

심전도에서의 비선형적 특성 분석에 관한 연구.

이종민, 박광석*

서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학전공

*서울대학교 의과대학 의공학교실

A study on the analysis of nonlinear characteristics of ECG.

Jongmin Lee, Kwangsuk Park*

Interdisciplinary Program, Med. & Biol. Engr. Major, Seoul Nat. Univ.

*Dept. of Biomed. Engr., Coll. of Med., Seoul Nat. Univ.

Abstract

It has been shown that some of physiological systems have nonlinear dynamics. The evidences of these nonlinear behaviors make us analyze physiological systems in the new viewpoint. And, nonlinear dynamics can be represented by chaotic behaviors, which is studied by several methods - correlation dimension, return map, power spectrum analysis, etc. This study is on the analysis of nonlinear characteristics of ECG. Data have been acquired from the 20 children (10 - 13 years old), and 30 students (20 - 24 years old). We have calculated parameters HR, PR, VAT, TD, TRD from data, and estimated correlation dimension, return map, power spectrum. Results show the nonlinear characteristics of ECG.

1. 서론

일반적으로 생체신호는 비선형적인 요소를 많이 지니는 것으로 이해되고있다. [10][11] 이러한 비선형적인 특성들에 대한 분석을 통해 생체신호에 대한 이해를 더욱 증진시킬 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 비선형적 특성은 chaotic 특성이라고도 하며, 그러한 특성들을 분석하는 방법들중 가장 널리 사용되는 방법은 correlation dimension [1][2][3][4][5]과 return map [6] 등이다. 서울대학교 소아심전도실에 측정된 국민학교 3학년에서 6학년사이의 남녀 어린이 20명에 대한 심전도와 서울대학교 약리학교실에서 측정된 남자대학생 30명의 심전도에 대해서 비선형적인 특성들을 조사했다. 박동수(Heart Rate), PR, VAT(ventricular activation time), TD(total duration), TRD(total repolarization duration) 등의 시간간격들에 대해서 각각 correlation dimension, return map, power spectrum 등을 계산했다. 그 결과 심전도에 나타나는 여러가지 시간간격들은 비선형적 특성을 지닌다는 예상을 뒷받침하는 결과들을 얻을수있었다.

2. 배경 이론.

일반적으로 비선형계가 지니는 특징들을 살펴보면 다음과 같은 네가지를 들수있다. [7]

- 1) deterministic & aperiodic.
- 2) sensitive dependence on initial condition.
- 3) constrained to relatively narrow band.
- 4) deterministic pattern.

이러한 비선형계를 연구하는 방법에는 위상공간, Return map, Poincare sections, Lyapunov exponents, Correlation Dimension, Spectral analysis 등이다. [7]

본연구에서 사용된 방법들은 correlation dimension 방법과 return map, spectral analysis 방법을 이용하여 심전도의 비선형적 특성을 분석하였다.

return map은 discrete data에 적용하며, 주어진 점들을 가로축으로, 그 점에 대해서 일정시간 (lag) 후에 해당하는 그다음의 점을 세로축으로 표시하는 방법이다. shaw의 물방울 실험 [7]이 대표적인 예이며, chaotic 신호와 random 신호사이를 명백하게 구분하여 준다.

Correlation Dimension은 초기의 두 값이 시간의 진행에 따라 수렴, 발산하는 정도를 나타내어주는 양이며, 계를 결정하는 독립변수의 갯수와 관련이 있다. 혼돈의 경우에는 낮은차원의 비정수의 값을 가진다. 그 값을 결정하는 방법은 일반적으로 Grassberger and Procaccia의 방법이 가장 많이 사용되고 있으며 그 내용은 다음과 같다. 먼저 correlation integral를 다음식과 같이 정의한다.

$$C(r) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} * [|X_i - X_j| < r \text{ 만족하는 } (i, j) \text{ 쌍의 총갯수}]$$

