

뇌파의 상관차원과 한열설문지와의 상관분석

배노수 · 박영재 · 오환섭* · 박영배

경희대학교 한의과대학 한방인체정보의학과, *경희대학교 기계공학과

[Abstract]

Correlation Analysis for Correlation Dimesion of EEG and Cold-heat Score

No-Soo Bas, Young-Jae Park, Hwan-Sup Oh*, Young-Bae Park

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

**Dept. of Mechanical Engineering, Kyung Hee University*

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 cold-heat 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 7 and channel 8 are showed significant correlation with cold score

Key Words: EEG, nonlinear analysis, correlation dimension, cold-heat score

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

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

I. 서론

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⁾에 “腦爲髓之海”, <素問 五臟別論>³⁾에 “或而腦髓爲臟 或而爲腑...故 藏而不寫 名曰奇恒之府” 라 하여 뇌를 단순히腎과 관련된 생리기관이나 또는 奇恒之府 중의 하나로 인식하다가 清代에 이르러 王⁵⁾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 오늘날 서양의학의 뇌와 유사한 인식을 하기에 이른다.

이러한 뇌에 대한 연구는 20C초 뉴런의 발견으로 뇌의 해부학적 구조는 밝혀졌으나, 그 속에서 일어나는 정보처리에 관한 한 아직 미미한 수준에 머물러 있다⁶⁾.

뇌에서 얻은 시계열 신호들은 대부분 불규칙하고 복잡한 파형을 가지고 있다. 1980년대 중반까지만 해도 이러한 신호들은 확률론 과정으로 발생된 소음으로 여겨졌다. 1985년 A.Bablovantz와 그녀의 동료들⁷⁾은 불규칙해 보이는 수면 뇌파가 낮은 차원의 카오스계 라는 사실을 처음으로 밝혀냈다. 이것은 소음으로만 여겨졌던 뇌파가 몇 개의 변수로 기술될 수 있는 낮은 차원의 결정론계에서 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.

최근 한의학계에서도 이러한 비선형분석방법을 이용한 연구결과가 보고되고 있다. 박 등⁸⁾은 치매

환자에게 申脈, 照海穴 전침시술시, 시술전보다 시술 중에 상관차원의 값이 유의성 있게 감소하였다고 보고하였다. 홍⁹⁾은 內關穴 전침 자극후 상관차원 값의 변화를 전, 측, 후두부에서 각각 유의성 있게 관찰하였고, 오 등¹⁰⁾은 발바닥 특정 부위 자극을 통해 부분 갈창 시 후두엽에서 상관차원이 유의성 있게 증가하였음을 보고하였다. 김 등¹¹⁾은 뜬자극 후 전두엽에서 측정된 데이터에서 상관차원의 유의성 있는 변화를 보고하였다. 이와 같이 국내에서는 자극전후의 상관차원의 변화에 대한 연구가 주로 진행되었다.

한열은 한의학에서 疾病의 성질을 판단하는 주요 원칙이며, 치료방향을 설정하는 중요 지표이다. 기존 논문들은 주로 자극전후의 상관차원값의 변화를 비교하여 발표하였으나, 본 연구에서는 뇌파의 비선형분석방법인 상관차원값을 구하고 한의학에서 중요한 진단지표인 한열과의 관계를 연구하기 위해서 설문지¹²⁾를 이용하여 한열 값을 구하고 뇌파의 상관차원값과 상관관계를 분석하여 유의한 결과가 나타났기에 이를 보고한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

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

뇌파를 측정하여 상관차원값을 구하고 대리검

정을 통하여 비선형자료를 선별하였고 한열설문지를 작성하여 한점수, 열점수를 구한다음 상관차원값과 한점수, 열점수와 상관분석을 하였다.

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℃의 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 24시간동안 숙달되지 않은 격렬한 운동을 삼가게 하였다. 본 연구에 관한 모든 사항은 경희의료원 한방병원 임상시험

