

뇌파와 POMS(Profile of Mood States)의 상관성 연구

김동원 · 박영배 · 박영재 · 허 영*

경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과학교실,

*한국 전기 연구원 전자 의료기기 연구 그룹

[Abstract]

Correlation over Nonlinear Analysis of EEG and POMS Factor

Dong-Won Kim, Young-Bae Park, Young-Jae Park, Young Heo*

*Dept. of Biofunctional Medicine and Diagnosis, College of Oriental Medicine,
Kyung-Hee University*

**Korea Electro-Technology Research Institute*

Background and Purpose:

According to chaos theory, irregular signals of electroencephalogram can interpreted by nonlinear method. Chaotic nonlinear dynamics in EEG can be studied by calculating the correlation dimension. The aim of this study is to analyze EEG by correlation dimension and do Correlation Analysis of correlation dimension and K-POMS factors score.

Method:

EEG raw data were measured during 15 minutes and choosed 40 seconds. We calculated correlation dimension and used surrogate data method for checking nonlinear data. After then do correlation analysis.

Result and Conclusion:

Correlation dimension of channel 6, channel 7 and channel 8 are showed significant correlation with vigor factor.

Key Words: EEG, nonlinear analysis, correlation dimension, K-POMS

* 교신저자 : 박영배 / 소속 : 경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과학교실

TEL : 02-958-9195 / E-mail : bmppark@khu.ac.kr

I. 서론

뇌는 인간 활동의 전 영역을 총괄하는 중추로서, 정신기능이 대뇌피질에서의 신경세포활동에 의해 발현된다고 여겨지며 인식, 사고, 판단 등의 역동적인 의식 활동과 다양한 감정과 행동 및 고차원적인 정신세계까지도 담당하는 것으로 알려져 있다^{1,2)}.

한의학에서는 <素問陰陽應象大論>³⁾에 ‘腎生骨髓’, <靈樞海論>⁴⁾ ‘腦爲髓之海’, <素問 五臟別論>³⁾ ‘或而腦髓爲臟 或而爲腑……故 藏而不寫 名曰奇恒之府’라고 하여 뇌를 단순히 神과 관련된 생리기관이나 또는 奇恒之府중의 하나로 인식하다가 明代에 李⁵⁾는 “腦爲元神之府 而鼻爲明門之竅”라고 하여 처음으로 뇌가 神을 총괄하는 주체적인 기관임을 말하였고, 清代에 이르러 王⁶⁾은 “人之記性 皆屬腦中 小兒無記性者 腦髓未滿 高年無記性者 腦髓漸空”이라 하여 사람의 정신, 사유 활동과 뇌의 기억 간에 밀접한 연관이 있음을 말함으로써, 오늘날 서양의학의 뇌와 유사한 인식을 하기에 이른다. 특히 張은 “腦爲元神, 心爲識神, 腦中之神, 體也; 心中之神 用也”라고 하여 인간의 고위정신기능인 ‘神明’을 元神과 識神으로 구별하여 腦와 心 모두가 정신기능을 주관한다는 心腦共主神明說을 주창함으로써 腦와 心에 대한 진일 보된 견해를 보여주었고 임상에서도 이를 적극적으로 활용하였다^{7,9)}.

뇌파는 뇌 속의 수많은 신경 세포들의 전기적인 활동이 더해져 외부에 나타나는 전류를 측정 한 것이다. 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. 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.

정서를 객관적으로 측정하고 평가하려는 것은 매우 어려운 일이다. 인간의 생각, 인지, 행동을 대상으로 객관적 측정을 한다는 자체가 개개인의 특성을 인위적으로 단순하게 환원시켜 오히려 진정한 이해를 막을 수 있기 때문에 매우 조심스런 작업이 아닐 수 없다. 그 중에서도 정서는 그 변화가 빠르고 주변 환경에 민감하기도 하고, 여러 생리적 현상과 행동에 결정적인 영향을 주기 때문에 더욱 측정이 어렵고, 다양한 표출을 종합하기도 여간 어렵지 않다. 그럼에도 불구하고 개개인마다 고유하기도 하고 매우 주관적인 정서를 보다 객관적으로 측정하고 평가하려는 노력이 계속되고 있다.

기분상태 척도(POMS)는 일시적이고 변하기 쉬운 정서 상태를 간편하게 규명하고자 개발된 것이다. 총 65문항의 자기 보고형 척도이고 0에서 4점까지 다섯 단계로 기분 상태를 평가한다. POMS는 6개의 하위척도로 구성되어 있다. 요인 분석 연구를 통해 확립된 6가지 요인과 그에 속한 항목 수는 긴장-불안(Tension-Anxiety: T) 요인이 9항목, 우울-낙담(Depression-Dejection: D) 요인이 15항목, 분노-적개심(Anger-Hostility: A) 요인이 12항목, 활기-활동(Vigor-Activity: V) 요인이 8항목, 피곤-무력(Fatigue-Inertia: F) 요인이 7항목, 혼란-당황(Confusion-Bewilderment: C) 요인이 7항목이다. 65항목 중 위의 6개 요인에 속하지 않은 7개 항목은 채점을 하지 않는다.

