

Examining EEG Power in Children with Autism Spectrum Disorder with Mild Intellectual Disability: Using 2 channel EEG Device*

Kyong-Mee Chung, Chansol Park[†], Hoomyung Lee

Yonsei University

Persons with autism spectrum disorder(ASD) show high rates of comorbidity with intellectual disability(ID). However, previous EEG studies simply compared ASD group to typical developing group without considering comorbidity. The purpose of this study was to compare EEG power of persons with ID to that of persons with ASD comorbid with ID. For this purpose, EEG was measured using a portable 2 channel device, Brainio, at rest and during a specific task. Absolute and relative power of various frequency bands were calculated. The results showed that there were no group differences in all frequency bands at rest and in all frequency bands except absolute gamma power during a task. In terms of absolute gamma power, persons with ASD comorbid with ID showed a significantly higher power than that of persons with ID. These results suggested that there were similarities in EEG power of ASD and ID, therefore it is necessary to control for ID when conducting EEG power in persons with ASD.

Keywords: autism Spectrum Disorder, intellectual Disability, electroencephalography, portable device

1차원고접수 21.06.03; 수정본접수: 21.07.13; 최종게재결정 21.07.19

자폐 스펙트럼 장애는(Autism Spectrum Disorder, ASD)는 사회적 상호작용 및 의사소통의 어려움과 제한적이고 상동적인 행동을 특징으로 하는 복합적인 신경발달장애(neurodevelopmental disorder)이다(American Psychiatric Association [APA], 2013). ASD는 전 세계적으로 0.7-1.8%의 유병률을 보이며(Muhle et al., 2004.), 국내의 경우 2.6%로 보다 높은 유병률이 관찰된다(Kim et al., 2011). ASD 아동 및 청소년의 72-79%는 하나 이상의 다른 정신과적 장애를 가진다고 보고되는데(Mannion et al., 2013), 그 중 지적장애는 31-70%의 높은 공병률을 가진다(CDC, 2018; La Malfa et al., 2004; Matson & Shoemaker, 2009; Newschaffer et al., 2007). 지적장애는 지적 기능과

개념적, 사회적, 실용적 기술을 포함한 적응 행동에서의 상당한 결함으로 특징되는 발달적 상태이다(American Psychiatric Association [APA], 2013). 지적장애가 ASD에 수반되는 경우 ASD만을 가진 집단에 비해 적응이나 문제 행동, 기분이나 수면 등 다양한 영역에서 더 심각한 수준의 어려움을 보인다(Matson & Shoemaker, 2009).

ASD를 유발하는 병인론적 기제에 대한 설명은 제한적이지만(Wang et al., 2013), 신경발달장애의 정의에서 알 수 있듯(Thapar et al., 2017), ASD는 뇌 기능상의 결함을 전제로 하는 질환이다. 이에 따라 ASD 집단의 뇌 구조와 기능을 탐색하는 것에 초점을 맞춘 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 연구들은 주로 MRI, fMRI, EEG와 같은 뇌영상

* 본 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(과제번호: 2020S1A5A2A01042717).

† 교신저자: 박찬솔, 연세대학교 심리학과, 석사과정, 서울특별시 서대문구 연세로 50, E-mail: parkchans51@gmail.com

기법을 사용하여 ASD 집단이 보이는 다양한 결함들과 관련 있는 뇌의 활동을 조사하거나(Mills et al., 2013; Naigles et al., 2017; Rane et al., 2015), 정상 발달 집단과 장애 집단의 차이를 비교한다(Philip et al., 2012).

다양한 뇌영상 기법 중 ASD 집단의 뇌 활동을 탐색한 연구에서 활발하게 사용되고 있는 기법은 일정 시간 동안 두피에 여러 개의 전극을 위치시키고, 그로부터 기록되는 뇌의 전기적 활동을 측정하는 Electroencephalography(EEG)이다(Niedermeyer & Silva, 2005). EEG는 MRI에 비해 움직임에 대한 내성이 높고, 시간적 해상도가 우수할 뿐 아니라 비침습적인 측정방식으로 사용이 용이하여 다양한 발달적 수준과 연령 집단에 걸쳐 뇌의 생리적 활동을 탐색하는데 널리 사용되고 있다(Chen et al., 2015; Schiff et al., 2016; Synder et al., 2015). ASD 집단도 예외는 아닌데, EEG는 ASD의 증상과 EEG 패턴 간의 상관 규명(Yasuhara, 2010), ASD 집단이 보이는 간질 발작과 탐색(Spence & Schneider, 2009), 그리고 ASD 집단 EEG의 발달적 경로 탐색(Tierny et al., 2012) 등의 연구에 적용되어 왔다.

