

청년층과 노인층의 행동활성화체계 및 행동억제체계 민감도에 따른 뇌파의 1/f 스케일링 분석

1/f scaling exponent of EEG depending on different sensitivities of
behavioral activation and inhibition systems for young and elderly groups

진승현* · 김원식** · 노기용*

Seung-Hyun Jin* · Wuon-Shik Kim** · Gi-Young Noh*

한국표준과학연구원 생활계측그룹*

Human Life Measurement Group, Korea Research Institute of Standards and Science

Abstract : The purpose of the present study was to investigate the differences of nonlinear characteristics of electroencephalogram (EEG) depending on different sensitivities of behavioral activation system (BAS) and behavioral inhibition system (BIS) of young and elderly groups. The EEGs from Fp1 and Fp2 electrodes were recorded during resting condition. The young and elderly groups consisted of 19 and 31 healthy right-handed volunteers, respectively. We estimated 1/f scaling exponent which reflects the nonlinear dynamical complexity of EEG. As results, we found the differences of 1/f scaling exponent between young and elderly BAS sensitive groups. The 1/f scaling exponent of young BAS sensitive group showed significantly higher values than those of elderly BAS sensitive group at the left prefrontal area (Fp1). The young BAS sensitive group had also a tendency to higher 1/f scaling exponent at the right prefrontal area (Fp2). Decrease of the 1/f scaling exponent indicates the increase of complexity and the decrease of the amount of information related to the statistical distribution. Therefore, the elderly BAS sensitive group has higher complexity than young BAS sensitive group, though they were all classified as BAS sensitive group by BAS/BIS scale. Our results suggest the possibility of correlation between BAS sensitivity and age.

Key words : EEG, 1/f scaling exponent, behavioral activation system (BAS), behavioral inhibition system (BIS)

요약 : 본 연구에서는 행동활성화체계(Behavioral Activation System : BAS)와 행동억제 체계(Behavioral Inhibition System : BIS)의 성향이 청년층과 노인층의 뇌파 특성에 차이를 보이는지를 조사하였다. 실험은 19명의 청년층과 31명의 노인층을 대상으로 하여 이루어졌고, 안정 상태의 양측 전전두엽 뇌파를 측정하였다. 분석은 비선형 지수 중 하나인 1/f 스케일링 지수를 사용하였다. 그 결과, BAS 성향에서 1/f 스케일 지수가 유의한 차이를 보였다.

† 교신저자 : 김원식(한국표준과학연구원 생활계측그룹)

E-mail : wskim@kriss.re.kr

TEL : 042-868-5471, 5454

FAX : 042-868-5455

즉, 좌측 전전두엽(Fp1)에서는 청년층의 1/f 스케일 지수가 노인층의 1/f 스케일 지수보다 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였고, 우측 전전두엽(Fp2)에서도 청년층이 노인층에 비해 높은 1/f 스케일 지수를 나타내는 경향을 보였다. 1/f 스케일 지수가 클수록 복잡도는 감소하고, 반면 확률분포에 관련된 정보의 양은 증가하는 것으로 해석 가능하다. 본 연구를 통해, 주관적 평가 결과로서 행동 활성화체계가 강한 성향을 가진 경우, 노인층은 청년층에 비해 양측 전전두엽의 복잡도가 높은 상태임을 알 수 있다. 본 연구의 결과는 BAS 성향과 연령 사이의 연관성에 대한 가능성을 시사한다.

주제어 : 뇌파, 1/f 스케일 지수, 행동 활성화체계(BAS), 행동 억제체계(BIS)

1. 서론

뇌파는 무수히 많은 뉴런들의 복잡한 연결망으로 이루어진 대뇌 신경질의 전기적 활동을 반영하는 대략 0~30Hz의 주파수 성분들의 무작위적인 조합으로 보이는 진동 신호이다. 각 특정한 주파수 범위의 진동 성분을 델타파(0~4Hz), 세타파(4~8Hz), 알파파(8~13Hz), 베타파(13~30Hz)로 구분하여 부른다. 일반적으로 알파파 영역의 주파수 진동의 발생기전에 대해서는 밝혀져 있지만[14], 다른 주파수 성분들은 대뇌피질을 구성하는 흥분성 또는 억제성 뉴런 시냅스의 활동에 의해 발생한다고 보고 있다. 복잡한 뉴런들의 상호작용에 의한 다른 주파수 성분의 발생 기전에 대한 이론적인 접근은 많이 행해지고 있으나[15], 아직 명확한 연구는 발표되지 않고 있다.

