

뇌파의 상관차원과 HRV의 상관분석

김정균 · 박영배 · 박영재 · 김민용

경희대학교 학과간협동과정 한방인체정보의학과

[Abstract]

Nonlinear Correlation Dimension Analysis of EEG and HRV

Jung-Gyun Kim, Young-Bae Park, Young-Jae Park, Min-yong Kim

*Dept. of Human Informatics of Oriental Medicine, Interdisciplinary Programs,
College of Oriental Medicine, Kyung-Hee University*

Background and Purpose:

We have studied the trends of EEG signals in the voluntary breathing condition by applying the fractal analysis.

According to chaos theory, irregularity of EEG signals can result from low dimensional deterministic chaos. A principal parameter to quantify the degree of Chaotic nonlinear dynamics is correlation dimension. The aim of this study was to analyze correlation between the correlation dimension of EEG and HRV(heart rate variability). We have studied the trends of EEG signals in the voluntary breathing condition by applying the fractal analysis.

Methods:

EEG raw data were measured by moving windows during 15 minutes. Then, the correlation dimension(D2) was calculated by each 40-seconds-segment in 15 minutes data, totally 36 segments. 8 channels EEG study on the Fp, F, T, P was carried out in 30 subjects.

Results and Conclusion:

Correlation analysis of HRV was calculated with deterministic non-linear data and stochastic non-linear data.

1. Ch1(Fp1), Ch4(F3), Ch4(F4) is positive correlated with ln LF.
2. Ch1(Fp1), Ch3(F3) is positive correlated with ln TF

Key Words: Nonlinear analysis, EEG, HRV, correlation dimension

* 교신저자 : 박영재 / 소속 : 경희대학교 동서신의학병원 건강증진클리닉

TEL : 02-440-6233 / E-mail : bmpomd@paran.com

I. 서론

뇌파(EEG, electroencephalogram)는 뇌속의 수많은 신경 세포들의 전기적인 활동이 더해져 외부에 나타나는 전류를 측정하는 것이다^{1,2)}. 뇌파의 발생에는 약 10^4 - 10^5 개 정도의 신경세포가 관여하기 때문에, 그 동안 뇌파는 뇌 정보처리 과정에서 부수적으로 발생하는 '무작위 신호(noise)'로 여겨져 왔다. 그러나 최근 비선형 동역학적인 연구에 의해 뇌파가 단순한 무작위 신호가 아니라 뇌의 정보처리 과정의 결정론적(deterministic) 카오스 신호라는 사실이 보고되면서 많은 관심을 가지게 되었다^{3,4)}. 따라서, 뇌의 상태나 정보처리 과정을 뇌파의 동역학적인 성질에 대한 분석을 통해 이해할 수 있다. 뇌는 상태에 따라 각기 다른 카오스 상태를 가지게 되는데 이것들은 상관차원이나 리아프노프 지수와 같은 비선형 동역학적 분석법에 의해 정량화 할 수 있음이 알려져 있다^{5,6)}.

자율 신경은 작용이 매우 신속하고, 여러 내부 장기에 분포하여 상반된 기능을 가지면서 보완적으로 작용하여 인체의 균형을 유지시키는 기능을 한다. 심장박동의 변화는 동방결절의 자발적 흥분을 자율신경계가 조절함으로써 발생한다. 그러므로 심장주기의 변화를 살펴으로써 신체의 전반적인 자율신경상태를 유추할 수 있으며, 이 검사로 심박변이도(heart rate variability, 이하 HRV)가 많이 활용되고 있다. HRV는 전통적으로 한의학에서 말하는 陰陽의 특성과 유사한 교감·부교감 신경의 활동⁷⁾을 비침습적으로 측정할 수 있어 여러 임상분야에 응용되고 있다^{8,9)}. HRV검사는 심장의 R-R간격 변이를 살펴봄으로써 심장 및 심혈관의 자율신경 활성도를 측정하고자 하는 검사법이다. HRV는 Stephen Hales(1677-1761)와 Albecht von Haller(1708-1777)가 심박율의 변화를 발견한 이래 여러 연구를 거쳐 발전해 왔다¹⁰⁾.