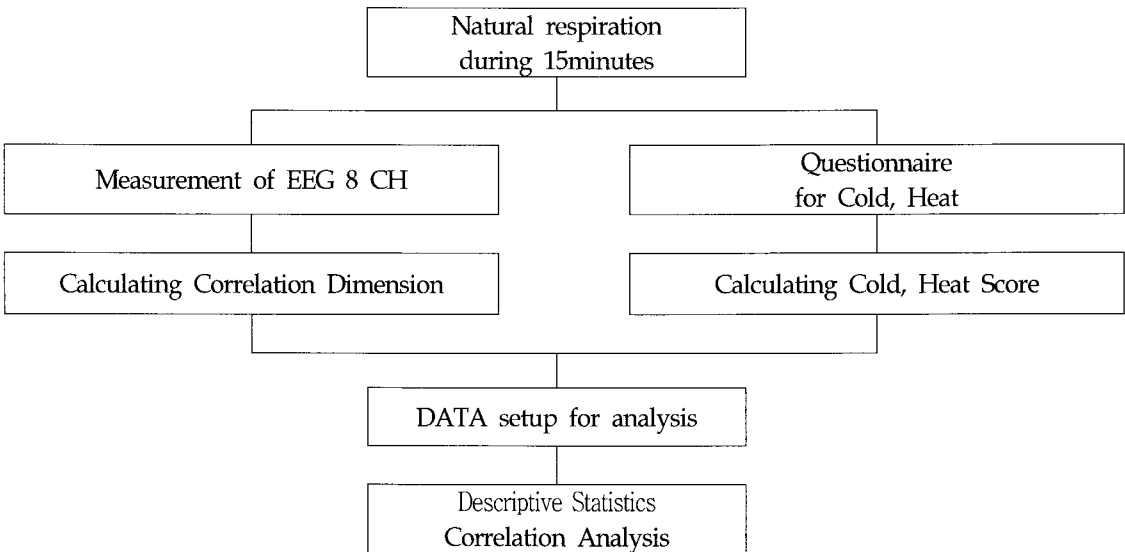


Figure 1. Flow chart of this study.

심사위원회(IRB, Institutional Review Boards)에서 심의, 승인을 받은 후 시행하였고, 피검자는 서면으로 된 임상시험 동의서를 작성하였다.

1) 뇌파(electroencephalogram)의 측정

뇌파측정장비는 HSYS-REC-LD(Stellate systems INC, Canada)를 이용하여 측정하였다. 머리에 附着하는 전극의 배치는 국제뇌파 및 임상뇌대사회연맹에서 추천하는 10-20시스템을 따라, 전극용 풀을 사용하여 4개의 도금된 전극을 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4에 附着하여 데이터를 측정하였다(Figure 2). 접지전극(Ground electrode)은 우측 유양돌기위(Rt mastoid process)에 부착하였고, 기준전극(Reference electrode)은 우측 귓볼(Rt anterior resion of Lobule of auricle)에 부착하였다. 각 채널별 뇌파지표는 각 채널 평균값을 산출하여 분석에 활용하였다.

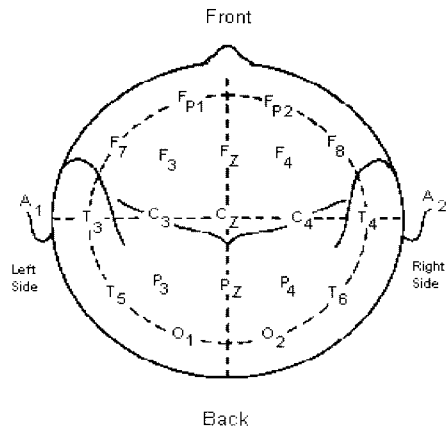


Figure 2. Arrangement of the 10/20 electrode, top of the head

로 상관차원을 구하고 surrogate 검정법을 사용하여 비선형적 결정론계자료와 비선형 결정론계로 보이지 않는 자료로 구분하였다..

2) 한열설문지조사

한열에 관한 설문은 김 등¹²⁾의 한열설문지(ver 3.0)를 사용하였다. 설문문항에 대한 평가점수의 단순합과 가중치를 적용한 합을 구하여 열점수, 한점수, 가중치를 준 열점수와 가중치를 준 한점수를 각각 구하였다.

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 데이터

(2) 뇌파의 스칼라 시계열의 위상공간내 재구성 1차원 뇌파 시계열에 대한 위상공간 재구성을 위해서 먼저 시계열의 지연시간을 구하는 것이 필요하다. 지연시간을 구하는 방법으로 쓰이는 기법에는 자기상관함수법을 사용하였다.

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 제시되었다. 본 연구에서는 SVD 알고리즘을 이용하였다.

위 두 방법을 통해 뇌파의 스칼라 시계열을 위상공간에 끝개로 재구성하였다.

락사의 complexity(비선형분석프로그램)를 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.