이렇듯 살아있는 인간을 대상으로 뉴런들의 상호작용에 의한 정신 활동을 뉴런 수준에서 직접적으로 측정할 수는 없기 때문에 뇌파 측정법 등을 이용하게 된다. 뇌파는 인간의 정신 두뇌 활동을 반영하고, 비침습적이면서 간편한 방법으로 연속적인 두뇌 활동을 측정할 수 있다는 장점으로 인해 두뇌의 활동을 연구하는 데 유용한 방법으로 사용되고 있다. 뇌파를 통해, 두뇌 활동을 간접적인 방법으로 연구하기 위해, 파워 스펙트럼, 엔트로피, 상관차원과 같은 선형 또는 비선형적인 특성을 분석하는 방법이 이용된다[4,14,11,12]. 선형적인 접근은 앞서 기술한 특정 주파수 범위의 진동 성분을 이용한 방

법이다. 한편, 통계적인 접근법인 SMNI(Statistical Mechanism of Neocortical Interaction) - Lagrangian EEG 모델 [6]에 의하면, 대뇌 신경질을 구성하는 뉴런들 사이의 비선형적인 상호 작용이 어떠한 형태로 새로운 주파수 성분을 발생시키는지에 대한 수학적 방정식을 기술 할 수 있다. 이는 뇌파가 단순히 선형적인 특성만이 아닌, 비선형적인 특성도 포함하고 있음을 알려 준다. 따라서 뇌파의 특성을 연구하는 데 있어, 여러 비선형 지수들이 응용되고 있다. 특히, 기하학적 특징을 보여주는 상관차원이나 동력학적인 특징을 보여주는 리아프노프 지수 등은 서로 다른 생리학적 상태를 구분하거나 카오스적인 뇌파의 복잡성(complexity) 연구에 자주 사용되고 있다[17].

비선형 통계방정식에 의해 발생한 신호의 파워 스펙트럼의 공간상 분포 함수는 $P(f) \propto f^{-a}$ 형태를 지니며, 자연현상에서 발생하는 무작위적으로 보이는 신호들 역시 $P(f) \propto f^{-a}$ 의 구조를 지닌다는 사실은 여러 분야에서 연구되어 왔다[10]. 여기서 $P(f)$ 는 f Hz에서의 파워 스펙트럼을 나타낸다. 이와 같은 분포 함수에서 분모 지수값 a 는 정보이론에서 정보량을 의미하는 변수이다[16]. 변수 a 값은 일반적으로 로그 스케일의 파워 스펙트럼상에서 직선의 기울기에 음의 값을 곱함으로써 쉽게 구할 수 있다. 뇌파 역시 이러한 특성에 따르는 신호이므로, 분포 함수에서 분모 지수값 a 에 해당하는 '1/f 스케일 지수'를 사용하여 뇌파의 복잡성을 연구할 수 있다. 1/f 스케일 지수는 상관차원이나 리아프노

프 지수와는 달리 위상 공간에 데이터를 재구성하는 과정을 거치지 않고, 전력 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density : PSD)로부터 구하는 지수이므로 좀 더 간편한 비선형 지수이다. 본 연구에서는 뇌파의 복잡도를 연구하는 접근 방법으로서 1/f 스케일 지수를 계산하였다.