그 동안 자율신경계와 뇌파와의 관계에 관한 여러 논문이 있다. 특히 Zhi Zhuang 등은 HRV가 sleep EEG와 밀접한 관련이 있다는 연구를 발표하였다. 특히 EEG의 변화이전에 먼저 HRV의 변화가 sleep stage의 이동을 보여준다는 결과를 보였다¹¹⁾. 하지만 뇌파의 비선형분석법과 HRV와의 관계에 관한 연구의 진행은 미비한 상태이다.

이에 본 논자는 HRV를 이용한 자율신경활성도를 비선형 분석법 중 하나인 상관차원분석을 한 뇌파 분석치와 상관관계를 분석해보고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2006년 11월부터 2007년 1월까지 3개월간 건강한 남녀 성인을 모집하여 임상시험 동의서에 서면으로 동의한 자로 총 78명을 검사하고 그 중 30명(남자: 여자=16:14, 연령 24.33 ± 1.65)을 뽑아서 연구했다. 피검자는 아래와 같이 연구에 영향을 미칠 수 있는 경우는 제외하였다.

- (1) 호흡주기 및 심박동주기에 이상이 있는 자
- (2) 기공수련자, 직업 운동선수
- (3) 내과 및 신경정신과 질환과 두뇌 외상, 병변이 있는 자
- (4) 해수, 객담, 발열 등을 수반하는 각종 호흡기계 질환자
- (5) 고혈압, 부정맥, 허혈성 심장질환자 등을 포함하는 심혈관계 질환을 진단받은 자
- (6) 심장질환에 대해 수술 받은 과거병력이 있는 자
- (7) 심장질환과 관련된 혹은 자율신경계에 영향을 미치는 약물을 복용중인 자

- (8) 감기, 식상 등 뚜렷한 내외인성 질환자
- (9) 위절제자
- (10) 고혈압, 지질 강하제를 상복하고 있는 자
- (11) 연구 참여 거부 의사를 밝힌 자
- (12) 기타의 원인으로 측정이 불가능한 자

2. 연구방법

본 연구는 측정과 분석으로 나누어 진행하였다. 피검자는 검사 전 24시간 이내 담배, 아스피린, 커피, 녹차, 알코올 섭취와 심장 및 위 운동성에 영향을 주는 약물의 복용을 피하고, 48시간 이내에 자율신경에 영향을 주는 약물의 복용을 금한다. 각 피검자는 첫날 방문하여 피험자 임상시험 동의서를 작성한 후 일반적인 주의사항 및 임상시험 대상 제외기준 적용 여부를 검토하고, 만일 제외기준에 해당하지 않으면 귀가 조치하였다.

피검자로 선정된 자원자를 대상으로 검사 전 22-24°C의 조용한 방 안에서 피검자는 안정되고 편안한 상태에서, 10분 이상 휴식하여 안정을 취하게 한다. 또한 의복은 쪼이지 말아야 되고 스타킹 등은 벗고 검사한다. 검사 전 48시간 동안 급성질환이 없어야 하며, 검사 전 24시간 동안 숙달되지 않은 격렬한 운동을 삼가게 하였다. 본 연구에 관한 모든 사항은 경희의료원 한방병원 임상시험 심사위원회(IRB, Institutional Review Boards)에서 심의, 승인을 받은 후 시행하였고, 피검자는 서면으로 된 임상시험 동의서를 작성하였다.

(1) 실험절차

뇌파(electroencephalogram)

각 채널별 뇌파지표는 각 채널 평균값을 산출하여 분석에 활용하였다. 뇌파는 HSYS-REC-LD (Stellate systems INC, Canada)를 이용하여 측정하였다. 머리에 부착하는 전극의 배치는 국제뇌파

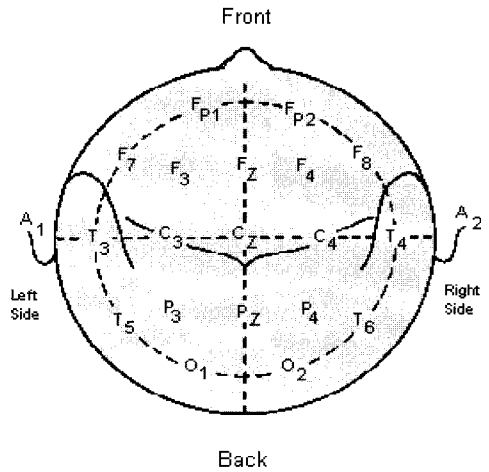


Figure 1. Arrangement of the 10/20 electrode, top of the head

및 임상뇌대사학회연맹에서 추천하는 10-20시스템을 따라, 전극용 풀을 사용하여 4개의 도금된 전극을 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4에 附着하여 데이터를 측정하였다. 접지전극(Ground electrode)은 우측 우양돌기귀(Rt mastoid process)에 부착하였고, 기준전극(Reference electrode)은 우측 콧볼(Rt anterior resion of Lobule of auricle)에 부착하였다(Figure 1).