여기에서 $X_i = (x_1, x_{1+1}, x_{1+2}, \dots, x_{1+(m-1)t})$ 는 단일 시계열에서 만들어지는 m차원 공간상의 한 점 이라한 $C(r)$ 는 r'에 비례하게되며, 이때의 v를 correlation dimension이라고 한다. 이때 embedding dimension m과 delay time t에 의해 그 값이 달라진다. 즉, t의 값이 너무 작으면 $(x_1, x_{1+1}, x_{1+2}, \dots, x_{1+(m-1)t})$ 이 되어 공간상에서 대각선상에 위치해서 attractor를 발견하기 어려우며, t의 값이 너무 크면 time series상의 거리값들이 강한 상관 관계를 가지지 않으므로 어렵다. m의 경우

attractor의 Hausdorff dimension보다 더 커야하지만, 너무 크게 잡으면 실험상의 오차에 빠지기 쉬우며 통계적인 의미가 부족하게된다. 이러한 두가지 요소의 값결정이 중요하지만, 아직까지 알려진 정확한 기준은 없다. Spectral analysis는 정성적인 측정방법으로서, noise에 대해서 robust하며 periodic 신호은 잘 구별하지만, random과 chaotic 신호사이는 잘 구별하지 못한다. 1/f의 특성은 비선형계의 특성이라고 말해지지만 아직 정확히 규명된것은 아니다. [8]

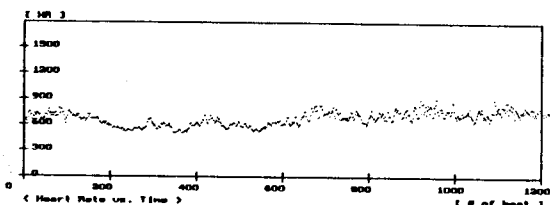
3. 실험

실험에 사용한 data는 두 종류의 피험자들로부터 얻었다. 첫번째 case는 서울대학교병원 소아 심전도실에서 측정한 신동국민학교 3학년에서 6학년사이의 어린이 20여명의 심전도들이며 두번째 case는 서울대학교 약리학 교실에서 측정한 남자 대학생 30여명의 심전도들이다. 두번째 case는 특히 다시 두가지 group으로 나누어서 측정했다. 즉, 약리학 교실에서 실험중이었던 특정한 약물(심장박동수에 대한 변화 유무를 조사)에 대해서 투여하기 직전과 직후에 대해서 각각 열다섯명씩의 data를 얻었다.

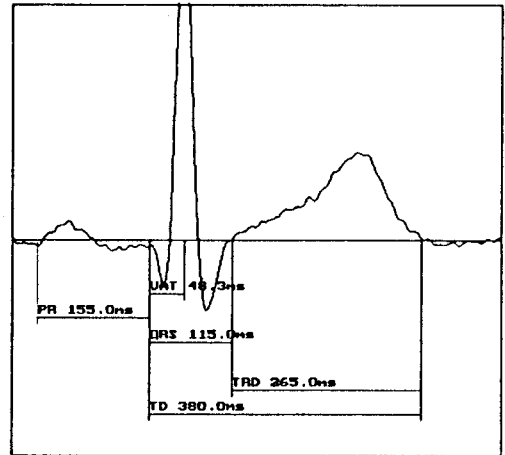
실험의 전체적인 과정은 다음과 같다. 우선 개인당 15분정도(900초)에 해당하는 data를 sampling rate 600Hz로 해서 A/D convertor를 통해 PC에서 받아들인후 저장한다. 이렇게 구한 raw data에 대하여 그림1.과 같이 다음의 parameter들[9]을 자동적으로 검출하여주는 algorithm을 구하였다.

- 1) HR (Heart Rate) : 심장박동수로, 심전도를 이용하여 측정하는 대표적 신호이며, chaotic 특성이 보고된적이 있다.
- 2) PR : atrioventricular conduction time을 측정하며, 심장박동수와 correlated되어있다. 나이와 신체에 따라서 다양하다.
- 3) V.A.T. (Ventricular Activation Time) : impulse가 심근을 통과하는데 걸리는 시간이며, intrinsic deflection이라고도 한다.
- 4) TD (Total Duration) : electrical systole의 전체구간을 나타내며, 심장박동수와 관련있다.
- 5) TRD (Total Repolarization Duration) :

이렇게 분석된 각 parameter들의 시간에 대한 변화를 그림 2.와 같이 시계열 data로 나타내고, 여기에 대하여 correlation dimension, return map, power spectrum등을 계산함으로써 비선형 특성의 여부를 분석하였다. 사용되어진 pc는 386 DX (coprocessor 내장)형이며 A/D board는 연구실에서 제작한 것을 사용했다.