지금까지 심리상태와 뇌파간의 관계에 대해 水木泰¹⁰⁾ 등은 불안의 생리학적 지표로서 frontal midline theta activity (Fm θ)의 의의를 논하였고, 김¹¹⁾ 등은 불안과 뇌파와의 관계에 대해 보고하였으며, 권¹²⁾ 등은 특성불안수준에 따른 뇌전도 알파반응에 대해 보고하였으며, 정¹³⁾ 등은 전뇌 α 파 활동성의 반구 비대칭성과 정동유형에 대해 보고하였다. 또한 윤¹⁴⁾ 등은 누운 자세에서 자전거를 타는 운동이 뇌파와 기분상태에 어떠한 영향을 주는가에 대하여 보고하였으며, 조¹⁵⁾ 등은 무용에 대한 시각 및 청각적 자극과 이미지 상상 동안 뇌파와 POMS에 미치는 영향에 대하여 보고하였다. 그러나 이전 연구들은 뇌파를 선형적인 신호로 보아 주파수분석을 하여 주파수의 파워로 심리상태와의 관계를 분석하였다.

최근 비선형 동역학적인 연구에 의해 뇌파가 단순한 무작위 신호가 아니라 뇌의 정보처리 과정의 결정론적(deterministic) 카오스 신호라는 사실이 밝혀지면서, 비선형분석을 통한 뇌파와 심리상태의 상관관계를 연구하면 더 많은 뇌의 정보를 알 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 한국형 기분상태척도(K-POMS)¹⁶⁾의 설문지에서 나온 결과를 가지고 6개의 하위척도로 분류하여 각각의 합을 구하고, 뇌파를 측정하여 비선형 분석법 중 하나인 상관차원을 구하였다. 이 둘의 상관관계를 분석해보고자 통계방법 중 상관분석을 하여 유의한 결과를 얻어 이에 보고한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2006년 11월부터 2007년 1월까지 3

개월간 건강한 남녀 성인을 모집하여 임상시험 동의서에 서면으로 동의한 자로 총 30명(남자: 여자=16:14, 연령 24.33 \pm 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 복용 중인 자
- 8) 감기, 식상 등 뚜렷한 내외인성 질환자
- 9) 위절제자
- 10) 고혈압, 지질 강하제를 상복하고 있는 자
- 11) 연구 참여 거부의를 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 금하였다. 또한 검사 전 48시간 동안 급성질환이 없어야 하며, 검사 전 24시간동안 숙달되지 않은 격렬한 운동을 삼가게 하였다. 각 피검자가 검사를 받으러 왔을 때 피험자 임상시험 동의서를 작성한 후 재

차 일반적인 주의사항 및 임상시험 대상 제외기준 적용 여부를 검토하고, 만일 제외기준에 해당되면 귀가 조치하였다.

피검자로 선정된 자원자를 대상으로 검사 전 22-24℃의 조용한 방 안에서 피검자는 안정을 취하여 편안한 상태가 된 상태에서 한국판 기분상태척도(K-POMS)¹⁶⁾를 이용해서 설문조사하였다. 의복은 느슨하게 하여 쪼이지 않게 한 상태에서 다시 10분 이상 휴식하여 안정을 취하게 한 뒤에 뇌파측정에 들어갔다.

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) K-POMS설문조사

설문지는 한국판 기분상태척도(K-POMS)¹⁶⁾를 이용해서 설문조사하였으며 (주)마음사랑에서 분석한 자료를 사용하였다.

2) 뇌파(electroencephalogram)측정

각 채널별 뇌파지표는 각 채널 평균값을 산출하여 분석에 활용하였다. 뇌파는 HSYS-REC-LD (Stellate systems INC, Canada)를 이용하여 측정하였다. 머리에 附着하는 전극의 배치는 국제뇌파 및 임상 뇌대사학회연맹에서 추천하는 10-20시스템을 따라, 전극용 풀을 사용하여 4개의 도금된 전극을 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4에 附着하여 데이터를 측정하였다(Figure 1). 접지전극(Ground electrode)은 우측 유양돌기(right mastoid process)위에 부착하였고, 기준전극(Reference electrode)은 우측 귓볼(right anterior region of Lobule of auricle)에 부착하였다. 측정시간은 총 15분간으로 하였고, 그 당시의 기분 상태와 뇌파와의 관련성을 알기 위해서 어떠한 자극도 주

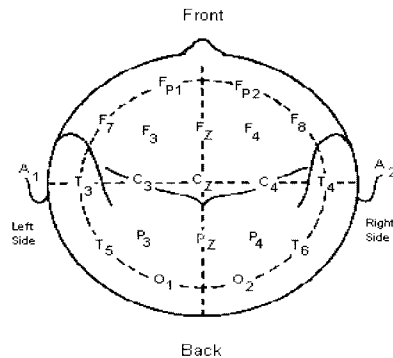


Figure 1. Arrangement of the 10/20 electrode, top of the head

지지 않은 편안한 상태에서 측정하였다.