(2) 심박변이도

심박변이도는 심전도를 이용하여 분석하였다. 분석에는 complexity 2.0(Laxtha, korea)프로그램을 이용하였다. 심박변이도의 측정지표로 시간영역분석(time domain analysis)이 있는데, 주파수영역분석(frequency domain analysis)은 심장 박동의 변화를 주파수영역에서 분석하여 각 주파수 영역의 신호가 상대적으로 어떤 강도(power spectral density; PSD)로 있는지 보는 방법으로 써, 주요 주파수 대역은 0~0.4Hz사이이다. 주로 사용되는 측정지표로는 TP(total power density,

$\leq 0.4\text{Hz}$), VLF(very low frequency density, $\leq 0.04\text{Hz}$), LF(low frequency density, $0.04\text{--}0.15\text{Hz}$), HF(high frequency density, $0.15\text{--}0.4\text{Hz}$)로 이 4개의 지표를 연구에 사용하였다. 평가지표는 모두 로그변환하여 분석에 활용하였다.

(3) 뇌파의 상관차원 분석

비선형성과 결정론적 성격을 조사하기 위해서는 ACF(자기상관함수)알고리즘과 surrogate 검정법으로서 신호를 분석하였고 시계열 지연시간 및 매립차원을 결정하여 끌개의 모양을 도식하였다. 자의적인 호흡에 따른 뇌파의 복잡도를 정량화하기 위해서는 상관차원을 계산하였다.

A. 분석할 데이터 결정

30명의 환자에게서 각각 구해진 8ch의 데이터로 상관차원을 구하고 surrogate 검정법을 사용하여 비선형적 결정론계로 보이지 않은 자료는 제외시키고 channel별로 비선형적 결정론계 자료를 대상으로 했다.

B. 뇌파의 스칼라 시계열의 위상공간내 재구성

1차원 뇌파 시계열에 대한 위상공간 재구성을 위해서 먼저 시계열의 지연시간을 구하는 것이 필요하다. 지연시간을 구하는 방법으로 쓰이는 기법에는 자기상관함수법을 사용하였다¹⁾.

그 다음 위상공간 재구성을 위해서는 시계열의 매립차원도 결정하여야 한다. 매립차원을 결정하기 위한 방법으로 singular value decomposition analysis(SVD), Saturation of system invariants, False Nearest Neighbor(FNN), True vector field 등의 방법들이 제시되었다²⁾. 본 연구에서는 SVD 알고리즘을 이용하였다.

위 두 방법을 통해 뇌파의 스칼라 시계열을 위상공간에 끌개로 재구성하였다.

각각의 complexity(비선형분석프로그램)을 이용하여 뇌파의 상관차원분석을 실시하였다. Delay time과 Embedding dimension은 프로그램 안에 ACF와 SVD 알고리즘을 이용한 프로그램내의 Autosetting을 사용하여 가장 많이 나오는 9를 Embedding dimension으로 설정하였고 Delay time는 4로 고정하여 계산되었다.