(3) 뇌파 시계열의 비선형성 및 결정론적 성격 결정 뇌파에서의 비선형성이나 결정론적 성격을 조사하는 방법으로서 surrogate 검정법을 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 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 본다¹³⁾.

(4) 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 평

균을 취하면 아래 식(1)과 같은 양을 정의 할 수 있다.

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

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 $C(r) = r^v(v < f)$ 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 것이다¹⁴⁾. 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.

4) 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. 이중 본 논문은 windowing 방법을 사용하였다.

15분간 측정된 뇌파중 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

5) 통계방법

뇌파의 채널별 상관차원값과 한열설문지에 의한 열점수, 한점수, 가중치를 준 열점수, 가중치를 준 한점수와 상관분석(비모수분석으로 spearman's 방식)을 하였다. 프로그램은 SPSS Windows 13.0 (SPSS, Inc. U.S.A)을 사용하였다.

III. 연구결과

1. 자료의 기본특성

피검자 30인의 채널별 상관차원값과, 열점수,

한점수, 가중치를 준 열점수, 가중치를 준 한점수의 평균값, 최소값, 최대값, 평균값, 표준편차는 Table 1과 같다

2. 채널별 상관차원값의 평균과 열점수, 한점수, 열점수 가중치, 한점수 가중치와의 상관분석

피검자 30인의 상관차원값의 채널별 평균값과 열점수, 한점수, 가중치를 준 열점수, 가중치를 둔 한점수와의 상관관계는 Table 2와 같다. CH7과 CH8이 한점수, 가중치를 준 한점수와 각각 통계적으로 유의한 상관관계를 나타낸다.

3. 대리검정결과

30인의 피검자의 생체신호측정결과가 비선형적인 자료인지를 판단하기 위해 30인의 채널별 대리검정을 실시한 결과 Table 3과 같은 유의수준값을 얻었다. 유의수준이 0.5이상이면 비선형자료가 아니고 0.5미만이면 비선형자료로 확인되므로 CH1~CH8까지 각각 22인, 22인, 24인, 22인, 23인,

Table 1. Descriptive Statistics of correlation dimension, Heat score, Cold score, Heat score(w), Cold score(w)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
CH1	30	0.79	4.57	2.49	1.02
CH2	30	0.82	4.40	2.45	0.98
CH3	30	0.76	4.45	2.26	1.18
CH4	30	0.77	4.20	2.23	1.09
CH5	30	1.42	4.68	3.43	0.83
CH6	30	1.24	4.91	3.55	0.86
CH7	30	1.42	3.89	3.17	0.62
CH8	30	1.44	4.27	3.16	0.70
Heat score	30	11.46	22.26	17.25	3.20
Cold score	30	12.75	43.70	26.66	8.51
Heat score(w)	30	30.47	74.09	52.06	11.26
Cold score(w)	30	26.33	90.27	57.90	16.47

Table 2. Correlation results of correlation dimension and Heat score, Cold score, Heat score(w), Cold score(w)

		Heat score	Cold score	Heat score(w)	Cold score(w)
CH1	spearman's rho	-0.133	-0.070	0.041	-0.037
	Sig. (2-tailed)	0.483	0.722	0.827	0.845
CH2	spearman's rho	-0.222	-0.080	-0.082	-0.064
	Sig. (2-tailed)	0.238	0.685	0.666	0.736
CH3	spearman's rho	-0.012	-0.110	0.108	-0.103
	Sig. (2-tailed)	0.951	0.556	0.570	0.586
CH4	spearman's rho	-0.057	-0.130	0.092	-0.127
	Sig. (2-tailed)	0.997	0.497	0.628	0.503
CH5	spearman's rho	-0.241	0.163	-0.101	0.213
	Sig. (2-tailed)	0.199	0.390	0.596	0.260
CH6	spearman's rho	-0.291	0.204	-0.289	0.230
	Sig. (2-tailed)	0.119	0.280	0.121	0.221
CH7	spearman's rho	-0.233	0.364*	-0.207	0.399*
	Sig. (2-tailed)	0.216	0.048	0.272	0.029
CH8	spearman's rho	-0.187	0.407*	-0.239	0.436*
	Sig. (2-tailed)	0.323	0.026	0.204	0.016

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

28인, 24인, 25인에서 비선형적인 자료임이 확인되었다.