Gray[9]는 생물학적인 기능의 측면에서 성격을 설명하기 위해 개인의 행동과 정서에 기초가 되는 두 가지 일반적인 동기체계로서 행동활성화체계(Behavioral Activation System : BAS)와 행동억제체계(Behavioral Inhibition System : BIS)를 제안하였다. BAS와 BIS는 개인의 행동과 정서에 기초가 되는 중요한 뇌의 동기체계로서, 해로운 것은 피하고 새로운 것은 탐색하는 기질 특성에 기초한다[9]. BAS는 유인가(incentive value)를 추구하여 어떤 과제를 수행시 성공할 경우에 따르는 보상에 민감한 반응을 보이고 열망, 기쁨 등과 같은 긍정적인 감성을 유발하는 데 중요한 역할을 한다. 즉, BAS는 접근하려는 행동을 활성화시키며, 긍정정서를 경험할 때 야기되는 촉진 자극에 의해 주로 활성화되고, 충동 성향에 대한 인과적 기저로서 작용한다. 반면에 BIS는 어떤 과제를 수행 시 실패할 경우의 처벌에 민감하여 부정적 결과가 초래될 가능성이 있는 행동을 억제하고 회피하거나 물러서게 만들며, 혐오나 슬픔 등과 같은 부정적인 감성을 유발하는 데 중요한 역할을 한다[5]. 즉, BIS는 행동 억제를 야기하는 혐오 자극에 의해 활성화되며 불안 성향에 대한 인과적 기저로 작용한다[5, 18].

Davidson의 연구 결과를 비롯하여 기존의 여러 연구들은[7,2], 전전두엽 뇌파의 비대칭적 활성화 특성을 이용한 전기 생리적 측면과 BAS/BIS 민감성과의 관계를 밝히고자 하였다. Sutton과 Davidson [21]은 전기 생리적 특성을 이용한 전전두엽의 비대칭성 연구를 통하여 행동억제와 행동활성화 개념을 반영시켜 고안된 자기-보고 평가 점수를 예측할 수 있음을 보고하였다. Tomarken 등[23]은 기저선 상태의 뇌파를 측정하고 전전두엽의 활성도를 평가하

기 위해 알파대역의 전력을 계산하여, 알파대역의 전력으로부터 구한 전전두엽의 비대칭적 활성화가 성격평가의 지표로 사용될 수 있음을 입증하였다.

그러나, BAS와 BIS에 관련한 기존 연구들은 주로 뇌파에 대한 선형적인 특성만 고려하였을 뿐만 아니라, 측정 대상을 한 연령대에 국한시켰다는 제한점을 가지고 있다. Tessitore 등[22]의 연구에서도 밝혀졌듯이, 연령에 따라 두뇌의 반응은 상이하다. 따라서, 본 연구에서는 BAS와 BIS의 경우에도 연령대에 따라 뇌파의 차이가 나타나는지 비선형 지수인 1/f 스케일 지수를 통해 밝히고자 하였다. 이를 위하여 19명의 청년층과 31명의 노인층을 BAS와 BIS의 민감성에 따라 분류하고 안정 상태의 뇌파를 측정하여 1/f 스케일 지수를 분석함으로써 두 연령층에 대한 BAS와 BIS의 민감성에 따른 뇌파의 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 뇌파측정

뇌파는 국제 10-20 전극법으로 배치한 Fp1과 Fp2 (좌측과 우측 전전두엽)에서 측정하였고(그림 1), 기준전극은 양쪽 귓볼로 하는 단극 유도법을 사용

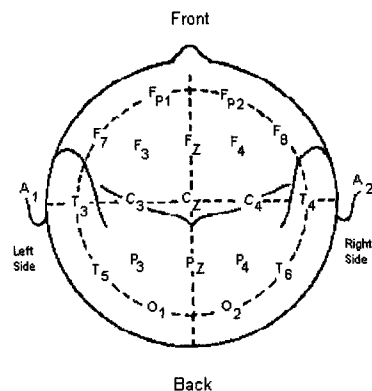


그림 1. 국제 10-20 전극법에 의한 전극배치

본 연구에서는 Fp1*과 Fp2** 채널이 사용되었음[* Fp1 : 국제 10-20 전극 배치에서 좌측 전전두엽 위치; ** Fp2 : 국제 10-20 전극 배치에서 우측 전전두엽 위치].

하였으며, 장비는 Biopac MP-100 system을 사용하였다. 샘플링 주파수는 512Hz이었다.

2.2 실험절차

피험자들은 우선 BAS와 BIS 민감성 평가를 실시하였는데, 이는 Carver 등[5]이 개발하고 김교현 등 [1]이 번안하여 만든 Likert식 5점 척도의 20개 문항(BAS 민감성 평가문항: 13개, BIS 민감성 평가문항 : 7개)을 토대로 이루어졌다. BAS/BIS민감성 평가 지수는 정규화를 위해 Z-변환시키고, [BAS(Z)-BIS(Z)] 값을 계산하였다. 이 값이 양의 값을 가지면, BAS 성향이 강한 것이고, 음의 값을 가지면, BIS성향이 강한 것을 의미한다.