C. 뇌파 시계열의 비선형성 및 결정론적 성격 결정

뇌파시계열이 비선형성, 결정론적 성격을 가지는가 하는 물음에 대한 기존의 연구들은 양의 발산지수 값이나 한정된 상관차원의 값들만으로 이 물음에 대한 답을 줄 수 없음을 보고하고 있다. 그러므로 뇌파에서의 비선형성이나 결정론적 성격을 조사하는 또 다른 방법으로서 surrogate 검정법을 사용하였다. 이를 위해서 뇌파 시계열 데이터를 위상수염(phase randomized)하여 선형 상관성, 주파수 성분, 평균값, 표준편차 자기상관함수, 히스토그램 등의 선형적 통계적 성질은 변하지 않으면서 데이터 내부의 결정론적 성질을 제거한 surrogate 데이터 집합을 만들었다. 이 선형 통계적 집합에서 비선형 지수값을 계산하고 이를 실제의 뇌파 시계열에서 구한 비선형 지수값과 비교하여 어떤 유의도를 넘는 차이를 보인다면 뇌파 시계열은 비선형성과 결정론적인 성격을 가진다고 보았다. 비교를 위해서는 30개의 surrogate 집합을 만들고 이들의 평균 및 표준편차를 구한 뒤 유의수준 0.05로 독립 T검정하여 뇌파시계열의 비선형 지수값이 여기 속하는지를 검정하였다. 유의수준이 0.05보다 적을 때 뇌파 시계열 데이터가 비선형 결정론적 성격을 가졌다고 본다¹²⁾.

D. 상관차원의 계산

N개의 점으로 이루어진 위상공간이 있을 때 $\vec{x}_i(t)$

를 위상공간에서의 한점이라고 하자. 이때의 $\vec{x}_i(t)$ 는 $[x_0(t_i), x_0(t_i+T), \dots, x_0(t_i+(d-1)T)]$ 로 embedding(매립)되어져 있다. 이 때 임의의 점 $\vec{x}_i(t)$ 를 골라 이 점을 제외한 나머지 N-1개의 점에 대해 $|\vec{x}_i - \vec{x}_j|$ 를 구한다. 이것은 \vec{x}_i 를 중심으로 하는 위상 공간상의 반경 r인 일반적인 구안에 위치하는 점의 개수를 셀 수 있도록 하기 위함이다. 이러한 과정을 모든 점 i에 대해 반복하여 평균을 취하면 아래 식(1)과 같은 양을 정의할 수 있다.

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1 \atop i \neq j}^N \theta(r - |\vec{x}_i - \vec{x}_j|) \quad \text{식(1)}$$

단, $\theta(x)$ 는 $x < 0$ 일 때 $\theta(x) = 0$ 을, $x > 0$ 일 때 $\theta(x) = 1$ 을 갖는다. C(r)은 자유도가 f인 계의 경우, 잡음(random)신호라면 $C(r) = r^{-f}$ 을 만족하고 카오스 신호라면 $C(r) = r^{\nu(f)}$ 를 만족한다. 계의 상관차원은 log r에 대한 log C(r)의 기울기로 구할 수 있다.

$$D_{GP} = -\frac{d \log C(r)}{d \log r} \quad \text{식(2)}$$

위 식(2)는 Grassberger Procaccia 알고리즘을 이용하여 상관차원을 구한 것이다³⁾. 위 식을 이용하면 매립차원 d를 높여가면서 상관차원 D_{GP} 를 구할 수 있다. d가 어느 정도 커지면 D_{GP} 값은 일정한 값으로 포화 되는데 이 때 포화 되어진 값을 상관차원이라고 말한다. 또한 포화되기 시작하는 d값은 계를 나타내기 위한 최소한의 독립 변수의 개수로 매립차원이라고 한다.

E. 비정상 시계열의 비선형 분석

생체시계열은 측정할 때 심박, 호흡, 호르몬 분비, 자율신경 진동, 장·단기 생체리듬 등의 내부 자극과 외부 소음, 빛, 움직임 등의 외부 자극에

의한 동력학적 잡음과 측정기기에서 발생하는 측정 잡음에 의해 정상성을 유지하지 못하고 끊임 없이 변화한다. 정상상태의 지속을 가정하여 만들어진 시계열 분석 방법들을 비정상 시계열에 적용하면 틀린 결과를 얻게 된다. 최근 발전되고 있는 비정상 시계열 분석 방법은 windowing, parametric recurrence plot, attractor switching이 있다. 이 중 본 논문은 windowing 방법을 사용하였다.

창분할(windowing) 방법을 응용한 동력학적 특성 변화의 추적을 통해, 간질환자의 경련전 전조상태를 약 10분전 예측할 수 있었다는 보고가 있다⁴⁾. 15분간 측정된 뇌파 중 육안으로 안정된 부분의 40초 구간을 선택하여 10240(40*256)개의 데이터를 수집하였다. 이 시계열에 대해 정상적(stationary) 특성이 유지된다고 생각되는 적절한 시간간격으로 1024개(4초)의 창을 만들고 샘플링 주파수 256(1초)간격으로 창을 이동시키며 각각의 창에 속한 데이터에 대한 비선형지수값인 상관차원을 계산하였다.

