

정신 감정 시 메스암페타민 중독 환자의 정량화 뇌파 비교 분석: 환자-대조군 연구

황성연¹ · 최종혁¹ · 류미경¹
김선범² · 김기성³ · 안진형⁴

¹국립법무병원 정신건강의학과

²국립법무병원 사회사업실

³카이스트 바이오 및 뇌공학과

⁴안중백병원 정신건강의학과

Received: October 20, 2017

Revised: November 9, 2017

Accepted: November 22, 2017

Correspondence to

Sungyeon Hwang
Department of Psychiatry,
The National Forensic Psychiatric
Hospital, 253 Banpocho-gyo-gil,
Banpo-myeon, Gongju 32621, Korea
Tel: +82-41-840-5459
Fax: +82-41-840-5498
E-mail: mysy33@hanmail.net

Quantitative Electroencephalogram Abnormalities in Methamphetamine Dependence in Forensic Evaluation: Case Control Study

Sungyeon Hwang¹, Jonghyuk Choi¹, Mikyung Lyu¹, Sunbum Kim², Kiseong Kim³,
Jinhyeong Ahn⁴

¹Department of Psychiatry, The National Forensic Psychiatric Hospital, Gongju, Korea,

²Department of Social Welfare, The National Forensic Psychiatric Hospital, Gongju, Korea,

³Department of Bio and Brain Engineering, KAIST, Daejeon, Korea, ⁴Department of Psychiatry,
The Anjung Paik Hospital, Pyeongtaek, Korea

In this study, we analyzed the quantitative electroencephalograms (EEGs) of forty-eight subjects (18 with methamphetamine dependence and 30 non-methamphetamine users as controls). Immediately following data collection, all personally identifying information was replaced with random numbers to prevent bias and protect privacy. Statistical analysis was performed using SPSS version 20.0 for MS Windows. To investigate the general characteristics of the demographic background of the study subjects, frequency and technical analyses were conducted. Mann-Whitney U tests were performed to determine the difference in quantitative EEGs between methamphetamine users and non-methamphetamine users. Methamphetamine users demonstrated quantitative EEG abnormalities that were consistent with generalized encephalopathy.

Key Words: Methamphetamine; Addiction; Forensic medicine;
Quantitative electroencephalograms

서 론

메스암페타민은 전 세계적으로 많이 사용하는 마약이며 증가하는 추세에 있다. 우리나라에서도 가장 많이 사용되고 밀수뿐만 아니라 일반인에 의해서 합성을 하여 사용하는 경우도 늘어나고 있다. 2014년 관세청에서 마약 밀매를 308건, 71.7 kg을 적발하였다고 발표를 하였다. 이 중 메스암페타민이 50.8 kg으로 가장 많았으며 이는 국민 168만 명이 동시에 투여할 수 있는 양이라고 한다.

메스암페타민은 신경 말단에서 도파민의 유리 증가 및 재흡수 차단으로 도파민의 농도를 증가시키는 기능을 하며 신경인지 기능의 손상을 일으킨다[1,2]. 이를 뒷받침하는 연구들이 활발하게 이루어지고 있으며 뇌영상 및 뇌파를 통해 이루어지고 있었다[3,4]. 정량화 뇌파를 통한 연구는 1970년대부터 도입되어 연구되기 시작하였으며 기존 뇌파분석을 숙련된 전문가의 판독에 의존하였으나 정량화 분석의 경우 뇌파의 Fourier 변환을 통해 수치화를 하여 연구를 할 수 있는 장점이 있다. 최근 다양한 질병군에 대한 quantitative

electroencephalograms (qEEG)의 연구가 있으나 메스암페타민에 대한 연구는 아직 충분치 않은 것이 사실이다[5]. 이 연구에서 메스암페타민 의존 환자군의 서파(slow wave)가 증가되었고 낮은 실행 기능 검사 성적 등 신경인지 기능의 손상과 연관된다고 보고를 하였으며 바이오피드백의 훈련으로 이런 변화가 호전되는 것을 보고하였다[6].

주의력결핍 과잉행동장애 등에 대한 연구에서, 정량화 뇌파상 각 뇌파 간의 비 또한 주의 집중을 나타내는 지표로서 유의성이 있다고 밝혀진 바 있다[7]. 이전 연구에서, 알파 활성화는 각성을 반영하고, 세타 및 베타 활성화는 자극 처리로 인한 작업 또는 상황 특유의 활성화 변화를 반영한다고 주장되어왔다[8]. 또한 작업에 의해 유발된 세타 출력의 증가와 세타와 감마 진동 사이의 위상 관계가 메모리 프로세스, 특히 일회성 장기 메모리 및 작업 메모리에 중요하다는 것이 알려졌다. 안정 상태 동안 낮은 수준의 세타 활동과 높은 알파 활동이 작업 수행 중에 증가된 세타 능력을 예측하고 인지 능력

을 향상시키는 것으로 나타났다[9]. 또한 알파-세타비는 파킨슨병과 치매에서 인지 저하를 반영한다는 보고가 있었다[10,11]. 이런 지표들을 통하여 바이오피드백의 연구 및 치료에 이용되고 있다.

기존 메스암페타민 연구는 표본수가 적다는 한계가 있었으며 이는 메스암페타민 의존 환자가 사법처리 대상이 되는 관계로 연구 대상자 모집에 한계가 있으며 이는 관련 연구의 한계로 보인다.

본 연구는 한국의 메스암페타민 의존 환자가 기존 연구에서 보이는 특성이 있는지와 다른 qEEG 상의 변화는 없는지에 대한 연구를 하였다. 기존 연구에서 보이는 특성 외에 다른 차이가 있을 것이라는 가정 하에 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

연구 대상자는 치료감호법 제2장 제4조 제2항에 따라 감정진단을 위하여 국립 법무병원에 입소하여 메스암페타민 의존을 진단받은 환자와 정상인 남자 환자들이다. 이중 감정진단 입소시기가 2014년 1월 1일부터 2015년 12월 31일까지의 기간인 인원으로서, 정신 감정서상 정신지연, 정신병적 장애를 가지지 않은 메스암페타민 의존 환자 18명을 대상으로 하였다. 또한 동일 기간에 감정 입소하여 정신과적 진단이 나오지 않은 사람들 30명을 대조군으로 하였다. 연구에 사용되는 대상군과 대조군의 뇌파자료는 이미 감정 입소 시 기본 검사에 포함되어 측정된 뇌파 자료의 파형 결과를 가지고 분석하였다. 연구 대상군의 각 개인의 정보는 법적 보호 아래 비밀이 유지된다. 개인정보(privacy) 보호를 위하여 피험자식별정보 코드화하였다.