심리 평가가 끝나면 피험자에게 실험소개 및 전극부착을 하고 난 후, 눈을 감고 안정된 상태에서 2분간 뇌파를 측정하였다(그림 2).

Step1	Step2	Step3
심리평가	측정준비	뇌파측정
진행 과정 →		
BAS/ BIS 민감성 평가	센서부착 적응시간	안정상태뇌파 120sec 측정

그림 2. 실험 프로토콜

2.3 피험자

실험은 평균 나이 25.31세의 청년층 19명과 평균 나이 73.80 세의 노인층 50명을 대상으로 하였다. 뇌파 분석은 50명의 노인층 중에서 여러 약물을 복용중인 19명을 제외한 31명을 대상으로 하였다. 청년층 19명과 선별된 노인층 31명 모두 약물을 복용 중이지 않았고 뇌질환 경험도 없었으며 우측 손잡이였다. 피험자들은 모두 본 실험에 대한 동의를 하여 동의서에 서명한 후, 자발적으로 참여하였다. 청년층과 노인층의 나이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(P = 0.000). 피험자 구성은 표 1과 같다.

표 1. 피험자 구성

	청년층	노인층
나이	25.32±3.21*	73.44±5.86*
인원수	19	31
여성 : 남성	11 : 8	14 : 17

* 평균 ± 표준편차

뇌파 분석을 위해서 청년층과 노인층 각각을 BAS 성향이 강한 집단과 BIS 성향이 강한 집단으로 구분하였다(표 2). 이 집단 구분은 정규화된 값인 BAS(Z)와 BIS(Z)를 기준으로 하였으며, [BAS(Z)-BIS(Z)] 값이 양(+)의 값이면 BAS 성향이 강한 집단으로, 음(-)의 값이면 BIS 성향이 강한 집단으로 분류하였다. 청년층과 노인층 모두 BAS 성향이 강한 집단과 BIS 성향이 강한 집단 사이에는 유의한 차이가 있었다.

표 2. 뇌파 분석에 사용된 피험자 구성

집단	성향	나이	인원수 (여성:남성)
청년층	BAS	25.46±2.82*	13 (8:5)
	BIS	25.00±4.24*	6 (3:3)
노인층	BAS	74.43±7.84*	14 (9:5)
	BIS	72.47±3.78*	17 (5:12)

* 평균 ± 표준편차

3. 분석 방법

혼돈데이터의 가장 뚜렷한 특징은 자기 유사성 (self-similarity)을 가지고 있는 것이다(그림 3). 뇌 전위와 같이 무작위적으로 보이는 신호의 파워 스펙트럼의 분포는 일반적으로 주파수 크기에 역비례하는 1/fa의 특성이 있다. 신호의 특성은 기울기 a 값에 반영되는데 일반적으로 a가 1 근처일 때 프랙탈 구조가 형성되기 쉽고 무작위적으로 보이는 대부분의 자연적으로 형성된 진동들이 이러한 분포를 하고 있다. a 값, 즉 1/f 스케일링 지수가 클수록 무질서도 또는 복잡도는 감소하고, 반면 확률분포에 관련된 정보의 양은 증가하는 것으로 해석 가능

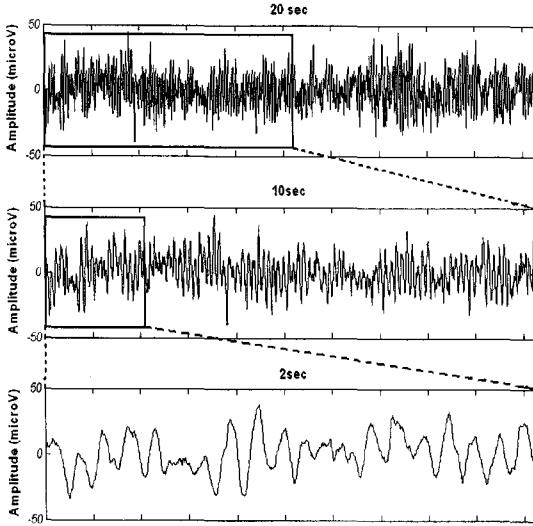


그림 3. 자기 유사적(self-similar)인 변동의 도식적 표현. 뇌파는 자기 유사적인 특징을 가진 시계열 데이터이므로, 시간적인 변동성은 서로 유사한 형태를 나타낸다.