EEG를 통해 기록된 신호를 분석하는 대표적인 방법 중 하나는 스펙트럼 분석이다(Wang et al., 2013). 스펙트럼 분석은 EEG 신호의 진동을 주파수 대역으로 분해하여 그 크기를 표시한 것이다(Dressler et al., 2004). 주파수 대역으로는 델타, 쉼타, 알파, 베타, 감마 등이 있고, 각 주파수 대역은 수면, 이완, 각성이나 긴장 등 상이한 인지적 상태에 관여한다고 간주된다(Buzsaki, 2006; Klimesch et al., 2008; Knyazev, 2012; Neuper & Pfurtscheller, 2001; Wang et al., 2013). 스펙트럼 분석을 통해 확인할 수 있는 대표적인 지표 중 하나는 각 주파수 대역의 파워인데, 파워는 절대 파워와 상대 파워로 분류된다. 절대 파워는 다른 주파수 대역의 활동과는 독립적인 각 주파수 대역의 활동을 의미하고, 상대 파워는 각 주파수 대역의 EEG 활동을 모든 주파수 대역의 EEG 활동 총량으로 나눈 값을 의미한다(Wang et al., 2013).

ASD 집단의 절대 파워와 상대 파워를 탐색한 연구들은 주로 ASD 집단과 정상 발달 집단의 EEG를 비교 분석하여 비정상성을 규명하려 하였다. 이러한 연구들은 측정 조건에 따라 자극이 없는 휴식 조건과 특정 자극이 주어지는 과제 조건에서의 EEG 파워를 측정하였다. 먼저 휴식 조건에서 ASD 집단과 정상 발달 집단의 절대 파워를 비교한 연구들은 정상 발달 집단에 비해 ASD 집단의 전두엽(Hames et al., 2016; Pop-Jordanova et al., 2010; Stroganova et al., 2007) 및 전전두엽(Dawson et al., 1995) 부위에서 델타, 쉼

타, 감마 파워가 높고 알파 파워는 낮다고 보고하였다. 또한 상대 파워를 비교한 연구들은 정상 발달 집단에 비해 ASD 집단의 전두엽 부위(Cantor et al., 1986; Chan et al., 2007; murias et al., 2007; Van Diessen et al., 2015)에서 쉼타와 감마 파워가 높고 알파 파워는 낮다고 보고하였다. 상기의 연구들은 비교적 일관적으로 정상 발달 집단에 비해 ASD 집단이 전두엽 부위에서 저주파 대역(델타, 쉼타) 및 고주파 대역(감마)의 높은 파워를, 반대로 중간 주파 대역(알파)의 낮은 파워를 보인다고 보고한다. ASD 집단에서 관찰되는 이러한 EEG 프로파일을 GABA 시스템의 기능적 결함과 관련이 있다고 보는 견해가 있다(Ma et al., 2005). GABA 시스템은 중간 주파 대역의 파워를 증가시키는 동시에 저주파 및 고주파 대역의 파워를 조절하는 일종의 억제 시스템인데, ASD 집단은 이 억제 시스템에 기능적으로 이상이 있어 고주파 및 저주파 대역의 파워는 증가하고 중간 주파 대역인 알파 파워는 감소한다는 것이다(Tierney et al. 2012).

과제 조건에서 ASD 집단과 정상 발달 집단의 EEG 파워를 비교한 연구 결과는 다소 다른 양상을 보인다. 선행연구들은 다양한 주파수 대역의 활성화와 관련이 있다고 알려진(Ga et al., 2015) ‘지속적 주의’를 측정하는 과제를 주로 사용하였는데, ASD 집단이 정상 발달 집단에 비해 전두엽 부위에서 고주파 대역(베타 및 감마)의 높은 파워를 보이는 것(Orekhova et al., 2007; Sheikhani et al., 2009)은 휴식 조건과 비슷하나, 저주파 대역(쉼타)에서는 휴식 조건과 달리 낮은 파워(Chan et al., 2011b)를 보인다고 보고한다. 하지만, 과제 조건에서의 EEG 파워를 탐색한 연구의 수가 적어 이러한 결과를 통해 일관적인 패턴을 추론하는데 제한점이 있다.

한편, 일부 연구자들은 ASD 집단의 상당수가 지적장애를 동반이환으로 가지고 있다는 사실을 근거로, ASD 집단의 비정상적 EEG 프로파일이 ASD의 특성에 기인한 것인지 혹은 지적장애의 특징을 반영하는 것인지 명확하게 탐색할 필요성을 주장하였다(Orekhova et al., 2007; Wang et al., 2013). 이러한 주장에 대한 근거로 첫째, ASD 집단의 EEG 파워를 탐색한 연구의 다수가 지적장애 여부를 통제하지 않았다. 둘째, 비록 그 수는 적지만 지적장애 집단의 EEG 파워를 탐색한 연구들은 지적장애 집단의 EEG 파워 패턴이 ASD 집단과 유사함을 보여준다. 예를 들어, 휴식 조건에서 지적장애 집단과 정상 발달 집단의 EEG 파워를 비교한 연구들은 정상 발달 집단에 비해 지적장애 집단이 전두엽 부위에서 저주파수 대역인 쉼타 파워가 높고(Gasser et al., 1983a), 중간 주파수 대역인 알파 파워는 낮다(Psatta et al., 1991)고 보고