Table 1. Demographic characteristics of the study samples (n=48)

Characteristic		Value
Occupation	No	19 (39.6)
	Yes	29 (60.4)
Marriage	Unmarried	29 (60.4)
	Married	12 (25.0)
	Other (divorced, remarried)	7 (14.6)
Past crime history	No	10 (20.8)
	Yes	38 (79.2)
Age (yr)		41.69±10.48
Education (yr)		10.65±4.08
Intelligence quotient		91.38±15.28

Values are presented as number (%) or mean±SD.

Table 2. Absolute theta power profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
F3	Normal (30)	3.91±2.54	28.40	153.00	-2.492	0.013 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	2.54±1.01	18.00			
F7	Normal (30)	7.49±4.19	27.83	170.00	-2.130	0.033 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	5.03±2.32	18.94			
T3	Normal (30)	5.95±6.08	27.70	174.00	-2.044	0.041 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	3.34±1.43	19.17			
P4	Normal (30)	3.95±5.23	28.03	164.00	-2.257	0.024 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.93±1.09	18.61			
FZ	Normal (30)	26.51±112.58	28.17	160.00	-2.343	0.019 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	3.48±1.47	18.39			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

2. 연구 방법

연구 대상자의 정신감정서를 통하여 인구 통계학적 특성인 직업, 학력, 결혼상태 및 나이, 지능지수를 조사하고, 감정 당시 촬영한 뇌전도 자료의 파형 분석을 하였다. 시계열 뇌전도 데이터를 확보하기 위하여 32채널 뇌파계 EEG-9200K (Nihon Kohden, Tokyo, Japan)를 활용하였다. 뇌전도 측정기에 있어서 전극의 위치는 국제 10-20 시스템을[12] 따랐다. 좌우반구의 Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, C3, C4, P3, P4, O1, O2, Fz, Cz, Pz 등의 19개 위치를 고려하여 선택하였고 안정 시 눈감은 상태에서 뇌전도 신호를 측정하였다. 선택된 전극위치에서 측정된 뇌전도 아날로그 신호는 샘플링주파수 250 Hz로 표본화되고 16비트의 디지털 신호로 변환되었고, USB 시리얼 통신으로 개인용 컴퓨터에 전송되었다. 전송된 디지털 뇌전도 신호는 시계열 생체신호 데이터 전문 분석 프로그램인 BioScan (BioBrain Inc., Daejeon, Korea)을 이용하여 각 10 epoch의 자료에 대하여 관심 주파수 대역을 필터링하고, 푸리에 변환을 수행하여 각 주파수 영역별로 뇌파 리듬 데이터를 작성하였다. 뇌파 리듬을 정량적

인 양을 반영하는 스펙트럼 수치를 산출하였다. 뇌파 분석은 파장별로 정의되어 있는 지표들을[13] 분석프로그램을 활용하여 일괄 분석하였다.

3. 통계 분석

통계 분석은 본원에서 MS Windows에서 SPSS version 20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였다. 연구 대상자의 사회 인구학적 배경의 일반적 특성을 알아보기 위하여 빈도분석, 기술분석을 하였으며, 메스암페타민 사용자와 비메스암페타민 사용자의 뇌파의 차이를 알아보기 위하여 비모수 검정인 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다.

결 과

연구 대상자들의 인구사회학적 양상은 다음과 같다. 전체 조사대상자 중 직업이 있는 경우가 없는 경우보다 많았으며, 결혼 유무에서는 미혼자가 많았다. 과거 범죄 유무에서는 범죄경력이 있는 대상자가 많았다. 나이는 평균 41.69세

Table 3. Absolute alpha power profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	20.83±13.71	27.77	172.00	-2.087	0.037 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	12.81±11.53	19.06			
FP2	Normal (30)	19.28±13.02	27.63	176.00	-2.002	0.045 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	11.48±7.37	19.28			
T3	Normal (30)	12.05±8.62	28.67	145.00	-2.662	0.008 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	7.08±4.84	17.56			
T5	Normal (30)	33.00±23.29	28.77	142.00	-2.726	0.006 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	14.98±10.59	17.39			
T6	Normal (30)	37.62±29.78	28.17	160.00	-2.343	0.019 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	18.71±15.34	18.39			
P3	Normal (30)	16.25±13.79	28.17	160.00	-2.343	0.019 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	7.31±5.95	18.39			
P4	Normal (30)	21.58±20.24	28.53	149.00	-2.577	0.010 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	8.59±8.21	17.78			
O1	Normal (30)	80.37±77.19	29.00	135.00	-2.875	0.004 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	28.76±23.05	17.00			
O2	Normal (30)	90.75±88.32	28.80	141.00	-2.747	0.006 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	31.71±24.43	17.33			
FZ	Normal (30)	11.99±14.17	27.97	166.00	-2.215	0.027 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	4.99±3.75	18.72			
PZ	Normal (30)	15.13±15.53	27.93	167.00	-2.193	0.028 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	7.14±7.14	18.78			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

Table 4. Absolute fast alpha power profile of methamphetamine dependence and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	17.01±12.06	28.13	161.00	-2.321	0.020 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	9.49±8.75	18.44			
FP2	Normal (30)	15.65±11.33	27.97	166.00	-2.215	0.027 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	8.50±5.65	18.72			
F4	Normal (30)	11.67±30.08	27.60	177.00	-1.981	0.048 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	3.22±2.47	19.33			
T3	Normal (30)	10.13±7.99	28.63	146.00	-2.641	0.008 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	5.28±3.92	17.61			
T4	Normal (30)	29.70±21.83	27.97	166.00	-2.215	0.027 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	12.39±9.21	18.72			
T5	Normal (30)	29.70±21.83	29.00	135.00	-2.875	0.004 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	12.39±9.21	17.00			
C3	Normal (30)	2.47±2.26	27.90	168.00	-2.172	0.030 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.19±0.90	18.83			
C4	Normal (30)	2.45±2.24	27.90	168.00	-2.172	0.030 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.18±0.89	18.83			
P3	Normal (30)	14.16±12.77	28.43	152.00	-2.513	0.012 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	5.75±5.11	17.94			
P4	Normal (30)	18.87±18.66	28.77	142.00	-2.726	0.006 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	6.90±7.54	17.39			
O1	Normal (30)	73.20±73.03	28.93	137.00	-2.832	0.005 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	24.87±21.31	17.11			
O2	Normal (30)	82.83±84.72	28.77	142.00	-2.726	0.006 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	26.86±21.89	17.39			
FZ	Normal (30)	9.81±10.77	27.97	166.00	-2.215	0.027 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	3.98±3.18	18.72			
PZ	Normal (30)	13.28±13.60	28.10	162.00	-2.300	0.021 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	6.00±6.73	18.50			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