하다(10,16,3).

뇌파로부터 1/f 스케일 지수를 다음과 같은 방법에 의해 구하였다. 먼저 뇌파 신호를 1차원 푸리에 변환하여 각 주파수에 대한 파워 스펙트럼을 구한다. 뇌파의 파워 스펙트럼(P)의 전체적인 형태는 주파수 값(f)에 따라 $P(f) = 1/fa$ 의 함수 모양을 지니는데, 1/f스케일 지수는 함수식에서 기울기 a에 해당하는 값이다. 스펙트럼에서 a값을 효율적으로 추정하기 위해 파워 스펙트럼을 자연로그 스케일로 바꾸어 표시하면 $\log_e(P) = -a \log_e(f)$ 이 되어 그림 4와 같이 음의 기울기 -a값을 지니는 직선의 형태를 얻게 된다. 일반적인 직선식 $y = -ax + b$ 에 최소오차 추정법을 적용하여 a값을 구하였다. 이때의 a값이 1/f 스케일 지수를 나타내며, 본 연구에서는 4~30Hz 영역의 기울기를 구하여, 1/f 스케일 지수로 사용하였다.

통계분석을 위하여, SPSS(ver. 12.0)의 t-test를 사용하여, 전전두엽에서의 1/f 스케일링 지수에 대한 청년층과 노인층 각각의 집단 내에서 BAS와 BIS 성향 간의 차이와, BAS와 BIS 성향 각각의 집단 내에서 청년층과 노인층 간의 차이에 대한 유의성을

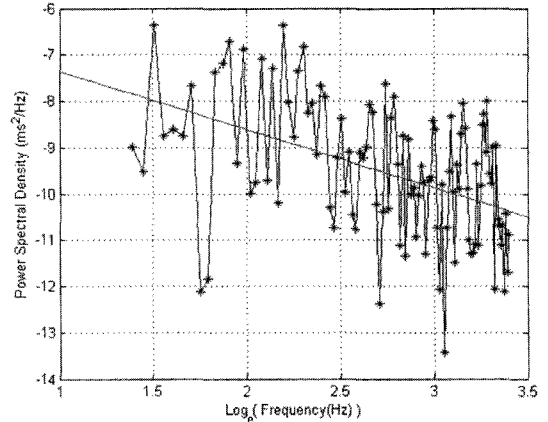


그림 4. 1/f 스케일링 지수 추정을 위한 주파수 대 파워 스펙트럼 그래프. 직선식 $y = -ax + b$ 에 최소오차 추정법을 적용하여 기울기에 해당하는 1/f스케일링 지수를 구한다(이 그래프의 경우 최소오차 추정시, $R^2 = 0.10$, $P < 0.0001$).

검증하였다. $P < 0.05$ 인 경우는 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로, $P < 0.10$ 인 경우는 경향성을 보이는 것으로 해석하였다.

4. 결과

청년층과 노인층 집단의 BAS와 BIS 성향에 따른 좌측(Fp1) 및 우측(Fp2) 전전두엽에서의 1/f 스케일 지수를 표 3에 나타내었다.

청년층 내에서 BAS와 BIS 두 성향 집단들을 비교한 결과와 노인층 내에서 BAS와 BIS 두 성향 집단들을 비교한 결과에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 각 성향에 대한 두 연령 집단 간의 비교에서는, BIS 성향에서는 양측 전전두엽 모두에서 유

표 3. 청년층과 노인층 집단에 따른 좌측(Fp1) 및 우측(Fp2) 전전두엽에서의 1/f 스케일 지수

집단	성향	Fp1*	Fp2*
청년층	BAS	1.83±0.44	1.83±0.43
	BIS	1.69±0.53	1.66±0.35
노인층	BAS	1.43±0.36	1.52±0.40
	BIS	1.41±0.55	1.33±0.56

*Fp1, Fp2: 국제 10-20 전극배치의 전전두엽 위치

의한 차이가 나타나지 않은 반면(그림 5), BAS 성향에서는 1/f 스케일 지수가 유의한 차이를 보였다(그림 6). 즉, 좌측 전전두엽(Fp1)에서는 청년층의 1/f 스케일 지수가 노인층의 1/f 스케일 지수보다 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였고($t = 2.54, P < 0.05$), 우측 전전두엽(Fp2)에서도 청년층이 노인층에 비해 높은 1/f 스케일 지수를 나타내는 경향성을 보였다($t = 1.92, P < 0.10$).