4. 비선형자료들의 상관차원과 열점수, 한점수, 열점수 가중치, 한점수 가중치와의 상관관계

30인의 피검자들의 채널별 결과를 대리검정을 사용하여 검정한 결과로 얻어진 비선형자료만을 채택하여 상관차원과 열점수, 한점수, 가중치를 준 열점수, 가중치를 준 한점수와 상관분석을 한 결과는 다음 표와 같다. CH6에서 열점수와 통계적으로 유의한 상관관계를 보였고 CH7에서 가중치를 준 한점수와 통계적으로 유의한 상관관계를 보였으며 CH8에서는 한점수와 가중치를 준 한점수와 각각 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다.

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’ 라하여 뇌를 단순히 신과 관련된 생리기관이나 또는 奇恒之府중의 하나로 인식하다가 明代에 李¹⁵⁾는 “腦爲元神之府 而鼻爲明門之竅”라고 하여 처음으로 뇌가 神을 총괄하는 주체적인 기

Table 3. The results of surrogate data method

		CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
1	sig	0.00	0.00	0.01	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
2	sig	0.02	0.12	0.28	0.10	0.00	0.12	0.00	0.05
3	sig	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00
4	sig	0.61	0.44	0.09	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
5	sig	0.45	0.00	0.60	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
6	sig	0.00	0.00	0.03	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
7	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.69	0.01
8	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	sig	0.10	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	sig	0.41	0.47	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
12	sig	0.01	0.54	0.34	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
13	sig	0.11	0.15	0.24	0.16	0.00	0.00	0.07	0.09
14	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	sig	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.35	0.53
16	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	sig	0.05	0.00	0.00	0.00	0.16	0.07	0.59	0.38
18	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	sig	0.01	0.00	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
20	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	sig	0.05	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00
25	sig	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	sig	0.01	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.48	0.57
27	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	sig	0.19	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00
29	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.03	0.01
30	sig	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

관임을 말하였고 清代에 이르러 王⁹⁾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, 사유활동과 뇌의 기억간에 밀접한 연관이 있음을 말함으로써, 오늘날 서양의학의 뇌와 유사한 인식을 하기에 이른다. 특히 張¹⁶⁾은 “腦爲元神, 心爲識神, 腦中之

神, 體也; 心中之神 用也”라고 하여 인간의 고위 정신기능인 ‘神明’을 元神과 識神으로 구별하여 뇌와 心 모두가 정신기능을 주관한다는 心腦共主 神明說을 주창함으로써 뇌와 心에 대한 진일보된 견해를 보여주었고 임상에서도 이를 적극적으로 활용하였다^{17,18)}.

Table 4. Correlation results of correlation dimension and Heat score, Cold score, Heat score(w), Cold score(w)

		Heat score	Cold score	Heat score(w)	Cold score(W)
CH1	spearman's rho	-0.207	0.136	-0.028	0.165
	Sig. (2-tailed)	0.355	0.546	0.903	0.462
	N	22	22	22	22
CH2	spearman's rho	-0.181	0.064	-0.070	0.074
	Sig. (2-tailed)	0.420	0.778	0.759	0.744
	N	22	22	22	22
CH3	spearman's rho	0.030	-0.080	0.123	-0.063
	Sig. (2-tailed)	0.888	0.710	0.565	0.771
	N	24	24	24	24
CH4	spearman's rho	-0.002	-0.069	0.068	-0.067
	Sig. (2-tailed)	0.994	0.759	0.763	0.766
	N	22	22	22	22
CH5	spearman's rho	-0.137	0.167	0.023	0.214
	Sig. (2-tailed)	0.532	0.446	0.918	0.326
	N	23	23	23	23
CH6	spearman's rho	-0.475*	0.269	-0.368	0.305
	Sig. (2-tailed)	0.011	0.166	0.054	0.114
	N	28	28	28	28
CH7	spearman's rho	-0.212	0.383	-0.165	0.405*
	Sig. (2-tailed)	0.330	0.071	0.452	0.049
	N	24	24	24	24
CH8	spearman's rho	-0.225	0.479*	-0.318	0.508*
	Sig. (2-tailed)	0.279	0.015	0.122	0.010
	N	25	25	25	25

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

이러한 뇌에 대한 연구는 20C 초 뉴런의 발견으로 뇌의 해부학적 구조는 밝혀졌으나, 그 속에서 일어나는 정보처리에 관한 한 아직 미미한 수준에 머물러 있다⁶⁾. 뇌에서 얻은 시계열 신호들은 대부분 불규칙하고 복잡한 파형을 가지고 있다. 1980년대 중반까지만 해도 이러한 신호들은 확률론 과정으로 발생된 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 있

는지 아닌지를 판단하는 것처럼, 뇌의 이상 상태를 판별하거나 파워 스펙트럼 분석을 통해 파형의 변화만을 감지하는 수준이었다.