Table 5. Absolute high beta power profile of methamphetamine dependence and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
F3	Normal (30)	1.75±1.71	20.93	163.00	-2.279	0.023 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	2.82±2.18	30.44			
F4	Normal (30)	2.22±3.66	20.77	158.00	-2.385	0.017 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	3.63±3.46	30.72			
F8	Normal (30)	4.10±5.81	20.93	163.00	-2.279	0.023 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	5.00±3.49	30.44			
C3	Normal (30)	0.92±0.87	21.33	175.00	-2.023	0.043 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.23±0.84	29.78			
C4	Normal (30)	0.92±0.87	21.30	174.00	-2.044	0.041 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.23±0.81	29.83			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

Table 6. Relative theta power profile of methamphetamine dependence and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
F4	Normal (30)	0.28±0.13	28.10	162.00	-2.300	0.021 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.20±0.09	18.50			
F7	Normal (30)	0.28±0.11	27.77	172.00	-2.087	0.037 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.22±0.09	19.06			
F8	Normal (30)	0.28±0.11	28.10	162.00	-2.300	0.021 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.21±0.09	18.50			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.**Table 7.** Relative alpha power profile of methamphetamine dependence and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.33±0.13	27.77	172.00	-2.087	0.037 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.25±0.12	19.06			
F3	Normal (30)	0.41±0.15	28.70	144.00	-2.683	0.007 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.28±0.14	17.50			
F4	Normal (30)	0.39±0.14	28.53	149.00	-2.577	0.010 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.28±0.13	17.78			
F7	Normal (30)	0.37±0.14	27.70	174.00	-2.044	0.041 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.28±0.13	19.17			
F8	Normal (30)	0.34±0.13	27.70	174.00	-2.044	0.041 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.26±0.13	19.17			
T5	Normal (30)	0.63±0.15	29.47	121.00	-3.173	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.46±0.16	16.22			
T6	Normal (30)	0.64±0.15	28.43	152.00	-2.513	0.012 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.50±0.18	17.94			
C3	Normal (30)	0.40±0.15	28.57	148.00	-2.598	0.009 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.28±0.12	17.72			
C4	Normal (30)	0.40±0.15	28.50	150.00	-2.556	0.011 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.28±0.12	17.83			
P3	Normal (30)	0.60±0.14	29.43	122.00	-3.152	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.42±0.18	16.28			
P4	Normal (30)	0.63±0.15	29.43	122.00	-3.152	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.45±0.19	16.28			
O1	Normal (30)	0.73±0.11	29.70	114.00	-3.322	0.001 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.55±0.20	15.83			
O2	Normal (30)	0.74±0.09	29.60	117.00	-3.258	0.001 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.56±0.20	16.00			
FZ	Normal (30)	0.41±0.16	27.63	176.00	-2.002	0.045 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.31±0.14	19.28			
CZ	Normal (30)	0.42±0.16	28.37	154.00	-2.470	0.013 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.30±0.13	18.06			
PZ	Normal (30)	0.60±0.15	29.40	123.00	-3.130	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.42±0.21	16.33			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

(SD=10.478)로 나타났으며, 학력은 평균 10.65년의 교육 기간이었다(SD=4.076). 또한, 지능은 평균 91.38(SD=15.283)으로 나타났다(Table 1).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 절대 세타파워(absolute theta power spectrum, AT [4-8 Hz])의 차이는 F3 ($Z=-2.492$, $P=0.013$), F7 ($Z=-2.130$, $P=0.033$), T3 ($Z=-2.044$, $P=0.041$), P4 ($Z=-2.257$, $P=0.024$), FZ ($Z=-2.343$,

$P=0.019$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 2).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 절대 알파파워(absolute alpha power spectrum, AA [8-13 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-2.087$, $P=0.037$), FP2 ($Z=-2.002$, $P=0.045$), T3 ($Z=-2.662$, $P=0.008$), T5 ($Z=-2.726$, $P=0.006$), T6 ($Z=-2.343$, $P=0.019$), P3 ($Z=-2.343$, $P=0.019$), P4 ($Z=-$

Table 8. Relative beta power profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.19±0.06	19.00	105.00	-3.514	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.29±0.11	33.67			
FP2	Normal (30)	0.20±0.05	22.17	88.00	-3.876	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.30±0.10	28.39			
F3	Normal (30)	0.22±0.06	17.97	74.00	-4.174	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.37±0.12	35.39			
F4	Normal (30)	0.22±0.07	17.27	53.00	-4.621	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.37±0.10	36.56			
F7	Normal (30)	0.22±0.06	18.70	96.00	-3.705	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.34±0.12	34.17			
F8	Normal (30)	0.24±0.06	18.97	104.00	-3.535	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.35±0.11	33.72			
T3	Normal (30)	0.25±0.06	18.73	97.00	-3.684	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.34±0.09	34.11			
T4	Normal (30)	0.15±0.06	19.50	120.00	-3.194	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.27±0.10	32.83			
T5	Normal (30)	0.15±0.06	17.87	71.00	-4.238	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.27±0.10	35.56			
C3	Normal (30)	0.28±0.07	18.00	75.00	-4.153	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.41±0.09	35.33			
C4	Normal (30)	0.28±0.07	17.97	74.00	-4.174	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.41±0.09	35.39			
P3	Normal (30)	0.18±0.07	18.77	98.00	-3.663	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.33±0.14	34.06			
P4	Normal (30)	0.17±0.08	18.47	89.00	-3.855	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.33±0.14	34.56			
O1	Normal (30)	0.12±0.05	18.77	98.00	-3.663	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.25±0.14	34.06			
O2	Normal (30)	0.11±0.05	18.83	100.00	-3.620	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.24±0.15	33.94			
FZ	Normal (30)	0.19±0.06	18.03	76.00	-4.131	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.31±0.11	35.28			
PZ	Normal (30)	0.18±0.07	18.87	101.00	-3.599	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.33±0.15	33.89			

^{a)}P<0.01.