3) 뇌파의 상관차원 분석

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

① 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.

② 뇌파의 스칼라 시계열의 위상공간 내 재구성

1차원 뇌파 시계열에 대한 위상공간 재구성을 위해서 먼저 시계열의 지연시간을 구하는 것이 필요하다. 지연시간을 구하는 방법으로 쓰이는 기법에는 자기상관함수법을 사용하였다¹⁷⁾. 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 제시되었다¹⁸⁾. 본 연구에서는 SVD 알고리즘을 이용하였다.

위 두 방법을 통해 뇌파의 스칼라 시계열을 위상공간에 끌개로 재구성하였다.

락싸의 complexity(비선형분석프로그램)를 이용하여 뇌파의 상관차원분석을 실시하였다. delay time과 embedding dimension은 프로그램 안에 ACF와 SVD 알고리즘을 이용한 프로그램내의 autosetting을 사용하였다.

③ 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 자기상관 함수, 히스토그램 등의 선형적 통계적 성질은 변하지 않으면서 데이터 내부의 결정론적 성질을 제거한 surrogate 데이터 집합을 만들었다. 이 선형 통계적 집합에서 비선형 지수 값을 계산하고 이를 실제의 뇌파 시계열에서 구한 비선형 지수 값과 비교하여 어떤 유의성을 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 지수 값이 여기 속하는지를 검정하였다. 유의수준이 0.05보다 적을 때 뇌파 시계열 데이터가 비선형 결정론적 성격을 가졌다고 본다¹⁹⁾.

④ 상관차원의 계산

N개의 점으로 이루어진 위상공간이 있을 때 $\vec{x}_i(t)$ 를 위상공간에서의 한 점이라고 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.

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

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 $\log r$ 에 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 것이다²⁰⁾. 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.

⑤비정상 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 측정 기기에서 발생하는 측정 잡음에 의해 정상성을 유지하지 못하고 끊임없이 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. 이중 본 논문은 windowing 방법을 사용하였다.

창분할(windowing) 방법을 응용한 동력학적 특성 변화의 추적을 통해, 간질환자의 경련전 전조 상태를 약 10분전 예측할 수 있었다는 보고가

있다²¹⁾. 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 비선형지수 값인 상관차원을 계산하였다.

4) 통계방법

K-POMS의 하위척도 6요인과 뇌파 상관차원 간에 상관분석을 하였으며, 비모수 분석으로 spearman's 방식으로 하였다. 프로그램은 SPSS 13.0을 사용하였다.

종속변수에 뇌파의 상관차원을 넣고 모수 요인에 K-POMS의 6요인을 넣고 변량에 성별을 넣고 분석했다. K-POMS의 요인 분석의 근거는 하위척도에서 55와 35를 기준으로 상중하를 나눈 것에 근거했다.

Table 1. Descriptive Statistics of correlation dimension, K-POMS factors

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Depression	30	0	25	8.27	7.79
Vigor	30	1	27	12.67	6.80
Tension	30	1	17	7.93	4.29
Anger	30	0	20	5.53	5.60
Fatigue	30	0	18	7.40	5.06
Confusion	30	0	15	7.33	3.85
Fp1(ch1)	30	.79	4.57	2.49	1.02
Fp2(ch2)	30	.82	4.40	2.45	.97
F3(ch3)	30	.76	4.45	2.26	1.18
F4(ch4)	30	.77	4.20	2.23	1.09
T3(ch5)	30	1.42	4.68	3.43	.83
T4(ch6)	30	1.24	4.91	3.55	.88
P3(ch7)	30	1.42	3.89	3.17	.619
P4(ch8)	30	1.44	4.27	3.16	.70