1985년 A.Bablovantz와 그녀의 동료들⁷⁾은 불규칙해 보이는 수면 뇌파가 낮은 차원의 카오스계라는 사실을 처음으로 밝혀냈다. 이것은 소음으로만 여겨졌던 뇌파가 몇 개의 변수로 기술될 수 있는 낮은 차원을 결정론계에서 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 신호 인지를 판별하는 일이다. 그래야만 얻은 신호를 분석하는 방법이 결정되기 때문이다. 만약 소음이라면, 평균값이나 분산, 히스토그램 등과 같은 통계적인 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 발생한 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 검정법을 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 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 본다.

상관차원은 특정시점의 시스템의 상태가 위상공간의 한 점으로 대응되어져 시간이 지남에 따라 궤적을 형성하는 많은 점들이 찍히게 되고, ergodic condition(상당한 기간이 지난 후, 하나의 체계가 최초의 상태와 거의 비슷한 상태로 돌아가는 조건하에 있는 것)을 거의 만족시키는 위상공간에 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^{20,21)}.

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 정의 할 수 있다.

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

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 $C(r) = r^v(v < f)$ 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 것이다.¹⁴⁾ 위 식을 이용하면 매립차원 d 를 높여가면서 상관차원 D_{GP} 를 구할수 있다. d 가 어느 정도 커지면 D_{GP} 값은 일정한 값으로 포화 되는데 이 때 포화 되어진 값을 상관차원이라고 말한다. 또한 포화되기 시작하는 d 값은 계를 나타내기 위한 최소한의 독립 변수의 개수로 매립차원이라고 한다.

최근 한의학계에서도 이러한 비선형분석방법을 이용한 연구결과가 보고되고 있다.

박 등⁸⁾은 치매환자에게 申脈, 照海穴 전침시술 시, 시술 전보다 시술 중에 상관차원의 값이 유의성 있게 감소하였다고 보고하였다. 홍⁹⁾은 內關穴 전침 자극후의 상관차원 값의 변화를 진, 측, 후두부에서 각각 유의성 있게 관찰하였고, 오 등¹⁰⁾은 발바닥 특정 부위 자극을 통해 부분 깔창 시 후두엽에서 상관차원이 유의성 있게 증가하였음을 보고하였다. 김 등¹¹⁾은 뜸자극 후 전두엽에서 측정된 데이터에서 상관차원의 유의성 있는 변화를 보고하였다.

이상에서 국내 논문은 자극전후의 상관차원값의 변화에 대한 연구가 진행되었다.

한열은 한의학에서 疾病의 성질을 판단하는 주요 원칙이며, 치료방향을 설정하는 중요 지표이다. 기존 논문들은 주로 자극전후의 상관차원값의 변화를 비교하여 발표하였는데 본 연구에서는 뇌파의 비선형분석방법인 상관차원값을 구하고 한의학에서 중요한 진단지표인 한열을 설문지¹²⁾를 이용한 한열 값을 구하여 뇌파의 상관차원값과 진단지표인 한열을 정량화한 한열값과의 상관관계를 연구하였다.

총 30인의 피검자를 대상으로 상관차원값을 구하여 열점수, 한점수, 가중치를 준 열점수, 가중치를 준 한점수와 상관분석을 실시한 결과 CH7에

서 한점수와 0.364 가중치를 준 한점수와 0.399로 CH8에서 한점수와 0.407 가중치를 준 한점수와 0.436으로 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다. 한점수보다 가중치를 적용한 한점수에서 상관계수가 높게 나타났다.