(4) 통계방법

HRV의 지표와 뇌파 상관차원간에 상관분석을 하였으며 비모수분석으로 spearman's 방식으로 하였다. 프로그램은 SPSS 13.0을 사용하였다.

종속변수에 뇌파의 상관차원을 넣고 모수 요인에 HRV의 요인을 넣고 분석했다. 모든 분석결과는 P-value < 0.05를 기준으로 유의성을 검정하였다.

III. 결 과

1. 자료의 기본적인 특성

30인의 채널별 상관차원과 HRV 요인의 로그

VLF, 로그LF, 로그HF, 로그TP의 최소값, 최대값, 평균, 표준편차는 다음과 같다.

2. 대리검정결과

30인의 피검자의 생체신호측정결과가 비선형 결정론적 성격을 가지는 자료인지를 판단하기 위해 30인의 채널별 대리검정을 실시한 결과 표과 같은 유의수준 값을 얻었다. 유의수준이 0.05이상이면 결정론적 성격을 가진 비선형자료가 아니고 0.05미만이면 결정론적 성격의 비선형자료로 확인되므로 Ch1~Ch8까지 각각 22인, 22인, 24인, 22인, 23인, 28인, 24인, 25인에서 결정론적인 비선형적인 자료임이 확인되었다.

3. 채널별 비선형자료와 TCI 요인간 상관분석.

(1) CH1과 HRV 지표 간 상관분석

CH1과 HRV의 지표 간의 상관분석에서 로그

LF와 로그TP가 CH1과 유의하여($P < 0.05$) 양의 상관 관계를 보였다.

(2) CH2과 HRV 지표 간 상관분석

CH2의 복잡도와 HRV의 지표 간의 상관 분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

(3) CH3과 HRV 지표 간 상관분석

CH3과 HRV의 지표 간의 상관분석에서 로그 LF와 로그TP가 유의하여($P < 0.05$) 양의 상관 관계를 보였다.

(4) CH4과 HRV 지표 간 상관분석

CH4과 HRV의 지표 간의 상관분석에서 로그 LF가 유의하여($P < 0.05$) 양의 상관 관계를 보였다.

(5) CH5과 HRV 지표 간 상관분석

CH5의 복잡도와 HRV의 지표 간의 상관 분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

Table 1. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH1	spearman's rho	-0.010	0.451	0.204	0.424
	Sig. (2-tailed)	0.966	0.035	0.363	0.049

Table 2. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH2	spearman's rho	0.063	0.418	0.108	0.346
	Sig. (2-tailed)	0.782	0.053	0.633	0.115

Table 3. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH3	spearman's rho	0.001	0.504	0.178	0.427
	Sig. (2-tailed)	0.997	0.012	0.405	0.037

Table 4. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH4	spearman's rho	-0.064	0.465	0.127	0.369
	Sig. (2-tailed)	0.778	0.027	0.573	0.091

Table 5. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH5	spearman's rho	0.119	0.237	0.006	0.247
	Sig. (2-tailed)	0.590	0.276	0.979	0.256

Table 6. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH6	spearman's rho	0.221	0.199	-0.079	0.181
	Sig. (2-tailed)	0.259	0.311	0.688	0.356

Table 7. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH7	spearman's rho	0.228	0.155	-0.064	0.271
	Sig. (2-tailed)	0.284	0.470	0.765	0.200

Table 8. Correlation Results of Correlation Dimension and ln VLF, ln LF, ln HF, ln TP

		ln VLF	ln LF	ln HF	ln TP
CH8	spearman's rho	-0.004	-0.045	-0.060	0.087
	Sig. (2-tailed)	0.985	0.829	0.776	0.679