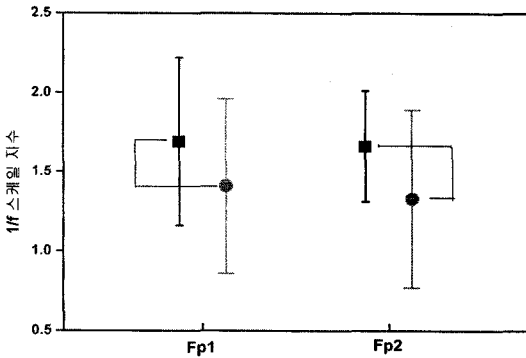


그림 5. BIS 성향이 높은 집단에서 청년층과 노인층에 따른 좌측(Fp1) 및 우측(Fp2) 전전두엽에서의 1/f 스케일 지수 (■는 청년층, ●는 노인층을 나타낸다).

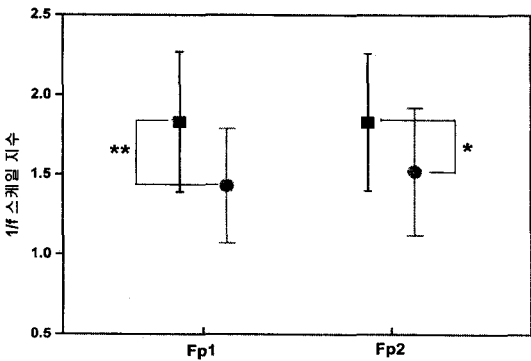


그림 6. BAS 성향이 높은 집단에서 청년층과 노인층에 따른 좌측(Fp1) 및 우측(Fp2) 전전두엽에서의 1/f 스케일 지수(■는 청년층, ●는 노인층을 나타낸다).

* $P < 0.10$, ** $P < 0.05$

5. 고찰

본 연구에서는 청년층과 노인층을 대상으로 안정상

태의 전전두엽 뇌파에서 1/f 스케일 지수를 구하여, BAS 성향과 BIS성향의 경우 뇌파 특성에 차이가 있는지를 조사하였다. 그 결과, BAS 성향에서 1/f 스케일 지수가 유의한 차이를 보였다. 즉, 좌측 전전두엽(Fp1)에서는 청년층의 1/f 스케일 지수가 노인층의 1/f 스케일 지수보다 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였고, 우측 전전두엽(Fp2)에서도 청년층이 노인층에 비해 높은 1/f 스케일 지수를 나타내는 경향을 보였다.

1/f 스케일 지수가 클수록 복잡도는 감소하고, 반면 확률분포에 관련된 정보의 양은 증가하는 것으로 해석 가능하다. 본 연구를 통해, 주관적 평가로 행동 활성화 체계가 강한 성향을 가진 사람으로 구분된 경우, 노인층은 청년층에 비해 양측 전전두엽의 복잡도가 높은 상태를 알 수 있다. 이 결과는 BAS 성향과 연령 사이의 연관성에 대한 가능성을 시사한다.

생체적 나이가 증가함에 따라 뇌파의 주파수 성분들은 변화하는 경향을 보인다[8]. Kikuchi 등[13]은 좌우 반구 간의 기능적 결합 정도(functional connectivity)를 살펴보기 위해 사용한 선형 coherence 분석을 통해, 자극이 없는 안정 상태에서 50대의 장년층은 20대의 청년층에 비해 낮은 기능적 결합 정도를 나타냄을 밝혔다. 비선형적인 접근인 복잡도와 관련된 연구를 살펴보면, 노인층은 안정 상태에서 복잡도가 높게 나타나고, 이는 대뇌 피질 영역들 사이에서 협응 정도가 감소함을 반영하는 결과라는 보고들이 있다[19,20].

