


(b) 선 자세에서의 심박변화

그림 3 심박변화 시계열 데이터



(a) 누운 자세의 스펙트럼



(b) 선 자세의 스펙트럼

그림 4 주기성 성분 스펙트럼

표 1. 각 자세에서의 주파수 분석 및 어트랙터분석의 결과

	누운 자세 (Supine)	선 자세 (Standing)
주파수 분석 결과		
Total Power	3.167	2.298
Harmonic Power	0.897	0.351
Fractal Power	2.270 (71%)	1.947 (84%)
PNS	0.143	0.006
SNS	0.967	23.543
프랙탈 차원	18.16	2.16
어트랙터 분석 결과		
상관 차원	6.7543	3.5382
리아프노프지수	0.3871	0.2973

4. 결론

본 논문에서는 기존의 주파수 분석법에 의한 자율신경계 활동 평가 방법이 1/f 특성을 지닌 넓은 대역의 잡음과 중첩되어 있는 심박변화율의 특성을 고려하지 않는 단점을 보완하여, 1/f의 기울기를 이용하여 프랙탈 차원을 계산하였다. 또한 잠재적으로 사용 가능한 방법으로써, 신호의 stationarity를 고려해야 하

는 주파수 분석 방법의 대안으로 1차원 시계열 데이터로부터 어트랙터를 재구성하여 한 상관차원 및 리아프노프 지수를 계산하였다. 심박변화율이 지닌 복잡하고 다양한 특성을 고려할때, 이러한 분석 방법들을 함께 병행하여 분석함으로써, 보다 신뢰할 수 있는 분석 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

1. M. Bootsma et. al., "Heart rate and heart rate variability as indexes of sympathovagal balance", American Journal of Physiology, Vol.266,Iss 4, pp.H1565-1571,1994
2. RS. Jaffe et.al., "Optimal frequency ranges for extracting information on autonomic activity from the heart rate spectrogram", Journal of Autonomic Nervous system, Vol.46,Iss1-2, pp.37-46,1994
3. VK.Yeragani et.al., "Relationship between age and heart rate variability in supine and standing postures-A Study of Spectral-analysis of heart rate", Pediatric Cardiology, Vol.15, Iss 1, pp.14-20, 1994
4. M. Maliani et. al., "Heart rate variability and clinical cardiology", British Heart Journal, Vol.71, pp.3-6,1994
5. Y. Yamamoto et.al., "Coarse-graining spectral analysis: new method for studying heart rate variability", Journal of Applied Physiology, Vol.71, No.3, pp.1143-1150,1991
6. A. wolf, "Lyapu-News", Personal communications. 1994
7. 이병채, 이명호, "생체 카오스의 비선형 시계열 데이터 분석", 의공학회지, 제15권,3호, pp. 347-354,1994
8. Byungchae Lee and Myoungcho Lee et.al., "Relationship between autonomic nervous system activity and chaotic attractors on biological signal" Proc. of 16th IEEE Int'l conference on Engineering on Medicine and Biology,1994