(6) CH6과 HRV 지표 간 상관분석

CH6의 복잡도와 HRV의 지표 간의 상관 분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

(7) CH7과 HRV 지표 간 상관분석

CH7의 복잡도와 HRV의 지표 간의 상관 분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

(8) CH8과 HRV 지표 간 상관분석

CH8의 복잡도와 HRV의 지표 간의 상관 분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

IV. 고 찰

본 연구는 뇌파의 비선형 분석과 HRV 지표간의 상관 분석을 통하여 유의성을 평가하였다. 심

전도 한 주기의 패턴은 차례로 P-Q-R-S-T파로 구성되는데 R 피크 사이의 간격을 R-R 간격(R-R interval)이라 한다. 정상인은 안정 상태에서도 심장의 박동과 박동 사이의 간격 즉 R-R interval의 미세한 변화가 관찰되는데 이는 심장의 박동이 체내의 항상성 유지를 위하여 끊임없이 변화하기 때문이다¹³⁾. HRV는 심장의 동방결절의 부교감신경의 활동으로부터 교감신경의 활동을 분류하는데 도움을 준다. HRV는 감성의 평가뿐만 아니라 임상에서는 오래 전부터 사용되어져 왔으며, 신경학, 심장학, 정신생리학, 산과학, 마취학, 그리고 정신의학에서 광범위하게 사용되고 있다¹⁴⁾.

HRV 검사의 분석법에는 시간영역분석법(Time domain analysis), 주파수영역분석법(Frequency domain analysis) 두가지가 있다. 시간영역분석은 HRV를 평가하는 방법들 중 가장 널리 사용되는 방법으로서, 심박주기에 대한 평균, 표준편차 등 기술통계적인 기법을 이용한다. 주로 사용되는 측정 지표로는 심박수에 대한 평균, SDNN, RMS-SD 등이다.

주파수영역분석은 HRV를 평가하는 방법들 중 최근 사용법이 증가하고 있는 방법으로서 심박주기의 변화를 주파수영역에서 분석하여 각 주파수 영역의 신호가 상대적으로 어떤 강도(Power Spectral Density; PSD)로 있는지 보는 방법으로 tachogram 분석을 위한 여러 spectral method가 1960년대 후반 이후부터 적용되어 왔다. PSD는 해당 주파수 대역의 power가 얼마나 되는지에 대한 기초적인 정보를 제공해준다. 일반적으로 HRV 신호의 주요 주파수 대역은 0~0.4Hz 사이이다. 시간영역분석에 비해 장시간 측정하지 않아도 신뢰성이 있는 정보를 얻을 수 있어 최근 사용법이 증가하고 있다. 주요 사용되는 측정지표로는 TP, VLF, LF, HF, LF/HF ratio 등이 있다.

TP란 VLF, LF, HF를 포함한 power를 의미한

다. 이것은 자율신경계의 전체적인 활동성을 반영한다. LF는 혈압조절과 메카니즘의 활동을 반영하는 0.1Hz 부근의 상대적인 저주파 성분으로 교감신경과 부교감신경계의 활동을 동시에 반영하는 것으로 알려져 있다. 특히 LF 성분은 주로 심장에 대한 교감신경의 활동성에 의해 특징적으로 보여준다. 그러나 부교감신경을 비롯해 다른 여러 원인들에 의해 영향을 받게 되므로 교감신경에 대한 신뢰성 있는 정보를 주지 못하는 것으로 알려져 있다.

HF는 호흡 활동과 관련 있는 상대적인 고주파수 성분으로 심장에 대한 부교감신경계의 활동성에 대한 지표로 활용된다. 호흡성 동성부정맥(RSA, respiratory sinus arrhythmia)과 관련된 심박동의 변화와 관련이 깊어 respiratory band라고도 하는데, 호흡이 느리거나 깊은 경우에 과다해진다.

VLF는 0.0033~0.04Hz의 주파수 대역으로 교감신경의 부가적인 정보를 제공해주는 것으로 알려져 있으나 신뢰성 있는 정보를 획득하기 어렵다.

LFnorm, HFnorm은 Total power에서 VLF를 뺀 것에 대한 LF 또는 HF의 비이다. 표준화시킴으로 인해 자율신경계 두 계통의 조절 정도와 균형 정도를 강조하는 지표로서 활용된다.

심박변이 지표의 Normal range는 total power $3466 \pm 1018 \text{ms}^2$, LF $1170 \pm 413 \text{ms}^2$, HF $975 \pm 203 \text{ms}^2$, LFnorm $54.7 \pm 2.6 \text{nu}$, HFnorm $38.1 \pm 2.5 \text{nu}$, lnTP 6.90 ± 0.2 , lnVLF 6.39 ± 0.2 , lnLF 5.21 ± 0.2 , lnHF 4.83 ± 0.2 , LF/HF ratio 0.5~2.0으로 알려져 있다.