<그림 2.> 검출된 parameter(HR)의 시간에 따른 변화



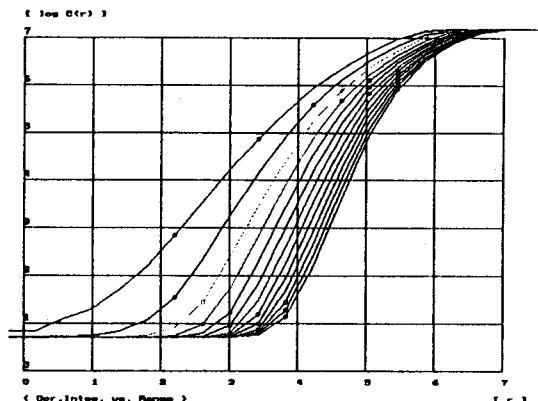
<그림 1> 심전도의 비선형적 특성분석에 사용된 parameter들.

4. 결과

세가지 실험대상군에 대해서 각각의 correlation dimension의 평균값, 범위, 표준편차등을 계산했으며, 각각의 파형들에 대해서 time series, return map, power spectrum을 보였다. 본연구에서는 선정된 세 그룹의 실험대상군에 대하여 심전도 파형으로부터 다섯개의 parameter들을 구하고, 각각의 parameter들의 시간의 변화에 대한 data에 대하여 비선형적 특성 분석을 시도하였다. 계산된 각 시간 구간들을 나타내는 parameter들에 대한 결과들중 심장박동수에 대한것은 표 1.과 같다.

	Mean	Range	S. D.
Children	3.7585	2.263 - 4.843	0.6844
PreDos	3.6255	2.795 - 4.322	0.4609
PostDos	3.4979	2.663 - 4.442	0.4783

<표 1.> 심장박동수에 대한 각 실험대상군의 비교.



<그림 3> 학생의 HR에 대한 correlation dimension의 계산

그림 3.은 학생의 HR에 대한 correlation dimension을 계산해준 것을 보여주고있다. embedding dimension의 증가에 따라서 기울기로 나타나는 correlation dimension이 수렴해가는것으로 나타나, chaotic 특성을 확인할수있다.

그림 4.는 같은 data에 대하여 구한 return map으로 특정한 pattern을 보여주고 있다.

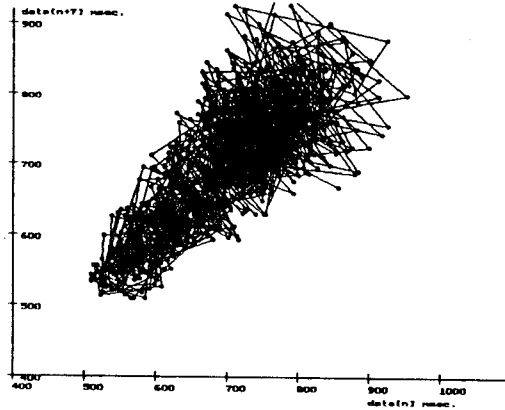
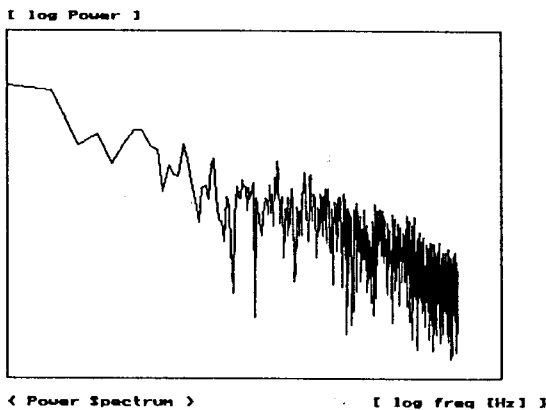


그림 5.에는 다음과 같은 신호의 power spectrum을 보여주고 있는데, 일반적으로 생체신호의 chaotic 특성에서 나타나는 1/f의 특성을 보여주고 있다.



