

# 부교감신경의 자극에서 나타나는 PR구간의 변동량에 대한 혼돈 분석

이종민<sup>0</sup>, 박광석\*, 엄명걸\*\*

<sup>0</sup>서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학, \*서울대학교 의과대학 의공학교실,  
\*\*한양대학교의과대학 소아과

## CHAOTIC ANALYSIS OF PR INTERVAL VARIABILITY IN PARASYMPATHETIC STIMULATION

Jongmin Lee<sup>0</sup>, Kwangsuk Park\*, Munggul Yum\*\*

<sup>0</sup>Interdisciplinary Program in Medical and Biological Engineering Major,  
\*Dept. of Biomedical Engineering, Seoul National University,  
\*\* Dept. of Pediatrics, Hanyang University

### Abstract

Analysis of Heart Rate Variability has been studied to estimate autonomic nervous system. PR interval represents conduction time from atrium to ventricle. PR interval variability(PRV) is also can be used to estimate autonomic nervous system. We have acquired two-state ECGs of children who are before vagal stimulation and after vagal stimulation. We applied chaotic theory to each ECG in order to analyze PRV, and compared the results from frequency domain analysis. The correlation dimension of PRV of pre-stimulated children is higher than that of post-stimulated children.

### 1. 서론

자율신경계의 활동은 교감신경계와 부교감신경계의 두 가지의 상호작용에 의하여 결정이 된다. 교감신경계와 부교감신경계는 심장의 활동에 서로 다른 역할을 수행하고 있다. 교감신경계는 심장의 박동수를 증가시키는 역할을 하며, 부교감신경계는 심장박동수를 느리게하는 역할을 수행한다. 이러한 현상을 분석하기 위한 방법으로서, 시간축 상에서의 분석방법, 주파수영역에서의 분석방법등이 많이 제안되고 있다[1][2]. 심박동수의 변동량 분석이 응용되고

있는 분야는 아주 광범위하다. 그 예를 들면, 노쇠에 따른 변화, 심리적, 육체적 스트레스의 영향, 심장의 기능적, 구조적인 병리학적인 상태등이 있다[1]. 이러한 분석방법은 비관찰적인 방법이면서 동시에 단순하다는 장점을 가지고 있기 때문에 활발한 연구가 지속적으로 행해지고 있다.

심전도는 각각의 의미를 가지는 몇가지 구간으로 나눌 수가 있다. 그 중에서 PR구간(P파의 시작점에서 R의 시작점)은 심방에서 심실로의 전도시간을 나타낸다. 일반적으로 심박동수의 변동량은 자율신경계가 SA node에 대하여 직접적인 영향을 미침으로써 나타나는 현상이라고 여겨진다. 그러나, 교감신경계와 부교감신경계는 심방과 심실에 대하여서도 영향을 미치고 있다. 따라서 PR구간의 변동량을 살펴보는 것은 자율신경계가 심방과 심실에 대해 미치는 직접적인 영향에 대한 지표가 될 수 있다.

혼돈이론은 심전도등의 생체신호에 대하여 활발히 적용되고 있는 비교적 새로운 접근방법이다. 복잡하게 나타나는 현상을 지배하는 결정론적인 간단한 식이 존재하고 있다는 사실을 이용하는 것으로, 상관차원, 위상공간상에서의 끌개, Lyapunov exponent, return map, power spectrum 등의 방법들을 이용하여 분석한다[3][4]. 많은 양의 데이터와 장시간의 계산, 데이터의 stationarity문제, 시간지연값과 embedding 차원의 결정에 있어서의 모호성등 해결해야 할 많은 문제점들을 가지고 있다. 하지만, 이러한 문제점에도 불구하고, 복잡하게 나타나는 현상에 대한 간단명료한 분석, 서로 다른 상태들간의 용이한 구분등 많은 장

점을 가지고 있어서 생체신호와 같은 복잡한 신호의 분석에 많이 응용되고 있다.

본 논문에서는 심장의 전기적인 활동을 구체적으로 나누어서 혼돈이론을 적용한 분석을 통하여, 심장활동에서 일반적으로 인정되고 있는 혼돈특성을 좀더 자세하게 분석하고자 한다. 특히, 부교감신경 자극 전후에 있어서의 PR 구간의 변동량을 비교 분석함으로써, 자율신경계가 심방과 심실의 활동에 직접적인 영향을 미침을 확인하고, 그 정도를 혼돈이론을 통하여 정량화하고자 한다.