맥박수와 호흡수의 상호관련 현상은 임상적으로는 관찰되었으나 이러한 현상을 일으키는 생리적 기전은 아직 완전히 이해되지 못하고 있는 실정으로 최근의 연구결과에 의하면 심혈관계와 호흡간의 상호작용은 해부학적으로 뇌간의 기능에 그 토대를 두고 자율신경계를 통해 작용한다고

보고 되고 있다¹⁵⁾.

HRV은 자세^{16,17)}, 신체 버릇¹⁸⁾, 체중¹⁹⁾, 아침과 저녁, 잠잘 때의 시간²⁰⁻²³⁾, 신체적 건강함^{24,25)}, 음식 섭취²⁶⁾ 약물 특히 항콜린계²⁷⁾의 영향을 받는 것으로 연구되어졌다. 그렇기 때문에 HRV 측정 시 이러한 변수를 고려해야 한다. 본 연구에서도 최대한 이러한 원인들을 제어하였다.

뇌파의 채널별 상관차원과 HRV 요인의 로그 VLF, 로그LF, 로그HF, 로그TP의 상관차원 분석에서는 Fp1, F3, F4 부위인 각각의 CH1, CH3, CH4에서 로그LF 요인과의 유의성이 관찰되었다(각, $P=0.035$, $P=0.012$, $P=0.027$). 그리고 Fp1, F3 부위인 CH1, CH3에서는 로그TP 요인에서 유의성이 관찰되었다(각, $P=0.049$, $P=0.037$). 하지만 다른 영역에서는 유의성이 관찰되지 않았다. LF 성분은 주로 심장에 대한 교감신경의 활동성에 의해 특징적으로 보여주며, TP는 울신경계의 전체적인 활동성을 반영하는데, 모든 채널에서 유의성이 관찰된 것은 아니지만, CH1, CH3, CH4에서 이 두 요인에 대한 유의성이 관찰되었으며, 상관차원에 의한 비선형 분석과 HRV의 상관성에 관한 보다 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 뇌파의 상관차원에 의한 비선형 분석과 HRV의 상관성 분석을 목적으로 임상연구를 진행하여 30명의 피검자를 모집하여 뇌파와 함께 HRV의 VLF, LF, HF, TP 요인에 대한 상관성을 분석하였다. 그 결과 CH1, CH3, CH4의 로그LF 요인(각, $P=0.035$, $P=0.012$, $P=0.027$)과 CH1, CH3의 로그TP 요인에서 유의성이 관찰되었다(각, $P=0.049$, $P=0.037$). 하지만 다른 영역에서는 유의성이 관찰되지 않았다.

參考文獻

1. Babloyantz, A. Salazar, J. M., and Nicolis. C. Evidence of chaotic dynamics of brain activity during the sleep cycle, *Phys. Lett.* 1985; A 111: 152-156.
2. H.J. Ben, Wei-Kang Cheng. Structural EEG engineer, *IEEE Engineering in medicine and biology magazine.* 1988, 41-45.
3. P. Grassberger and I. Procaccia. Dimensions and entropies of strange attractors from a fluctuating dynamics approach, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1984; 13: 34-54.
4. Alan Wolf, Jack B. Swift, Harry L. Swinney and John A. Vastano. Determining Lyapunov exponents from a time series, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1985; 16: 285-317.
5. Wolfgang Skrandies. Evoked potential correlates of semantic meaning-A brain mapping study, *Cognitive Brain Research*, 1998; 6: 173-183.
6. McKeown MJ, Humphries C, Achermann P et. al. A new method for detecting state changes in the EEG: exploratory application to sleep data. *J Sleep REs*: 1998; 7 Suppl 1: 48-56.
7. 이정호, 송지영, 황의완, 정두훈, 김영미. 기능성 위장장애 환자의 자율신경계기능과 음양체질 특성에 관한 연구. *신경정신의학.* 1999; 38(4): 723-737.
8. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science.* 1981; 213(4504): 220-222.