Table 9. Relative gamma power profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
F4	Normal (30)	0.08±0.08	21.00	165.00	-2.236	0.025 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.13±0.09	30.33			
T5	Normal (30)	0.04±0.06	20.83	160.00	-2.343	0.019 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.06±0.04	30.61			
P3	Normal (30)	0.05±0.06	21.33	175.00	-2.023	0.043 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.07±0.06	29.78			
O1	Normal (30)	0.02±0.03	20.77	158.00	-2.385	0.017 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.04±0.05	30.72			

^{a)}P<0.05.**Table 10.** Relative slow alpha power profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.26±0.13	28.20	159.00	-2.364	0.018 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.19±0.11	18.33			
F3	Normal (30)	0.33±0.16	28.67	145.00	-2.662	0.008 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.22±0.13	17.56			
F4	Normal (30)	0.32±0.14	28.37	154.00	-2.470	0.013 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.21±0.12	18.06			
F7	Normal (30)	0.30±0.14	27.97	166.00	-2.215	0.027 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.21±0.12	18.72			
F8	Normal (30)	0.27±0.12	27.77	172.00	-2.087	0.037 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.20±0.12	19.06			
T5	Normal (30)	0.55±0.16	29.37	124.00	-3.109	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.38±0.17	16.39			
T6	Normal (30)	0.55±0.16	28.20	159.00	-2.364	0.018 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.42±0.18	18.33			
C3	Normal (30)	0.30±0.13	29.03	134.00	-2.896	0.004 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.18±0.09	16.94			
C4	Normal (30)	0.30±0.13	29.10	132.00	-2.939	0.003 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.18±0.09	16.83			
P3	Normal (30)	0.50±0.16	29.23	128.00	-3.024	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.33±0.17	16.61			
P4	Normal (30)	0.52±0.18	29.10	132.00	-2.939	0.003 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.35±0.19	16.83			
O1	Normal (30)	0.64±0.15	29.33	125.00	-5.088	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.45±0.21	16.44			
O2	Normal (30)	0.64±0.16	28.93	137.00	-2.832	0.005 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.47±0.21	17.11			
CZ	Normal (30)	0.35±0.17	28.07	163.00	-2.279	0.023 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.23±0.11	18.56			
PZ	Normal (30)	0.51±0.17	28.80	141.00	-2.747	0.006 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.34±0.21	17.33			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

-2.577, $P=0.010$), O1 ($Z=-2.875$, $P=0.004$), O2 ($Z=-2.747$, $P=0.006$), FZ ($Z=-2.215$, $P=0.027$), PZ ($Z=-2.193$, $P=0.028$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 3).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 absolute slow alpha power spectrum (ASA [8-11 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-2.321$, $P=0.020$), FP2 ($Z=-2.215$, $P=0.027$), F4 ($Z=-1.981$, $P=0.048$), T3 ($Z=-2.641$, $P=0.008$), T4 ($Z=-2.215$, $P=0.027$), T5 ($Z=-2.875$, $P=0.004$), C3 ($Z=-2.172$, $P=0.030$), C4 ($Z=-2.172$, $P=0.030$), P3 ($Z=-2.513$, $P=0.012$), P4 ($Z=-2.726$, $P=0.006$), O1 ($Z=-2.832$, $P=0.005$), O2 ($Z=-2.726$, $P=0.006$), FZ ($Z=-2.215$, $P=0.027$), PZ ($Z=-2.300$, $P=0.021$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 4).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 absolute high beta power spectrum (AHB [20-30 Hz])의 차이는 F3 ($Z=-2.279$, $P=0.023$), F4 ($Z=-2.385$, $P=0.017$), F8 ($Z=-2.279$, $P=0.023$), C3 ($Z=-2.023$, $P=0.043$), C4 ($Z=-2.044$, $P=0.041$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 5).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 상대베타파워

(relative theta power spectrum, RT [4-8 Hz]/[4-50 Hz])의 차이는 F4 ($Z=-2.300$, $P=0.021$), F7 ($Z=-2.087$, $P=0.037$), F8 ($Z=-2.300$, $P=0.021$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 6).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 상대알파파워 (relative alpha power spectrum, RA [8-13 Hz]/[4-50 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-2.087$, $P=0.037$), F3 ($Z=-2.683$, $P=0.007$), F4 ($Z=-2.577$, $P=0.010$), F7 ($Z=-2.044$, $P=0.041$), F8 ($Z=-2.044$, $P=0.041$), T5 ($Z=-3.173$, $P=0.002$), T6 ($Z=-2.513$, $P=0.012$), C3 ($Z=-2.598$, $P=0.009$), C4 ($Z=-2.556$, $P=0.011$), P3 ($Z=-3.152$, $P=0.002$), P4 ($Z=-3.152$, $P=0.002$), O1 ($Z=-3.322$, $P=0.001$), O2 ($Z=-3.258$, $P=0.001$), FZ ($Z=-2.002$, $P=0.045$), CZ ($Z=-2.470$, $P=0.013$), PZ ($Z=-3.130$, $P=0.002$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 7).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 상대베타파워 (relative beta power spectrum, RB [13-30 Hz]/[4-50 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-3.514$, $P=0.000$), FP2 ($Z=-3.876$, $P=0.000$), F3 ($Z=-4.174$, $P=0.000$), F4 ($Z=-4.621$, $P=0.000$), F7 ($Z=-3.705$, $P=0.000$), F8 ($Z=-3.535$, $P=0.000$), T3 ($Z=-3.684$, $P=0.000$), T4 ($Z=-3.194$, $P=0.001$), C3 ($Z=-$

Table 11. Relative low beta power profile of methamphetamine dependence and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
F4	Normal (30)	0.06±0.03	21.23	172.00	-2.087	0.037 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.07±0.03	29.94			
F7	Normal (30)	0.05±0.02	21.23	172.00	-2.087	0.037 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.08±0.06	29.94			
T4	Normal (30)	0.05±0.03	21.07	167.00	-2.193	0.028 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.08±0.05	30.22			
T5	Normal (30)	0.05±0.03	20.27	143.00	-2.705	0.007 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.08±0.05	31.56			
T6	Normal (30)	0.05±0.03	20.63	154.00	-2.470	0.013 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.08±0.06	30.94			
P3	Normal (30)	0.06±0.04	20.43	148.00	-2.598	0.009 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.09±0.05	31.28			
P4	Normal (30)	0.06±0.05	20.43	148.00	-2.598	0.009 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.09±0.05	31.28			
O1	Normal (30)	0.04±0.03	19.73	127.00	-3.045	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.08±0.07	32.44			
O2	Normal (30)	0.05±0.04	19.67	125.00	-3.088	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.08±0.07	32.56			
PZ	Normal (30)	0.05±0.04	21.10	168.00	-2.172	0.030 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.08±0.05	30.17			

^{a)} $P<0.05$; ^{b)} $P<0.01$.