Table 3. Correlation results of correlation dimension and K-POMS factors

		ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7	ch8
N		22	22	24	22	23	28	24	25
Depression	Correlation Coefficient	-0.17	-0.07	-0.06	-0.06	-0.07	-0.04	0.13	-0.14
	Sig. (2-tailed)	0.45	0.77	0.80	0.81	0.74	0.84	0.56	0.5
Vigor	Correlation Coefficient	0.04	0.09	0.22	0.17	-0.35	-0.52*	-0.46*	-0.43*
	Sig. (2-tailed)	0.87	0.71	0.30	0.46	0.10	0.00	0.02	0.03
Tension	Correlation Coefficient	-0.08	0.01	0.14	0.12	-0.11	-0.14	-0.06	-0.13
	Sig. (2-tailed)	0.71	0.97	0.52	0.60	0.60	0.48	0.79	0.55
Anger	Correlation Coefficient	-0.33	-0.27	-0.12	-0.13	-0.17	-0.25	-0.05	-0.33
	Sig. (2-tailed)	0.13	0.23	0.58	0.58	0.44	0.21	0.82	0.10
Fatigue	Correlation Coefficient	-0.26	-0.24	-0.07	-0.08	-0.23	-0.28	0.03	-0.16
	Sig. (2-tailed)	0.25	0.28	0.74	0.71	0.29	0.14	0.89	0.43
Confusion	Correlation Coefficient	-0.01	0.07	0.02	0.01	-0.18	0.03	0.18	-0.15
	Sig. (2-tailed)	0.97	0.76	0.95	0.98	0.41	0.88	0.37	0.46

*: The mean difference is significant at the .05 level.

이면 비선형자료가 아니고 0.05 미만이면 비선형 자료로 확인되므로 ch1~ch8까지 각각 22인, 22인, 24인, 22인, 23인, 28인, 24인, 25인에서 비선형적인 자료임이 확인되었다.

3. 채널별 결정론적 비선형자료와 K-POMS 하위척도간의 상관분석

IV. 고찰

뇌는 인간 활동의 전 영역을 총괄하는 control center로서 인간의 고위정신기능이 대뇌피질에서의 신경세포활동에 의해 발현된다고 인식되어 인식, 사고, 판단 등의 역동적인 의식 활동과 다양한

감정, 행동, 더 나아가 고차원적인 정신세계까지도 담당하는 것으로 알려져 있다^{1,2)}.

한의학에서는 <素問陰陽應象大論>³⁾에 ‘腎生骨髓’, <靈樞海論>⁴⁾ ‘腦爲髓之海’, <素問 五臟別論>³⁾ ‘或而腦髓爲臟 或而爲腑……故 藏而不寫 名曰奇恒之府’라고 하여 腦를 단순히 神과 관련된 생리기관이나 또는 奇恒之府중의 하나로 인식하다가 明代에 李⁵⁾는 “腦爲元神之府 而鼻爲明門之竅”라고 하여 처음으로 腦가 神을 총괄하는 주체적인 기관임을 말하였고 清代에 이르러 王⁶⁾은 “人之記性 皆屬腦中 小兒無記性者 腦髓未滿 高年無記性者 腦髓漸空”이라 하여 사람의 정신, 사유 활동과 腦의 기억 간에 밀접한 연관이 있음을 말함으로써, 오늘날 서양의학의 腦와 유사한 인식을 하기에 이른다. 특히 張은 “腦爲元神, 心爲識神, 腦中之神, 體也; 心中之神 用也”라고 하여 인간의 고

위정신기능인 '神明'을 元神과 識神으로 구별하여 腦와 心 모두가 정신기능을 주관한다는 心腦共主神明說을 주장함으로써 腦와 心에 대한 진일보된 견해를 보여주었고 임상에서도 이를 적극적으로 활용하였다^{7,9)}.

이러한 뇌에 대한 연구는 20C초 뉴런의 발견으로 뇌의 해부학적 구조는 밝혀졌으나, 그 속에서 일어나는 정보처리에 관한 한 아직 미미한 수준에 머물러 있다. 뇌에서 얻은 시계열 신호들은 대부분 불규칙하고 복잡한 파형을 가지고 있다. 1980년대 중반까지만 해도 이러한 신호들은 확률론 과정으로 발생한 소음으로 여겨졌다. 마치 냉장고가 작동하면 발생하는 소음처럼, 뇌가 정보를 처리하거나 사고 활동을 하는 동안 부수적으로 발생하는 소음쯤으로 여겨져 왔다. 결국 우리가 이들 신호로부터 얻을 수 있는 것은, 냉장고 전문가가 냉장고 소리만으로 기계가 잘 작동하고 있는지 아닌지를 판단하는 것처럼, 뇌의 이상 상태를 판별하거나 파워 스펙트럼 분석을 통해 파형의 변화만을 감지하는 수준이었다.

1985년 A. Bablovantz와 그녀의 동료들²²⁾은 불규칙해 보이는 수면 뇌파가 낮은 차원의 카오스계라는 사실을 처음으로 밝혀냈다. 이것은 소음으로만 여겨졌던 뇌파가 몇 개의 변수로 기술될 수 있는 낮은 차원을 결정론 계에서 형성될 수 있다는 연구결과이며, 더욱이 뇌파가 대뇌의 사고 과정에 대한 유용한 정보를 담고 있다는 점을 시사해 주고 있다. 이를 계기로 생체신호에 대한 비선형 분석이 본격적으로 시작되었다.