9. Ziegler D, Piolot R, Strassburger K, Lambeck H, Dannehl K. Normal ranges and reproducibility of statistical, geometric, frequency domain, and non-linear measures of 24-hour heart rate variability. *Horm Metab Res*. 1999; 31(12): 672-679.
10. *Clinical Autonomic Disorders*, 2nd ed. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia. 1997, 297.
11. ZHI ZHUANG, XIAORONG GAO, SHANGKAI GAO. THE RELATIONSHIP OF HRV TO SLEEP EEG AND SLEEP RHYTHM. *Intern. J. Neuroscience*, 2005; 115: 315-327.
12. Theiler J, Eubank S, Longtin A, Galdrikain B, Farmer JD. Testing for nonlinearity in time series : the method of surrogate data. *Physica D*. 1992; 58: 77-94.
13. 전중성, 전세일, 조정자, 진미령, 김태선, 김덕용, 안준, 정기삼, 신근수, 이명호. 심박변동의 Power Spectrum 분석에 의한 정상 성인의 자율신경 기능 평가. *대한재활의학회지*. 1997; 21(5): 928-935.
14. *Clinical Autonomic Disorders*, 2nd ed. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia. 1997, 297.
15. Pelat M, Verwaerde P, Lazartiques E, Cabrol P, Galitzky J, Berlan M, Montastruc JL, Senard JM. Twenty-four hour time and frequency domain variability of systolic blood pressure and heart rate in an experimental model of arterial hypertension plus obesity. *Arch Mal Coeur Vaiss*. 1998; 91(8): 999-1002.
16. Mizuno K, Inoue Y, Tanaka H, Komada Y, Saito H, Mishima K, Shirakawa S. Heart rate variability under acute simulated microgravity during daytime waking state and nocturnal sleep: comparison of horizontal and 6 degrees head-down bed rest. *Neurosci Lett*. 2005 Jul 22-29; 383(1-2): 115-120.
17. Bennett T, Fentem PH, Fitton D, Hampton JR, Hosking DJ, Riggott PA. Assessment of vagal control of the heart in diabetes. Measures of R-R interval variation under different conditions. *Br Heart J*. 1977 Jan; 39(1): 25-28.
18. Freeman R, Weiss ST, Roberts M, Zbikowski SM, Sparrow D. The relationship between heart rate variability and measures of body habitus. *Clin Auton Res*. 1995 Oct; 5(5): 261-266.
19. Hirsch J, Leibel RL, Mackintosh R, Aguirre A. Heart rate variability as a measure of autonomic function during weight change in humans. *Am J Physiol*. 1991 Dec; 261(6 Pt 2): R1418-423.
20. Ewing DJ, Neilson JM, Travis P. New method for assessing cardiac parasympathetic activity using 24 hour electrocardiograms. *Br Heart J*. 1984 Oct; 52(4): 396-402.
21. Burri H, Chevalier P, Arzi M, Rubel P, Kirkorian G, Touboul P. Wavelet transform for analysis of heart rate variability preceding ventricular arrhythmias in patients with ischemic heart disease. *Int J Cardiol*. 2005 Jul 15; [Epub ahead of print].
22. Sforza E, Pichot V, Barthelemy JC, Haba-Rubio J, Roche F. Cardiovascular variability during periodic leg movements: a spectral analysis approach. *Clin Neurophysiol*. 2005 May; 116(5): 1096-1104.
23. 이승훈. 통계적 방법을 이용한 측정시스템 분

- 석에 관한 연구. 동의대학교대학원. 2000.
24. De Meersman RE. Heart rate variability and aerobic fitness. *Am Heart J.* 1993 Mar; 125(3): 726-731.
 25. Goldsmith RL, Bigger JT Jr, Steinman RC, Fleiss JL. Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *J Am Coll Cardiol.* 1992 Sep; 20(3): 552-558.
 26. Ryan SM, Goldberger AL, Ruthazer R, Mietus J, Lipsitz LA. Spectral analysis of heart rate dynamics in elderly persons with postprandial hypotension. *Am J Cardiol.* 1992 Jan 15; 69(3): 201-205.
 27. Jakobsen J, Hauksson P, Vestergaard P. Heart rate variation in patients treated with antidepressants. An index of anticholinergic effects? *Psychopharmacology (Berl).* 1984; 84(4): 544-548.