-4.153, $P=0.000$), C4 ($Z=-4.174$, $P=0.000$), P3 ($Z=-3.663$, $P=0.000$), P4 ($Z=-3.855$, $P=0.000$), O1 ($Z=-3.663$, $P=0.000$), O2 ($Z=-3.620$, $P=0.000$), FZ ($Z=-4.131$,

$P=0.000$), PZ ($Z=-3.599$, $P=0.000$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 8).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 상대 감파워

Table 12. Relative mid beta power profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean \pm SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.07 \pm 0.03	20.50	150.00	-2.556	0.011 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.10 \pm 0.06	31.17			
FP2	Normal (30)	0.07 \pm 0.03	20.07	137.00	-2.832	0.005 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.10 \pm 0.05	31.89			
F3	Normal (30)	0.08 \pm 0.03	20.10	138.00	-2.811	0.005 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.12 \pm 0.05	31.83			
F4	Normal (30)	0.08 \pm 0.03	19.63	124.00	-3.109	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.12 \pm 0.05	32.61			
F7	Normal (30)	0.08 \pm 0.03	20.70	156.00	-2.428	0.015 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.12 \pm 0.06	30.83			
F8	Normal (30)	0.09 \pm 0.04	20.87	161.00	-2.321	0.020 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.12 \pm 0.05	30.56			
T3	Normal (30)	0.09 \pm 0.03	20.10	138.00	-2.811	0.005 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.12 \pm 0.05	31.83			
T4	Normal (30)	0.06 \pm 0.03	20.47	149.00	-2.577	0.010 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.11 \pm 0.04	31.22			
T5	Normal (30)	0.06 \pm 0.03	18.60	93.00	-3.769	0.000 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.11 \pm 0.04	34.33			
T6	Normal (30)	0.06 \pm 0.03	19.10	108.00	-3.450	0.001 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.10 \pm 0.05	33.50			
C3	Normal (30)	0.10 \pm 0.04	20.43	148.00	-2.598	0.009 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.14 \pm 0.05	31.28			
C4	Normal (30)	0.10 \pm 0.04	20.03	136.00	-2.854	0.004 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.14 \pm 0.05	31.94			
P3	Normal (30)	0.08 \pm 0.04	19.83	130.00	-2.981	0.003 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.13 \pm 0.07	32.28			
P4	Normal (30)	0.07 \pm 0.04	19.70	126.00	-3.067	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.12 \pm 0.07	32.50			
O1	Normal (30)	0.05 \pm 0.03	19.43	118.00	-3.237	0.001 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.10 \pm 0.05	32.94			
O2	Normal (30)	0.05 \pm 0.02	19.27	113.00	-3.343	0.001 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.09 \pm 0.05	33.22			
FZ	Normal (30)	0.07 \pm 0.03	20.27	143.00	-2.705	0.007 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.11 \pm 0.05	28.56			
CZ	Normal (30)	0.08 \pm 0.02	20.37	146.00	-2.641	0.008 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.11 \pm 0.06	31.39			
PZ	Normal (30)	0.07 \pm 0.04	20.40	147.00	-2.619	0.009 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.13 \pm 0.08	31.33			

^{a)} $P<0.05$; ^{b)} $P<0.01$.

(relative gamma power spectrum, RG [30–50 Hz]/[4–50 Hz])의 차이는 F4 ($Z=-2.236$, $P=0.025$), T5 ($Z=-2.343$, $P=0.019$), P3 ($Z=-2.023$, $P=0.043$), O1 ($Z=-2.385$, $P=0.017$)이 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 9).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 relative slow alpha power spectrum (RSA [8–11 Hz]/[4–50 Hz])의 차

이는 FP1 ($Z=-2.364$, $P=0.018$), F3 ($Z=-2.662$, $P=0.008$), F4 ($Z=-2.470$, $P=0.013$), F7 ($Z=-2.215$, $P=0.027$), F8 ($Z=-2.087$, $P=0.037$), T5 ($Z=-3.109$, $P=0.002$), T6 ($Z=-2.364$, $P=0.018$), C3 ($Z=-2.896$, $P=0.004$), C4 ($Z=-2.939$, $P=0.003$), P3 ($Z=-3.024$, $P=0.002$), P4 ($Z=-2.939$, $P=0.003$), O1 ($Z=-5.088$, $P=0.002$), O2 ($Z=-2.832$, $P=0.005$), CZ ($Z=-2.279$, $P=0.023$), PZ ($Z=-2.747$,

Table 13. Relative high beta power profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.08±0.03	18.57	92.00	-3.791	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.14±0.05	34.39			
FP2	Normal (30)	0.09±0.03	18.37	86.00	-3.918	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.15±0.06	34.72			
F3	Normal (30)	0.10±0.04	18.57	92.00	-3.791	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.20±0.09	34.39			
F4	Normal (30)	0.10±0.05	17.63	64.00	-4.387	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.20±0.08	35.94			
F7	Normal (30)	0.10±0.04	18.83	100.00	-3.620	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.17±0.08	33.94			
F8	Normal (30)	0.11±0.04	19.13	109.00	-3.429	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.17±0.07	33.44			
T3	Normal (30)	0.12±0.05	20.13	139.00	-2.811	0.005 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.15±0.06	31.78			
T4	Normal (30)	0.06±0.04	21.10	168.00	-2.172	0.030 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.11±0.06	30.17			
T6	Normal (30)	0.06±0.05	19.70	126.00	-3.067	0.002 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.11±0.08	32.50			
C3	Normal (30)	0.12±0.05	18.90	102.00	-3.578	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.20±0.08	33.83			
C4	Normal (30)	0.12±0.05	18.93	103.00	-3.556	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.20±0.08	33.78			
P3	Normal (30)	0.07±0.04	19.10	108.00	-3.450	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.14±0.09	33.50			
P4	Normal (30)	0.07±0.04	19.17	110.00	-3.407	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.14±0.08	33.39			
O1	Normal (30)	0.04±0.03	19.30	114.00	-3.322	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.10±0.09	33.17			
O2	Normal (30)	0.04±0.03	19.93	133.00	-2.918	0.004 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.10±0.10	32.11			
FZ	Normal (30)	0.08±0.04	18.60	93.00	-3.769	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.16±0.08	34.33			
CZ	Normal (30)	0.11±0.06	18.87	101.00	-3.599	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.21±0.11	33.89			

^{a)} $P<0.01$; ^{b)} $P<0.05$.