이처럼 비선형 생체 신호 분석에서 가장 먼저 하는 일은 생체로부터 얻은 신호가 확률론 계에서 발생한 소음인지, 결정론 계에서 발생한 신호인지를 판별하는 일이다. 그래야만 얻은 신호를 분석하는 방법이 결정되기 때문이다. 만약 소음이라면, 평균값이나 분산, 히스토그램 등과 같은 통

계적인 양으로 확률 분포를 알아보거나 파워 스펙트럼으로 파형을 분석해야 한다. 반면 낮은 차원의 결정론 계 신호라면, 상관차원(correlation dimension, D_2)이나 리아프노프 지수(first positive Lyapunov exponent, L_1) 같은 비선형 동역학 변수들을 통해 신호의 동역학 특성을 기술하고, 비선형 미분 방정식으로 모델링하는 것이 가능하다. 높은 차원의 결정론 계에서 발생된 생체 신호는 신경망(neural network) 등을 이용한 고차원 계 분석으로 동역학적 특성들을 연구할 수 있다.

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 본 연구에서는 뇌파에서의 비선형성이나 결정론적 성격을 조사하는 또 다른 방법으로서 surrogate 검정 법을 사용하였다. 이를 위해서 뇌파 시계열 데이터를 위상속음(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 비선형지수 값을 계산하고 이를 실제의 뇌파 시계열에서 구한 비선형지수 값과 비교하여 어떤 유의성을 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 비선형지수 값이 여기 속하는지를 검정하였다. 유의수준이 0.05보다 적을 때 뇌파 시계열 데이터가 비선형 결정론적 성격을 가졌다고 본다.

상관차원은 특정시점의 시스템의 상태가 위상공간의 한 점으로 대응되어져 시간이 지남에 따

라 궤적을 형성하는 많은 점들이 짝히게 되고, ergodic condition(상당한 시간이 지난 후, 하나의 체계가 최초의 상태와 거의 비슷한 상태로 돌아가는 조건하에 있는 것)을 거의 만족시키는 위상 공간에 찍힌 충분히 많은 점들로부터 위상공간에서의 공간적 상관관계를 나타내는 값이다. 이 값은 계를 결정하는 독립변수의 개수와 관계가 있으며, 혼돈의 경우에는 낮은 차원의 비정수 값을 가진다. Grassberger와 Procaccia의 알고리즘에 의하여 구하는 것이 일반적이며, 그 정의 식과 원리는 다음과 같다.

N개의 점으로 이루어진 위상공간이 있을 때 $\vec{x}_i(t)$ 를 위상공간에서의 한 점이라고 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 정의 할 수 있다.

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

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.

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

위 식(2)는 Grassberger Procaccia 알고리즘을

이용하여 상관차원을 구한 것이다²⁰⁾. 위 식을 이용하면 매립차원 d를 높여가면서 상관차원 D_{CP} 를 구할 수 있다. d가 어느 정도 커지면 D_{CP} 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.

K-POMS는 6개의 하위척도로 구성되어 있다. 요인 분석 연구를 통해 확립된 6가지 요인과 그에 속한 항목 수는 긴장-불안(Tension-Anxiety: T) 요인이 9항목, 우울-낙담(Depression-Dejection: D) 요인이 15항목, 분노-적개심(Anger-Hostility: A) 요인이 12항목, 활기-활동(Vigor-Activity: V) 요인이 8항목, 피곤-무력(Fatigue- Inertia: F) 요인이 7항목, 혼란-당황(Confusion-Bewilderment: C) 요인이 7항목이다. 65항목 중 위의 6개 요인에 속하지 않은 7개 항목은 채점을 하지 않는다.

긴장/불안(tension-anxiety)척도는 Factor T로 명명되며, 증가된 근육의 긴장을 묘사하는 척도로 정의된다. 정의된 척도는 명백히 관찰할 수 있는 신체 긴장(tense, on edge)의 보고는 물론이고, 관찰할 수 있는 정신운동성의 정후(shaky, restless)까지를 포함한다.

우울/낙담(depression/dejection)척도는 Factor D로 명명되며, 이는 개인적 무능 감의 지각에 의해 수반된 우울 상태를 의미한다. 이것은 개인의 무가치함(unworthy)에 대한 느낌에 의해 가장 잘 정의되고, 조절을 위한 싸움의 무용(hopeless, desperate)으로 간주되고, 다른 것들로부터의 정서적 고립(blue, lonely, helpless, miserable)으로 지각되고, 슬픔(sad, unhappy)의 지각, 그리고 죄(guilty, sorry for things done)에 대한 지각을 의미한다.