<그림 5> 학생의 HR에 대한 power spectrum의 예.

5. 토의

위에서 나타난 결과들을 볼때 심전도에서 얻어지는 여러가지 parameter들이 비선형적인 특성을 보이고 있음을 알수있다. 이전의 연구들에 의하면, 심장박동수는 비선형적 특성을 나타내는 것으로 알려져왔으며, correlation diemension값이 정상인과 비정상인을 구분짓는 지시자로서 사용될수있음을 살펴볼수있다. 하지만 나머지 여러가지 parameter

들에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 상태이다. 이번 실험을 통하여서 얻은 결과들을 살펴보면 심전도에서 얻어 질수있는 다른 여러가지 parameter들에서도 이러한 비선형적 특성이 나타나는 것을 알수있으며, 따라서 이러한 값들에서도 정상인과 비정상인을 구분하는 지시자들을 발견할수 있을 것으로 보인다. 또한 각 parameter들은 심장내의 각부위의 특성을 나타내고 있어, 관련된 parameter의 분석으로부터 심장내의 이상부위등을 진단하는데에도 이용될수있는 것이다. 하지만 정확한 값을 얻기위해서는 더욱 많은 피험자들에 대한 실험결과에 바탕해야할 것으로 보인다.

나이의 차이에 따른 correlation dimension의 감소도 계속 제기되고 있는 문제이며, 대학생군의 correlation dimension이 국민학생군보다 낮게 나타나서 연령에 따른 correlation dimension의 감소를 관찰할수있었으나, 통계적으로 유의성을 얻어내지 못했다. 그리고 직접적인 상관은 없지만 약물 투여하기전과 후의 비선형 특성의 변화는 별다른 차이가 없었다.

여기에서 구한 여러가지 결과들이 실제 생리학적으로 어떠한 의미를 지니는가에 대한 것은 아직 잘 알려져있지 않다. 비선형적 특성에 대한 근본적인 원인은 세포수준에서의 활동으로 이해되어질 수 있는 것으로 보이며, 앞으로 남겨진 과제이다.

참고 문헌

- [1]. Peter Grassberger, Itamar Procaccia. 1983. Measuring the strangeness of strange attractors. Physica 9D:189-208
- [2]. James W. Havstad, Cindy L. Ehlers. 1989. Attractor dimension of nonstationary dynamical systems from small data sets. Physical Review A, Vol.39:845-853
- [3]. James E. Skinner, Clara Carpeggiani. 1991. Correlation Dimension of Heartbeat Intervals Is Reduced in Conscious Pigs by Myocardial Ischemia. Circulation Research, Vol.68:966-976
- [4]. James E. Skinner, Craig M. Pratt. 1993. A reduction in the correlation dimension of heartbeat intervals precedes imminent ventricular fibrillation in human subjects. Am. Heart J. Vol.125:731-743
- [5]. G. Mayer-Kress, F. E. Yates, M. Keidel. 1988. Dimensional Analysis of Nonlinear Oscillations in Brain, Heart, and Muscle. Math. Biosci. Vol.90:155-182
- [6]. Nicholas B. Tufillaro. "An Experimental Approach to Nonlinear Dynamics and Chaos", 1992. Addison-Wesley Publishing Company.
- [7]. James Gleick. "Chaos". 1987. Penguin Books.
- [8]. A. L. Goldberger, V. Bhargava. 1986. Some observations on the question: Is ventricular fibrillation "Chaos"? Physica D. Vol.19:282-289
- [9]. Mario Merri, Jesaia Benhorin. Electro-cardiographic Quantitation of Ventricular

- Repolarization. 1989. Circulation.
Vol.80:1301-1308
- [10]. M. R. Guevara, A. Shrier, L. Glass, 1988.
Phase-locked rhythms in periodically stimulated
heart cell aggregates. Am. J. Physiol.
Vol.254:H1-10
- [11]. Daniel T. Kaplan, Richard J. Cohen, 1990.
Is Fibrillation Chaos? Circulation Research,
Vol.67:886-892