P=0.006)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 10).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 relative low beta

power spectrum (RLB [12–15 Hz]/[4–50 Hz])의 차이는 Table 3과 같다. F4 ($Z=-2.087$, $P=0.037$), F7 ($Z=-2.087$, $P=0.037$), T4 ($Z=-2.193$, $P=0.028$), T5 ($Z=-2.705$, $P=0.007$),

Table 14. Ratio of sensorimotor rhythm to theta profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.17±0.09	20.93	163.00	-2.279	0.023 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.32±0.46	30.44			
FP2	Normal (30)	0.17±0.08	21.20	171.00	-2.108	0.035 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.31±0.38	30.00			
F3	Normal (30)	0.24±0.10	19.77	128.00	-3.024	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.47±0.52	32.39			
F4	Normal (30)	0.24±0.15	19.77	128.00	-3.024	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.44±0.30	32.39			
F7	Normal (30)	0.24±0.13	20.93	163.00	-2.279	0.023 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.47±0.64	30.44			
F8	Normal (30)	0.27±0.16	20.63	154.00	-2.470	0.013 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.49±0.58	30.94			
T6	Normal (30)	0.45±0.40	21.40	177.00	-1.981	0.048 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.66±0.62	29.33			
FZ	Normal (30)	0.20±0.11	21.27	173.00	-2.066	0.039 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.33±0.34	29.89			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

Table 15. Ratio of mid beta to theta profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.23±0.17	20.87	161.00	-2.321	0.020 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.45±0.49	30.56			
FP2	Normal (30)	0.25±0.22	20.40	147.00	-2.619	0.009 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.49±0.52	31.33			
F3	Normal (30)	0.39±0.27	19.87	131.00	-2.960	0.003 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.76±0.62	32.22			
F4	Normal (30)	0.39±0.32	19.80	129.00	-3.003	0.003 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	0.75±0.50	32.33			
F7	Normal (30)	0.42±0.43	20.87	161.00	-2.321	0.020 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.66±0.55	30.56			
F8	Normal (30)	0.49±0.54	20.63	154.00	-2.470	0.013 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.72±0.52	30.94			
C4	Normal (30)	0.50±0.29	21.40	177.00	-1.981	0.048 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.72±0.58	29.67			
FZ	Normal (30)	0.30±0.23	20.67	155.00	-2.449	0.014 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.54±0.47	30.89			
CZ	Normal (30)	0.37±0.21	21.33	175.00	-2.023	0.043 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.76±0.75	29.78			

^{a)}P<0.05; ^{b)}P<0.01.

T6 ($Z=-2.470$, $P=0.013$), P3 ($Z=-2.598$, $P=0.009$), P4 ($Z=-2.598$, $P=0.009$), O1 ($Z=-3.045$, $P=0.002$), O2 ($Z=-3.088$, $P=0.002$), PZ ($Z=-2.172$, $P=0.030$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 11).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 relative mid beta power spectrum (RMB [15–20 Hz]/[4–50 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-2.556$, $P=0.011$), FP2 ($Z=-2.832$, $P=0.005$), F3 ($Z=-2.811$, $P=0.005$), F4 ($Z=-3.109$, $P=0.002$), F7 ($Z=-2.428$, $P=0.015$), F8 ($Z=-2.321$, $P=0.020$), T3 ($Z=-2.811$, $P=0.005$), T4 ($Z=-2.577$, $P=0.010$), T5 ($Z=-3.769$, $P=0.000$), T6 ($Z=-3.450$, $P=0.001$), C3 ($Z=-2.598$, $P=0.009$), C4 ($Z=-2.854$, $P=0.004$), P3 ($Z=-2.981$, $P=0.003$), P4 ($Z=-3.067$, $P=0.002$), O1 ($Z=-3.237$, $P=0.001$), O2 ($Z=-3.343$, $P=0.001$), FZ ($Z=-2.705$, $P=0.007$), CZ ($Z=-2.641$, $P=0.008$), PZ ($Z=-2.619$, $P=0.009$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 12).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 relative high beta power spectrum (RHB [20–30 Hz]/[4–50 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-3.791$, $P=0.000$), FP2 ($Z=-3.918$, $P=0.000$), F3 ($Z=-3.791$, $P=0.000$), F4 ($Z=-4.387$, $P=0.000$), F7 ($Z=-3.620$, $P=0.000$), F8 ($Z=-3.429$, $P=0.001$), T3 ($Z=-2.811$, $P=0.005$), T4 ($Z=-2.172$, $P=0.030$), T6 ($Z=-3.067$, $P=0.002$), C3 ($Z=-3.578$, $P=0.000$), C4 ($Z=-3.556$, $P=0.000$), P3 ($Z=-3.450$, $P=0.001$), P4 ($Z=-3.407$, $P=0.001$), O1 ($Z=-3.322$, $P=0.001$), O2 ($Z=-2.918$, $P=0.004$), FZ ($Z=-3.769$,

$P=0.000$), CZ ($Z=-3.599$, $P=0.000$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 13).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 ratio of sensorimotor rhythm (SMR) to theta (RST [12–15 Hz]/[4–8 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-2.279$, $P=0.023$), FP2 ($Z=-2.108$, $P=0.035$), F3 ($Z=-3.024$, $P=0.002$), F4 ($Z=-3.024$, $P=0.002$), F7 ($Z=-2.279$, $P=0.023$), F8 ($Z=-2.470$, $P=0.013$), T6 ($Z=-1.981$, $P=0.048$), FZ ($Z=-2.066$, $P=0.039$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 14).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 ratio of mid beta to theta (RMT [15–20 Hz]/[4–8 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-2.321$, $P=0.020$), FP2 ($Z=-2.619$, $P=0.009$), F3 ($Z=-2.960$, $P=0.003$), F4 ($Z=-3.003$, $P=0.003$), F7 ($Z=-2.321$, $P=0.020$), F8 ($Z=-2.470$, $P=0.013$), C4 ($Z=-1.981$, $P=0.048$), FZ ($Z=-2.449$, $P=0.014$), CZ ($Z=-2.023$, $P=0.043$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 15).