분노/적의(anger/hostility)척도는 Factor A로 명명되며, 다른 사람에 대한 분노와 적대감의 기

분으로 대표된다. 기본적으로 분노(angry, furious, ready to fight)의 척도는 반복적으로 응답하도록 구성되었고, 요인들 간의 상관성은 여섯 개의 연구에 복합적으로 존재한다. 분노/적의가 높은 사람들은 격렬한 느낌을 묘사하고, 분노가 명백히 나타난다. 성난(grouchy)과 성가신(annoyed)은 적대감(hostility)의 중간정도의 느낌으로 묘사되고 요인들 간의 관계는 상대적으로 존재한다. 분개한(resentful), 악의에 찬(spiteful), 기만당한(deceived), 씩쓸한(bitter) 주제들은 보다 완만한 적의의 혐의를 일으키는 구성요소이고 네 개 혹은 그 이상의 연구들에서 반복되어 왔다. 언짢은(peevy), 기질이 나쁜(bad-tempered), 반항적인(rebellious)의 내용은 보다 지속적으로 진행된 연구에서 첨가되었다.

생기/활력(vigor/activity)척도는 Factor V로 명명되며, 이것은 처음에는 생기(vigor), 감적의 격발(ebullience), 높은 활력(high energy)의 기분으로 정의되었다. 이것은 다른 POMS 요인들과는 부정적으로 관련된다. 즉 긍정적인 기분 상태를 가진 사람은 다른 요인들의 점수가 낮고 생기/활력의 점수는 높게 나타난다.

피로/무기력감(fatigue/inertia)척도는 Factor F를 말하며, 이는 피로, 싫증(weariness)과 무기력(inertia)의 기분으로 대표된다.

혼란/당황(confusion/bewilderment)척도는 Factor C로 명명되며, 이는 당황(bewilderment)과 멍함(muddleheadedness)으로 특성지어졌다. Factor C는 정서의 조직적인-무질서한 범위를 대표한다. 이것은 아마도 인지적 효능감, 불안 혹은 관련된 상태 결과에 대한 자기 보고를 대표한다.

활력 요인은 긍정적인 상태를 나타내지만 나머지 5개 요인은 부정적인 상태를 나타낸다. 따라서 6개 요인을 그림으로 나타내면 바람직한 기분 상태는 '빙산형'을 나타낸다.

POMS는 일차적으로 정신과 외래환자와 정상인에게 기분상태를 측정하고 그 변화를 평가하는 방법으로 추천되었는데, 아마도 척도의 개발 및 완성 과정에서 연구 대상이 정신과 외래 환자, 정신 치료를 받았던 사람들, 대학생이었기 때문으로 생각한다. POMS가 완성된 후에 임상적 활용이 가장 활발했던 분야는 약물의 효과를 평가하고 정신 치료 후의 변화를 측정하는 쪽이었다.

현재의 기분 상태와 기분 변화를 측정하도록 고안되었기 때문에 수면 박탈이나 간단한 치료적 개입 후에 기분에 미치는 영향을 쉽게 규명할 수 있다. 연구 도구로도 의학 전반에 걸쳐 널리 이용되었다. POMS의 실시요강에 예언 타당도와 구성 타당도의 증거로써 제시된 분야들은 ① 단기 정신 치료 연구; ② 통제된 외래 환자 약물 실험; ③ 암 연구; ④ 약물 남용과 약물 중독 연구; ⑤ 정서 유도 조건에 대한 반응 연구; ⑥ 스포츠와 운동선수들에 관한 연구; ⑦ 연관 척도와 의 공존 타당도 연구 등이다.

90년 이후에도 뇌손상, 경련성질환, 관절염 등에 더욱 광범위하게 기분상태척도가 이용되어지고 있다. 이런 의학 전반에 걸친 광범위하고 빈번한 이용에도 불구하고 POMS의 약점으로 지적되어 온 것은 환자가 아닌 정상인에 대한 기준 자료가 빈약하다는 것과 청소년이나 노인과 같은 다양한 연령 집단, 그리고 입원환자 군에 대한 기준이 없어서 유용성을 확인할 수 없었다는 것이다. 지금까지 여러 저자들에 의해서 정상인과 노인, 청소년에 대한 타당도를 확인하거나 보완하려는 노력이 있어 왔고 이런 성과로 POMS는 그 타당성과 신뢰성이 확대되어 왔다. 형태에 있어서도 원래의 척도 외에 양극형(bipolar form)과 단축형(short form)이 보고되어 사용되고 있다.

본 논문에서는 건강한 남녀 총 30인의 피검자를 대상으로 한국형 기분상태척도의 설문지를 작

성하고 뇌파를 측정하였다. 검사 당시의 기분 상태에 대한 뇌파 특히 비선형성을 가지는 뇌파와의 상관관계를 알아보고자 하였다. 30인의 피검자를 대상으로 구한 상관차원 값은 비선형자료인지 아닌지 알 수 없는 자료이므로 대리점정을 통해 검정을 한 결과 ch1~ch8까지 측정된 뇌파의 채널마다 상관차원 값을 구하여 선형적인 뇌파를 가지는 사람은 제외하고 비선형적인 뇌파를 나타내는 채널만 모으니 각각 22인, 22인, 24인, 22인, 23인, 28인, 24인, 25인에서 비선형적인 자료임이 확인되었다. 선형적인 뇌파를 가지는 사람은 제외하고 비선형적인 뇌파를 나타내는 채널만 모아 기분상태척도의 하위척도의 합과 상관분석을 실시하였다. 그 결과 기분상태척도의 하위척도 중 Vigor척도만이 우측 측두엽을 나타내는 ch6에서 $-0.52(p<0.00)$, 좌측 두정엽을 나타내는 ch7에서 $-0.46(p<0.02)$, 우측 두정엽을 나타내는 ch8에서 $-0.43(p<0.03)$ 으로 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다.