결국, 연령에 따라 뇌파의 양상은 다르게 나타나며 특히, 노인층으로 접근함에 따라 복잡도는 증가하고 대뇌 피질 영역 사이의 결합 정도는 감소하는 특징을 나타내고 있다. 본 연구의 결과로서 노인층이 청년층에 비해 양측 전전두엽에서 낮은 1/f 스케일링 지수를 나타냄으로써 높은 복잡성을 보인 것은 앞서 언급한 이전의 연구 결과들과 일치하는 결과이다. 그러나 이전의 연구에서는 BAS와 BIS라는 인간의 동기체계와 서로 다른 연령층에 따른 뇌파

연구 결과를 결부시키지는 못하였다. 본 연구는 이러한 기존의 연구에서 보다 세분화하여 인간의 동기체계로서, 특히 행동 활성화체계가 높은 집단에서 노인층이 청년층에 비해 뇌파의 복잡성이 유의하게 높다는 결과를 비선형 지수를 통해 밝힌 첫 연구라는 중요성이 있다.

본 연구에서 BIS 성향의 경우, 양측 전전두엽 모두에서 노인층과 청년층에 대한 유의한 차이가 나타나지 않았는데, 이는 BAS/BIS 민감성 평가척도 문항이 BAS는 유인가를 추구하여 어떤 과제를 수행시 성공할 경우에 따르는 보상에 민감한 정도(접근성 : approach)를 평가한 반면에, BIS는 어떤 과제를 수행 시 실패할 경우의 처벌에 민감한 정도(억제성 : inhibition)를 평가한 이유로, 노인의 경우 태어난 성향은 비록 BAS형일지라도 육체적 사회적 노약화에 따라 주관적 평가에서 적극적 접근성 보다는 체념적 억제성 성향에 가깝게 반응하는 경향이 있었다. 이러한 원인으로, 본 연구에서 BIS로 분류된 노인들 중에는 실제로는 BAS형 성향이었던 사람들이 있었을 것으로 사료되며 이러한 문제점은 본 연구자들이 BAS/BIS 민감성 평가 과정에서 느끼게 되어서 일부 노인에게만 노약화에 따라 변질되지 않은 원래의 성향을 평가할 수 있었다. 즉 노약화에 따라 변질되어 표출될 수 있는 반응을 일관성 있게 보정(compensation)하지 못한 점이 본 연구의 제한점으로 작용하였다. 노인층의 BAS형과 BIS형을 명확히 분류할 수 없었던 관계로 노인층의 BAS형과 BIS형의 1/f 지수 값이 비슷하게 나타났을 뿐만 아니라, 특히 BIS형에서 노인층과 청년층에서 유의한 차이가 없도록 나타난 것으로 사료된다(표 3).

그럼에도 불구하고, 본 연구에서 BAS 성향으로 반응한 노인은 BAS 성향이 상대적으로 강하였기 때문에 BAS형에서 노인층과 청년층에 따른 1/f 지수(표 3)의 유의한 차이는 의미있는 결과라고 판단된다.

향후 BAS/BIS 민감성 평가척도는 노인에 있어서

타고난 원래의 성향을 평가할 수 있도록 보완이 되어야하고 보완된 평가척도를 사용하여, BIS 민감형에 대한 노인층과 청년층의 전전두엽 뇌파특성으로서의 1/f 스케일지수에 대한 연구가 추가적으로 요구된다.