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 ratio of (SMR-mid beta) to theta (RSMT [12–20 Hz]/[4–8 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-2.300$, $P=0.021$), FP2 ($Z=-2.428$, $P=0.015$), F3 ($Z=-3.130$, $P=0.002$), F4 ($Z=-3.024$, $P=0.002$), F7 ($Z=-2.598$, $P=0.009$), F8 ($Z=-2.470$, $P=0.013$), P3 ($Z=-1.981$, $P=0.048$), FZ ($Z=-2.321$, $P=0.020$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 16).

Table 16. Ratio of (sensorimotor rhythm-mid beta) to theta profile of methamphetamine dependence and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	0.40±0.24	20.90	162.00	-2.300	0.021 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.78±0.89	30.50			
FP2	Normal (30)	0.43±0.28	20.70	156.00	-2.428	0.015 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.81±0.86	30.83			
F3	Normal (30)	0.63±0.33	19.60	123.00	-3.130	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	1.23±1.07	32.67			
F4	Normal (30)	0.64±0.41	19.77	128.00	-3.024	0.002 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	1.19±0.77	32.39			
F7	Normal (30)	0.67±0.53	20.43	148.00	-2.598	0.009 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	1.14±1.11	31.28			
F8	Normal (30)	0.76±0.65	20.63	154.00	-2.470	0.013 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.21±1.03	30.94			
P3	Normal (30)	1.19±0.87	21.40	177.00	-1.981	0.048 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.80±1.39	29.67			
FZ	Normal (30)	0.51±0.30	20.87	161.00	-2.321	0.020 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	0.87±0.78	30.56			

^{a)} $P<0.05$; ^{b)} $P<0.01$.

메스암페타민 사용자군과 정상대조군의 ratio of alpha to high beta (RAHB [8-13 Hz]/ [20-30 Hz])의 차이는 FP1 ($Z=-3.642$, $P=0.000$), FP2 ($Z=-3.471$, $P=0.001$), F3 ($Z=-3.130$, $P=0.001$), F4 ($Z=-4.004$, $P=0.000$), F7 ($Z=-3.045$, $P=0.002$), F8 ($Z=-2.854$, $P=0.004$), T4 ($Z=-2.108$, $P=0.035$), T6 ($Z=-3.173$, $P=0.002$), C3 ($Z=-3.258$, $P=0.001$), C4 ($Z=-3.216$, $P=0.001$), P3 ($Z=-3.642$, $P=0.000$),

P4 ($Z=-3.535$, $P=0.000$), O1 ($Z=-3.620$, $P=0.000$), O2 ($Z=-3.258$, $P=0.001$), FZ ($Z=-3.556$, $P=0.000$), CZ ($Z=-3.067$, $P=0.002$), PZ ($Z=-3.599$, $P=0.000$)가 메스암페타민 사용자와 정상대조군 간의 유의미한 차이를 보였다(Table 17).

그 외 지표에서의 전극에서 두 군 간의 차이는 유의미하지 않았다.

Table 17. Ratio of alpha to high beta profile of methamphetamine dependance and normal control

	Group	Mean±SD	Mean rank	U	Z	P-value
FP1	Normal (30)	4.43±2.87	30.20	99.00	-3.642	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	2.11±1.54	15.00			
FP2	Normal (30)	4.19±2.65	29.93	107.00	-3.471	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.95±1.11	15.44			
F3	Normal (30)	4.98±3.58	29.90	108.00	-3.130	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	2.15±2.29	15.50			
F4	Normal (30)	5.08±3.25	30.77	82.00	-4.004	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.81±1.44	14.06			
F7	Normal (30)	4.46±2.74	29.27	127.00	-3.045	0.002 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	2.21±1.98	16.56			
F8	Normal (30)	3.79±2.42	28.97	136.00	-2.854	0.004 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.97±1.64	17.06			
T4	Normal (30)	14.61±8.86	27.80	171.00	-2.108	0.035 ^{b)}
	Methamphetamine (18)	5.38±3.28	19.00			
T6	Normal (30)	15.54±10.45	29.47	121.00	-3.173	0.002 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	6.73±4.80	16.22			
C3	Normal (30)	4.12±2.86	29.60	117.00	-3.258	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.69±1.16	16.00			
C4	Normal (30)	0.69±0.47	29.53	119.00	-3.216	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.08±0.79	16.11			
P3	Normal (30)	11.17±8.01	30.20	99.00	-3.642	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	4.62±3.90	15.00			
P4	Normal (30)	13.72±10.77	30.03	104.00	-3.535	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	5.63±6.79	15.28			
O1	Normal (30)	24.29±16.19	30.17	100.00	-3.620	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	9.95±8.53	15.06			
O2	Normal (30)	25.26±17.66	29.60	117.00	-3.258	0.001 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	11.16±10.28	16.00			
FZ	Normal (30)	6.38±4.82	30.07	103.00	-3.556	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	2.71±2.34	15.22			
CZ	Normal (30)	5.20±4.13	29.30	126.00	-3.067	0.002 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	1.93±1.32	16.50			
PZ	Normal (30)	11.67±8.64	30.13	101.00	-3.599	0.000 ^{a)}
	Methamphetamine (18)	5.35±7.31	15.11			

^{a)}P<0.01; ^{b)}P<0.05.