V. 결 론

본 연구에서는 30명의 피검자로부터 한국형 기분상태척도(K-POMS)¹⁶⁾의 설문지에서 나온 결과를 6개의 하위척도로 분류하여 각각의 합을 구하고, 뇌파를 측정하여 비선형 분석법 중 하나인 상관차원을 구하였다. 이 둘의 상관성을 알아보기 위하여 상관분석을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 총30명의 피검자에게서 얻은 상관차원의 값을 대리점정을 통하여 검정한 결과 ch1~ch8까지 각각 22인, 22인, 24인, 22인, 23인, 28인, 24인, 25인에서 비선형적인 자료임이 확

인되었다.

2. 비선형 자료만 채택하여 상관차원 값과 기분상태척도의 하위척도의 합과 상관분석을 실시한 결과 기분상태척도의 하위척도 중 Vigor척도만이 우측 측두엽을 나타내는 ch6에서 $-0.52(p<0.00)$, 좌측 두정엽을 나타내는 ch7에서 $-0.46(p<0.02)$, 우측 두정엽을 나타내는 ch8에서 $-0.43(p<0.03)$ 으로 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다.

參考文獻

1. 金基石譯. Richard F. Thomson저. 腦. 서울, 星苑社, 1989, 11-18, 28, 35.
2. 黃義完등. 東醫精神醫學. 서울, 現代醫學書籍社, 1992, 256-271, 327-330.
3. 楊維傑編. 黃帝內經釋解(素問). 서울, 成輔社, 1980, 1-12, 42-61, 100-103.
4. 楊維傑編. 黃帝內經釋解(靈樞). 서울, 成輔社, 1980, 84-89, 104-105, 280-283.
5. 程如海. 略論張錫純心腦共主神明說. 北京. 北京中醫藥大學學報. 1996; 19(6): 12.
6. 王清任. 醫林改錯. 臺聯, 國風出版社, 1975, 22-25.
7. 王彩霞. 論腦爲元神之府. 中國函授通譯. 1997; 16(2): 11-12.
8. 董蓮榮等編著. 中國形神病學. 北京, 光明日報出版社, 1991, 22-23.
9. 鄭彝倫. 從腦神與五臟神相關學說探討鬱症的治療原則. 北京. 中醫藥研究. 1998; 14(7): 3-4.
10. 水木泰. 불안의 생리학적 지표로서의 frontal midline theta activity (Fm θ). 정신신경학잡지, 1985; 87: 902-908.
11. 김홍석, 김인선. 불안과 뇌파와의 관계에 관한

- 연구. 체육과학논총 제9호 1996.12 pp.255-267.
12. 권혁철, 김기석. 특성불안 수준에 따른 뇌전도 α 반응. 행동과학연구 1986; 8: 27-32.
 13. 정봉교 윤병수. 전뇌 α 파 활동성의 반구 배대칭성과 정동유형. 한국심리학회지: 생물 및 생리 2001; 13(1): 71-81.
 14. 윤진환, 정일규, 김영표, 김종오, 이희혁, 오봉석, 김창주. 대한스포츠의학회지. 2003; 21(1).
 15. 조동진, 정혜선, 심준영. 무용학습이 시각 및 청각적 자극과 이미지 상상 동안 뇌파와 POMS 변화에 미치는 효과. 한국스포츠심리학회. 2005; 16(3): 1-17.
 16. 김의중. 정상 고교생 및 대학생을 대상으로 한 기분상태척도(POMS)의 신뢰도와 타당도 평가. 석사학위논문, 충북대학교 대학원, 2001.
 17. Kennel M, Brown R, Abarbanel H, "Determining embedding dimension for phase space reconstruction using a geometrical reconstruction," Phys Rev A. 1992; 45: 3403-3411.
 18. H. D. I. Abarbanel, R. Brown, J. J. Sidorowich and L. S. Tsimring, Reviews of Modern Physics 65, 1331 (1993); H. D. I. Abarbanel, Analysis of Observed Chaotic Data(Springer, 1996); H, Kantz and T. Schreiber, Nonlinear Time Series Analysis(Cambridge Univ. Press, 1997); D, Kaplan, Nonlinear Dynamics in Biology and Medicine: Lecture and Lab Notes(McGill Univ., 1997)
 19. 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.
 20. K. G Choi, E. K Cho, S. H Chae, E-S. Kim, J.S Kim: Spectral and Bispectral EEG analysis in acute unilateral ischemic stroke patients, Neurology Psychiatry and Brian Research. 1999; 7: 9-14.
 21. Lehnertz K, Elger CE: Can epileptic seizure be predicted? Evidence from nonlinear time series analysis of brain electrical activity. Phys Rev Letts, 1998; 80: 5019-5022.
 22. 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.