그러나 30인이 피검자를 대상으로 구한 상관차원값은 비선형자료인지 아닌지 알 수 없는 자료이므로 대리검정을 통해 검정을 한 결과 CH1~CH8까지 각각 22인, 22인, 24인, 22인, 23인, 28인, 24인, 25인에서 비선형적인 자료임이 확인되었다. 이상의 비선형 자료만을 가지고 상관분석을 실시한 결과 CH6에서 열점수와 -0.475, CH7에서는 가중치를 준 한점수와 0.405, CH8에서는 한점수와 0.479로 가중치를 준 한점수와 0.508로 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다. 상관차원값과 통계적으로 유의하게 상관관계를 보이는 채널은 CH6, CH7과 CH8이었다. 상관차원값이 통계적으로 유의한 상관관계를 나타낸 경우 열점수와는 음의 상관관계를 한점수 혹은 가중치를 준 한점수와는 양의 상관관계를 나타내었다. CH7과 CH8에서 상관차원값이 증가할수록 한점수나 가중치를 준 한점수가 증가하는 상관관계를 나타내었는데 한점수보다 가중치를 준 한점수와 의 상관계수가 더 높게 나타났다. 이상에서 상관차원과 한열점수간의 상관분석을 실시하여 통계적으로 유의한 결과를 얻었으나 상관차원을 구하는데 있어서 데이터의 구간을 결정하는 방법과 데이터를 얻는 과정에서 의 잡음을 최소한으로 줄일 수 있는 방법에 대해서는 보완되어야 할 것이며 특정부위에서만 상관차원값과 한열값이 유의한 상관관계를 나타내는 이유에 대한 연구고찰도 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

뇌파의 비선형분석법인 상관차원과 한의학의

중요 진단지표인 한열과의 관계를 살펴 보기위해서 30명의 피검자로부터 뇌파를 측정하여 상관차원값을 구하고 한열설문지를 작성하여 열점수, 한점수, 가중치를 준 열점수, 가중치를 준 한점수를 구하여 상관분석을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 총30명의 피검자에게서 얻은 상관차원의 값을 대리검정을 통하여 검정한 결과 CH1~CH8까지 각각 22인, 22인, 24인, 22인, 23인, 28인, 24인, 25인에서 비선형적인 자료임이 확인되었다.
2. 비선형 자료만 채택하여 상관차원값과 열점수, 한점수, 가중치를 준 열점수, 가중치를 준 한점수와 상관분석을 실시한 결과 CH6에서 열점수와 -0.475로, CH7에서는 가중치를 준 한점수와 0.405, CH8에서는 한점수와 0.479로 가중치를 준 한점수와 0.508로 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다.

參考文獻

1. 김기석역. Richard F.Thomson저. 뇌. 서울, 성원사, 1989.
2. 황의완 등. 동의정신의학. 서울, 현대의학서적사, 1992.
3. 楊維傑編. 黃帝內經解釋(素問). 서울, 정보사, 1980.
4. 楊維傑編. 黃帝內經解釋(靈樞). 서울, 정보사, 1980.
5. 王清任. 醫林改錯. 臺聯, 국풍출판사, 1975.
6. 김수용 등. 뇌전위와 카오스. 대한신경정신의학회 제38차추계학술대회초록집. 대한신경정신의학회. 1995, 221-232.
7. A. Babloyantz, J.M. Salazar and C. Nicolis, Phys. Lett. 111A, 1985.
8. 박우순. 신맥 조해의 전침자극이 치매환자의 뇌파에 미치는 영향. 대한침구의학회지. 2001; 18(2): 67-78.
9. 홍승원. 내관 전침자극이 뇌파의 상관차원에 미치는 영향. 석사학위논문. 우석대. 2002, 23.
10. 오영선 등. 발바닥 특정부위자극이 뇌파에 미치는 효과에 대한 비선형 분석. 대전대학교 한의학연구소 논문집. 2001; 10(10): 365-374.
11. 김혜경, 박영배. 뜸자극에 의한 전두부 뇌파분석. 대한한의원진단학회지. 2003; 7(2): 117-128.
12. 김숙경, 박영배. 寒熱辨證說問紙 開發. 대한한의원진단학회지. 2003; 7(1): 64-75.
13. 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.
14. 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.
15. 李時珍. 本草綱目. 서울, 고문사, 1973, 16(2).
16. 程如海. 略論張錫純心腦共主神明說. 북경, 북경중의학대학교보, 1996, 19(6).
17. 王彩霞. 論腦爲元神之府. 中醫函授通譯. 1997, 16(2).
18. 董蓮榮等編著. 中醫形神病學. 북경, 광명일보출판사, 1991.
19. 鄭彝倫. 從腦神與五臟神相關學說探討鬱症的治原則, 북경, 중의학연구, 1998, 14(7).
20. Peter Grassberger and Itamar Procaccia. Physic Review Letters. 1983; 50: 346.
21. Peter Grassberger and Itamar Procaccia. Measuring the Strangeness of strange Attractors. Physica 9D. 1983; May: 189-208.