고 찰

본 연구는 한국의 메스암페타민 의존환자들의 각각의 전극에서의 정량화 뇌파소견을 정상인과 비교하여 차이를 검증하려고 시도한 최초의 논문이다. 기존 연구 결과에서 측두엽, 두정엽, 중앙부의 서파(delta, theta) 활성도 증가를 보고 하였으며[5,6] 본 연구결과도 유사하게 나왔다. 이전 연구와는 다르게 절대파워뿐 아니라 이번 연구에서는 뇌파들 간의 비를 함께 분석을 하였으며 뇌의 다양한 부위의 AT, AA, ASA, AHB, RT, RA, RB, RG, RSA, RLB, RMB, RHB, RST, RMT, RSMT, RAHB에서 정상 대조군과 유의미하게 차이를 보였다. 암페타민 의존 환자들의 실행기능과 기억 기능 측면에서 큰 손상을 보이고 이는 전두엽과 측두엽 부위(특히 F3, F4, T3, T4)에서의 신경병리로 설명되었다[14]. 이러한 변화는 메스암페타민이 자극제로 작용하여 인체에 유발하는 도파민관련 신경독성으로 설명하고 있다[1,2,15]. 본 연구에서 측두엽의 경우 T3 (AT, AA, ASA, RB, RLB, RMB, RHB), T4 (ASA, RB, RLB, RMB, RHB, RAHB)에서의 변화를 보였으며, 전두엽의 경우 F3 (AT, AHB, RA, RB, RSA, RMB, RHB, RST, RMT, RSMT, RAHB), F4 (ASA, AHB, RT, RA, RB, RG, RSA, RLB, RMB, RHB, RST, RMT, RSMT, RAHB)에서 유의하게 정상대조군과 차이를 보였다. 기존 연구에서 알파-베타의 비와 베타-베타의 비가 기억력과 주의집중에 영향을 주었다[9-11]. 본 연구에서도 전두엽에서의 베타-베타의 비(RST, RMT, RSMT)에서의 뇌파의 변화가 보였다.

이번 연구에서 많은 유의미한 결과가 나왔으나 여러 가지 제한점이 있었다. 먼저 표본의 크기는 이전 연구들에 비해 많았지만, 정신감정기간에 메스암페타민 환자의 의뢰가 적어 제한된 수의 표본으로 연구가 시행되었다는 점이다. 비록 표본수는 적었으나 결과 비교에서 유의한 지표들이 나타난 것으로 미루어 정상군과 메스암페타민의 뇌파는 차이가 있는 것으로 짐작할 수 있다.

감정입소 당시 측정된 뇌파는 보통 사법절차를 받고 있는 환자 특성상 메스암페타민을 사용후 몇 개월이 지난 상태로 급성기에 측정된 결과와 차이가 있을 수 있다.

또한 정신감정서의 기록을 통한 후향적 연구였으며 정신감정서에 기술되지 않은 일반적인 특성이 불충분하였다. 특히, 표본의 예전 메스암페타민 사용기간, 횟수, 용량 및 중단한 기간을 고려하지 않았다. 하지만 메스암페타민 의존 환자의 평균초발 연령을 고려하였을 때 기존 연구와 사용 기간은 유사할 것으로 생각된다.

그리고 검사 당시에 시행된 뇌파의 특성에 대한 비교연구이므로 암페타민 의존 환자의 일반적인 뇌파 특성을 비교하였기 때문에 본 연구의 결과가 암페타민 사용이 뇌의 신경독

성으로 인한 결과로 뇌파의 변화를 일으킨다는 증거가 될 수 없다.

가장 중요한 제한점은 본 연구에서 공존질환에 대한 고려를 할 수 없었다는 것이다. 메스암페타민 중독 환자는 공존질환을 많이 가지고 있어 연구 계획단계에서 정신감정서상 뚜렷한 기질적 원인에 대한 기술이 있는 경우에 제외를 하였으나 다른 공존 질환에 대한 조사가 부족한 편으로 본 연구의 결과는 전체 환자군을 대표할 수 없다.

향후 정량화 뇌파 소견뿐만 아니라 암페타민의존 환자의 여러 평가척도를 포함하는 정량화 뇌파 연구가 암페타민 환자의 특성을 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. Simon SL, Domier C, Carnell J, et al. Cognitive impairment in individuals currently using methamphetamine. *Am J Addict* 2000;9:222-31.
2. Ahn KH, Sewell A, Elander J, et al. Role of GABA deficit in sensitivity to the psychotomimetic effects of amphetamine. *Neuropsychopharmacology* 2015;40:2822-31.
3. Chang L, Ernst T, Speck O, et al. Perfusion MRI and computerized cognitive test abnormalities in abstinent methamphetamine users. *Psychiatry Res* 2002;114:65-79.
4. Kalechstein AD, De la Garza R 2nd, Newton TF, et al. Quantitative EEG abnormalities are associated with memory impairment in recently abstinent methamphetamine-dependent individuals. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 2009;21:254-8.
5. Newton TF, Cook IA, Kalechstein AD, et al. Quantitative EEG abnormalities in recently abstinent methamphetamine dependent individuals. *Clin Neurophysiol* 2003;114:410-5.
6. Park CK, Kim DH, Cho SN, et al. Effect of biofeedback training in patients with methamphetamine dependence: preliminary study with qEEG. *J Korean Acad Addict Psychiatry* 2012;16:62-7.
7. Schutte I, Kenemans JL, Schutter D. Resting-state theta/beta EEG ratio is associated with reward- and punishment-related reversal learning. *Cogn Affect Behav Neurosci* 2017 Jun 5 [Epub]. <https://doi.org/10.3758/s13415-017-0510-3>.
8. Barry RJ, Clarke AR, Johnstone SJ, et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clin Neurophysiol* 2007;118:2765-73.
9. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Brain Res Rev* 1999;29:169-95.
10. Chaturvedi M, Hatz F, Gschwandtner U, et al. Quantitative EEG (QEEG) measures differentiate Parkinson's disease (PD) patients from healthy controls (HC). *Front Aging Neurosci* 2017;9:3.
11. Benz N, Hatz F, Bousleiman H, et al. Slowing of EEG background

- activity in Parkinson's and Alzheimer's disease with early cognitive dysfunction. *Front Aging Neurosci* 2014;6:314.
12. Jasper HH. Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography: 1957. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1958;10:370-5.
 13. Kim K. The abbreviated word of EEG analysis index and its definition [Internet]. *BioBrain*; 2016 [cited 2017 Oct 30]. Available from: <http://biobraininc.blogspot.kr/>.
 14. Ersche KD, Clark L, London M, et al. Profile of executive and memory function associated with amphetamine and opiate dependence. *Neuropsychopharmacology* 2006;31:1036-47.
 15. Barr AM, Panenka WJ, MacEwan GW, et al. The need for speed: an update on methamphetamine addiction. *J Psychiatry Neurosci* 2006;31:301-13.