부 록

기분상태척도(K-POMS)

아래의 문항들은 사람들이 느끼는 다양한 기분 상태를 기술한 것입니다. 각 문항을 주의 깊게 읽어 주십시오. 지난 일주일간(오늘을 포함하여) 당신이 느껴온 기분 상태에 해당되는 번호를 골라 "○"으로 표시하여 주십시오.

- 0 = 전혀 그렇게 느끼지 않는다.
- 1 = 약간 그렇게 느낀다.
- 2 = 중간 정도로 그렇게 느낀다.
- 3 = 꽤 그렇게 느낀다.
- 4 = 매우 그렇게 느낀다.

(예) 행복하다. 0 1 2 ③ 4

1	다정한 느낌이 우러나온다.	0	1	2	3	4
2	긴장된다.	0	1	2	3	4
3	화난다.	0	1	2	3	4
4	녹초가 된 느낌이다.	0	1	2	3	4
5	불행하다.	0	1	2	3	4
6	두뇌가 명석한 느낌이다.	0	1	2	3	4
7	생기 넘친다.	0	1	2	3	4
8	혼란스럽다.	0	1	2	3	4
9	후회된다.	0	1	2	3	4
10	마음이 떨린다.	0	1	2	3	4
11	마음이 내키지 않는다.	0	1	2	3	4
12	언짱고 짜증난다.	0	1	2	3	4
13	동정심이 우러나온다.	0	1	2	3	4
14	슬프다.	0	1	2	3	4
15	활동적이다.	0	1	2	3	4
16	초조하다.	0	1	2	3	4
17	부루퉁하고 골이 난다.	0	1	2	3	4
18	울적이다.	0	1	2	3	4
19	활기차다.	0	1	2	3	4
20	겁에 질려있다.	0	1	2	3	4
21	희망이 없다.	0	1	2	3	4

22	편안하고 느긋하다.	0	1	2	3	4
23	하찮게 느껴진다.	0	1	2	3	4
24	양심품은 느낌이다.	0	1	2	3	4
25	남을 잘 이해하고 공감한다.	0	1	2	3	4
26	거북하고 편하지 않다.	0	1	2	3	4
27	안절부절못한다.	0	1	2	3	4
28	집중이 안 된다.	0	1	2	3	4
29	피곤하다.	0	1	2	3	4
30	남에게 도움이 된다.	0	1	2	3	4
31	불쾌하게 느낀다.	0	1	2	3	4
32	낙심한 상태이다.	0	1	2	3	4
33	분개한다.	0	1	2	3	4
34	조마조마하다.	0	1	2	3	4
35	외롭다.	0	1	2	3	4
36	비참하다.	0	1	2	3	4
37	기분이 뒤죽박죽이다.	0	1	2	3	4
38	쾌활하다.	0	1	2	3	4
39	원한이 사무친다.	0	1	2	3	4
40	기진맥진하다.	0	1	2	3	4
41	불안하다.	0	1	2	3	4
42	금방 싸울 것 같은 기분이다.	0	1	2	3	4
43	착하고 친절하다.	0	1	2	3	4
44	우울하다.	0	1	2	3	4
45	자포자기 상태이다.	0	1	2	3	4
46	느리고 둔하다.	0	1	2	3	4
47	뒤엎어 버리고 싶다.	0	1	2	3	4
48	내 힘으론 어쩔 수 없다.	0	1	2	3	4
49	따분하다.	0	1	2	3	4
50	당황스럽다.	0	1	2	3	4
51	정신이 맑고 또렷하다.	0	1	2	3	4
52	속은 기분이다.	0	1	2	3	4
53	화나서 필필 뿔 지경이다.	0	1	2	3	4
54	능률이 오른다.	0	1	2	3	4
55	남을 잘 믿는다.	0	1	2	3	4
56	원기 왕성하다.	0	1	2	3	4
57	심술이 난다.	0	1	2	3	4
58	자신이 쓸모없게 느껴진다.	0	1	2	3	4

59	잘 잊어버린다.	0	1	2	3	4
60	걱정 없다.	0	1	2	3	4
61	무섭게 느껴진다.	0	1	2	3	4
62	죄책감이 든다.	0	1	2	3	4
63	활발하고 격렬하다.	0	1	2	3	4
64	확신이 없다.	0	1	2	3	4
65	지친다.	0	1	2	3	4