## 2. 방법

### 실험대상:

10세에서 12세 사이의 30명의 어린이들로부터 각 상태에 대하여 7분동안 두가지 상태의 심전도를 측정하여 각각 기록하였다. 동일한 어린이에 대하여 부교감신경을 자극하기 전과 자극한 후의 두가지 데이터를 모두 구하였다. 부교감신경을 자극하는 방법은 많은 방법이 사용되고 있으며, 본 논문에서는 그 중에서 얼굴에 찬물을 끼얹는 방법을 사용하였다. 이방법은 일반적으로 가장 좋은 부교감신경 자극방법으로 알려져 있다.

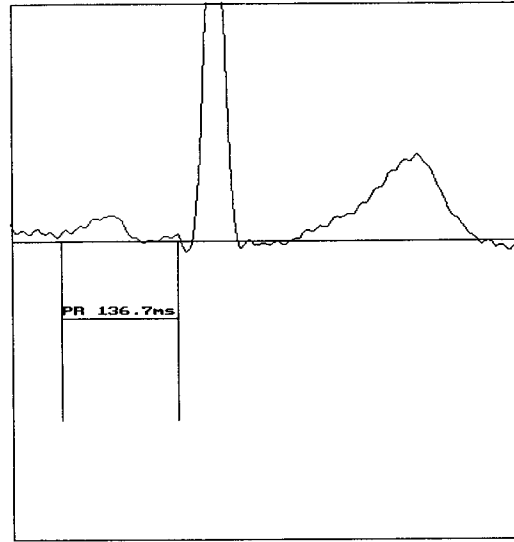
일반적으로 호흡을 일정하게 유지하면 부교감신경이 자극된다고 알려져있다. 따라서, 좀더 확실한 부교감신경 자극을 위해서 메트로놈을 사용하여 호흡을 분당 15회로 일정하게 유지하였다. 그리고, 자극을 가하는 동안 얼굴의 표면온도를 18.5°C로 일정하게 유지하였다. 그 이유는 두가지인데, 첫째로, 이 온도가 부교감신경을 자극할때의 최적의 상태를 유지시켜준다는 보고가 있으며, 둘째로, 자극의 강도를 일정하게 유지하기 위한 까닭이다.

### 자료분석:

심전도데이터는 A/D 변환기를 통하여 486-PC에서 획득하였다. Sampling 주파수는 400Hz이며, 정밀도는 12-bit로 하였으며, 데이터를 저장한후 분석하였다.

먼저, 획득한 심전도 파형에서 QRS파형을 찾아내었다. 알고리즘은 일차미분과 적분을 이용한 방법을 사용하였다 [5]. 그리고 결정된 QRS파를 이용하여 그이전의 일정한 시간구간을 선택한 후 그 안에 존재하는 P파를 구하였다.

P파를 결정하기 위하여 사용한 방법은 데이터의 일차미분 값과 영교차점을 이용하였다. P파를 결정하는 알고리즘을 적용할때, P파는 항상 QRS파 앞에 존재하는 것으로 가정하였다. 실제로 정상적인 어린이들을 상대로 측정한 심전도이므로 특별히 예외적인 경우를 제외하고는 이러한 가정은 타당한 것이다.



<그림 1> 측정된 PR 구간

PR구간의 변동량을 분석하기 위하여 power spectrum을 구하였고, 상관차원을 구하였고, strange attractor를 시각적으로 확인하기 위하여 return map을 그렸다. 상관차원을 구한 방법은 일반적인 Grassberger-Procaccia 알고리즘을 이용하였다.

상관적분  $C(r)$ 과 상관차원  $v$ 는 식 (1)과 같이 정의 된다.

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N \theta(r - |X_i - X_j|)$$

$$\text{여기에서, } \begin{cases} \theta(\alpha) = 0, & \alpha < 0 \\ = 1, & \alpha > 0 \end{cases}$$

$|X_i - X_j|$  : norm for the distance,

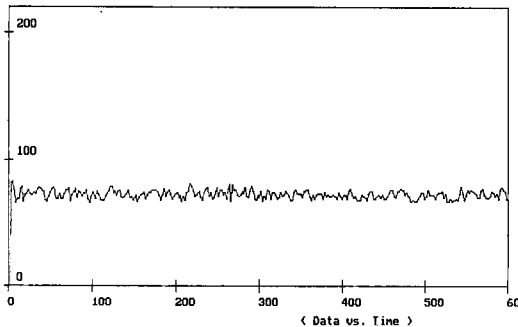
$X_i = (X_i, X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, X_{i+(m-1)\tau})$  : 단일시계열에서 시간지연( $\tau$ )간격으로 구성되는  $m$ 차원 공간상의 한 점.