참고문헌

- [1] 김교현, 김원식 (2001). 한국판 행동 활성화 체계 및 행동 억제 체계(BAS/BIS) 척도. 한국심리학회지: 건강, 6(2), 19-37.
- [2] 김원식, 장은혜, 이지혜, 이상태 (2005). 음향감성에 의한 전전두엽의 비대칭성과 심박동 변이도. 감성과학, 8(1), 47-54.
- [3] 최정미 (1997). 뇌전위의 물리적 모델링과 비선형 분석에 의한 뇌기능 연구. 카이스트 석사학위논문.
- [4] Cajochen, C., Foy, R., & Dijk, D. J. (1999). Frontal predominance of a relative increase in sleep delta and theta EEG activity after sleep loss in humans. *Sleep Research Online*, 2, 65-69.
- [5] Carver, C. S., & White, T. L. (1994). Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective response to impending reward and punishment: BIS/BAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67, 219-333.
- [6] Choi, J. M., Whang, M. C., Bae, B. H., Kim, S. Y., & Kim, C. J. (1997). SMNI-Lagrangian EEG model by statistical mechanics of neocortical interaction. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 16(2), 15-28.
- [7] Davidson, R. J. (2000). Affective style, psychology, and resilience: Brain Mechanism and Plasticity. *American Psychologist*, 55(11), 1193-1214.
- [8] Dustman, R. E., LaMarche, J. A., Cohn, N. B., Shearer, D. E., & Talone, J. M. (1985). Power spectral analysis and cortical coupling of EEG

- for young and old normal adults. *Neurobiol Aging*, 6(3), 193-198.
- [9] Gray, J. A. (1990). Brain systems that mediate both emotion and cognition. *Cognition and Emotion*, 4, 269-288.
- [10] Gruneis, F., Nakao, M., Mizutani, Y., Yamamoto, M., Meesmann, M., & Musha, T. (1993). Further study on 1/f fluctuations observed in central single neurons during REM sleep. *Biological Cybernetics*, 68, 193-198.
- [11] Jin, S. H., Jeong, J., Jeong, D. G., Kim, D. J., & Kim, S. Y. (2002). Nonlinear dynamics of the EEG separated by independent component analysis after sound and light stimulation. *Biological Cybernetics*, 86, 395-401.
- [12] Jin, S. H., Na, S. H., Kim, S. Y., Ham, B. J., Lee, D. H., Lee, J.H., & Lee, H. (2003). Hemispheric laterality and dimensional complexity in schizophrenia under the sound and light stimulation. *International Journal of Psychophysiology*, 49(1), 1-15.
- [13] Kikuchi, M., Wada, Y., Kochino, Y., Nanbu, Y., & Hashimoto, T. (2000). Effect of normal aging upon interhemispheric EEG coherence: analysis during rest and photic stimulation. *Clinical Electroencephalography*, 31(4), 170-174.
- [14] Niedermeyer, E., & Lopes da Silva, F. H. (1993). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*, 3rd ed., Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
- [15] Nunez, P. L. (1995). *Neocortical Dynamics and Human EEG Rhythms*, Oxford University Press, Inc.
- [16] Osborne, A. R., & Provenzale, A. (1989). Finite correlation dimension for stochastic systems with power-law spectra. *Physica D*, 35, 357-381.
- [17] Pereda, E., Gamundi, A., Nicolau, M.C., Rial, R., & Gonzalez, J. (1999). Interhemispheric differences in awake and sleep human EEG: a comparison between non-linear and spectral measures. *Neuroscience Letters*, 37-40.
- [18] Pickering, A. D., & Gray, J. A. (1999). *The neuroscience of personality*. New York, The Guilford Press.
- [19] Pierce, T. W., Kelly, S. P., Watson, T. D., Replogle, D., King, J. S., & Pribram, K. H. (2000). Age differences in dynamic measures of EEG. *Brain Topography*, 13(2), 127-134.
- [20] Pierce, T. W., Watson, T. D., King, J. S., Kelly, S. P. & Pribram, K. H. (2003). Age differences in factor analysis of EEG. *Brain Topography*, 16(1), 19-27.
- [21] Sutton, S. K., & Davidson, R. J. (1997). Prefrontal brain asymmetry: a biological substrate of the behavioral approach and inhibition systems. *Psychological Science*, 8(3), 204-210.
- [22] Tessitore, A., Hariri, A. R., Fera, F., Smith, W. G., Das, S., Weinberger, D. R., & Mattay, V. S. (2005). Functional changes in the activity of brain regions underlying emotion processing in the elderly. *Psychiatry Research-Neuroimaging*, 139, 9-18.
- [23] Tomarken, A. J., Davidson, R. J., Wheel, R. E., & Kinney, L. (1992). Psychometric properties of resting anterior EEG asymmetry: temporal stability and internal consistency. *Psychophysiology*, 29, 576-592.

원고접수 : 2005. 11. 20

수정접수 : 2005. 12. 10

게재확정 : 2005. 12. 11