$$v = \lim_{r, r' \rightarrow \infty} \frac{\log(C(r)/C(r'))}{\log(r/r')} \quad (1)$$

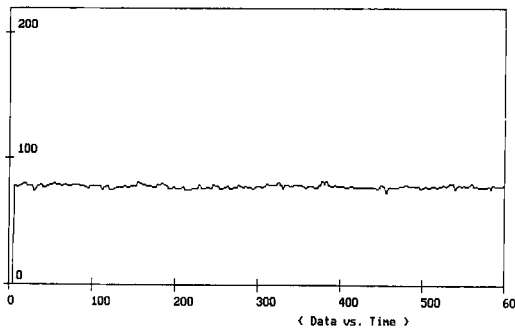
이러한 알고리즘에 적용되는 시간지연값을 결정하는 방법은 자기상관함수의 첫번째 영교차점, 상호정보량의 최소값 등 많은 방법들이 제안되고 있다. 본 논문에서 사용한 시간지연값은 자기상관함수의 첫번째 영교차점을 이용하였으며, embedding 차원을 2에서부터 20까지 증가시키면서 수렴하는 값을 결정하였다.

### 3. 실험결과 고찰

측정된 PR구간의 시계열데이터는 <그림 2>와 같다.



(a)



(b)

<그림 2> 부교감신경자극 전(a) 후(b)의 시계열데이터

계산된 상관차원의 결과는 표1과 같이 나타났다. 실험결과에 의하면 부교감신경을 자극하기 전에는 저차원의 혼돈특성을 나타내다가, 부교감신경을 자극한 후에는 거의

주기적인 특성을 나타냄을 관측할 수 있다.

표.1 .상관차원의 계산

	부교감신경 자극전	부교감신경 자극후
평균	1.85	0.54
표준편차	± 0.27	± 0.20

### 4. 결론 및 토의

지금까지의 연구는 자율신경계가 SA node에만 영향을 미친다고 생각하여 심박동수의 변동량만을 주로 관찰하여 왔다. 본 논문에서는 이러한 자율신경계의 활동이 심장자체의 전도활동에도 영향을 미친다는 것을 확인하고자 하였다. 이러한 확인은 부교감신경 자극을 통한 PR구간의 변동량의 변화를 통하여 확인할 수 있었다. 특히, 부교감신경 자극전후의 상관차원값을 비교한 결과, 정상적인 경우는 PR구간의 변동량이 혼돈현상을 나타내고, 부교감신경 자극후에는 상관차원이 아주 낮은 값으로 떨어져 주기적인 현상을 나타내었다. 이러한 결과는 시간축상에서 나타나는 변동량의 감소, 그리고 power spectrum에서 나타나는 주기적인 성분의 증가등과 일치하는 결과임을 알 수 있다.

상관차원등의 혼돈이론을 PR구간의 변동량 분석에 적용한 결과, 서로 유의할만한 차이값을 나타냄을 알 수 있으므로, 시간축상의 분석, 주파수영역에서의 분석등과 더불어 심전도에서 발생하는 변동량을 분석하는 새로운 방법으로 사용가능한 것으로 여겨지며, 다른 많은 생체신호분석에서도 더욱 많은 임상적으로 유용한 결과들을 도출할 수 있을것으로 기대된다.

인 또한, 이러한 영향을 상관차원을 계산한 결과, 혼돈현상을 나타낸다는 것을 확인하였으며, 이번 연구를 통하여 부교감신경의 자극은 PR구간의 변동량 역시 더욱 주기적으로 만들게 되며, 이는 상관차원의 감소로 확인하였다.

## 5. 참고문헌

- [1]. Peter Grassberger and Itamar Procaccia, 1983, Measuring the strangeness of stranger attractors, *Physica* 9D, May, pp189-208.
- [2]. F. Takens, 1983, On the numerical determination of the dimension of an attractor, "Lecture Notes in Mathematics", Springer-verlag, Berlin.
- [3]. Hemodynamic Regulation: Investigation by spectral analysis, *Am.J.Physiol.* 249, 1985
- [4]. Heart Rate Variability: Frequency Domain Analysis, *Ambulatory Electrocardiography*, Vol.10, August, 1992
- [5]. Willis J. Tomkins, 1993, "Biomedical digital signal processing", Prentice Hall, pp.236-264.