하였다. 이 결과는 앞서 기술한 ASD 집단의 패턴과 동일하며, 지적장애 동반 여부를 통제하지 않은 연구에서 관찰된 ASD 집단의 EEG 파워가 지적장애의 영향을 받았을 가능성을 지지하는 결과이다. 또한 이러한 가능성은 지적장애가 동반되지 않은 고기능 ASD 집단이 정상 발달 집단에 비해 저주파수 대역에서 낮은 파워를 보이며 기존에 관찰된 일관적 패턴과는 다른 양상을 보였다는 소수의 연구 결과에 의해 더욱 지지될 수 있다(Sutton et al., 2005; Coben et al., 2008; Maxwell et al., 2013). 따라서 지적장애를 동반한 ASD 집단과 지적장애 집단의 EEG 파워를 직접적으로 비교함으로써 기존의 비정상적인 EEG 프로필이 어느 질환에 기인하는 것인지에 대한 명확한 규명이 필요해 보인다.

한편 EEG 신호를 획득하기 위해 사용하는 전통적인 장치는 대부분 16개 이상의 전극을 사용했는데, 이러한 장치는 측정 과정이나 측정에 요구되는 행동이 복잡하고 많아, 아동이나 자극에 민감한 일부 대상자에게는 적용이 어렵다는 단점이 있다(Badcock et al., 2013; Johnstone et al., 2012). 전통적인 EEG 장치의 단점을 극복하기 위한 시도로, 최근에는 측정에 필요한 전극의 개수를 줄이고 데이터 수집을 단순화한 EEG 장치들이 개발되어 실효성이 검증되고 있다(Ogino et al., 2019). 이 연구들은 단순화된 EEG 장치가 반복적인 측정에도 일관성 있는 측정치를 산출하고, 이 측정치가 전통적인 다채널 EEG 장치의 측정치와도 높은 상관을 보이며(Ratti et al., 2017; Rogers et al., 2016), 이완, 주의 집중, 수면, 각성 등 다양한 인지적 상태를 효과적으로 측정하고 분류할 수 있다고 보고한다(Fernandez-Blanco et al., 2020; Kang et al., 2015; Peng et al., 2019). 이러한 결과는 단순화된 EEG 디바이스가 기존 장치의 단점을 보완하면서도 정보가 있는 데이터를 제공하여 임상 및 연구 장면에 효과적으로 적용될 수 있음을 보여준다.

본 연구의 목적은 단순화된 EEG 장치를 사용하여 경도 지적장애만을 가지고 있는 집단과 경도 지적장애를 수반한 자폐 스펙트럼 장애(low-functioning ASD)를 가진 집단의 EEG 절대 파워와 상대 파워를 비교함으로써 기존 ASD 집단에서 관찰된 EEG 파워가 지적장애의 영향을 받았을 가능성에 대해 탐색하는 것이다.

방 법

참가자

본 연구의 대상자는 만 7-15세의 아동 및 청소년으로, ASD와 경도 지적장애를 모두 진단받거나, 동반이환 없이 경도

Table 1. Descriptive statistics of participants

Variables	Groups	
	ASD 동반 지적장애 (N=17명)	지적장애 (N=16명)
성별(남/여)	13/4	10/6
연령(평균/SD)	130.35(7.71)	119.19(6.51)
지능(평균/SD)	60.12(1.31)	58.83(1.39)

지적장애만을 진단받은 참가자였다. 본 연구는 정부 지원 연구 과제¹⁾ 참가자 중 본 연구의 참가기준을 충족하는 인원을 대상으로 실시되었다. 참가자 모집은 발달장애 관련 인터넷 사이트, 발달장애 아동의 부모 모임, 특수 교육기관, 오티즘 엑스포(2019)²⁾를 통해 모집되었다. 연구 대상자 모집 기준은 1) 만 7-15세의 아동 청소년으로 2) 보건복지부(The Ministry of Health and Welfare (South Korea))에서 발급한 지적장애 3급(intellectual disability level 3) 장애인 등록증이 있거나, 만 5세 이후 지능검사 결과가 50~70 사이인 심리검사 보고서가 있거나, 또는 스크리닝 평가 단계에서 지능검사 결과 지능이 50~70 사이이며 3) ASD 외 다른 신경 발달장애나 뇌병변(Encephalopathy) 등 신체장애로 진단받지 않았으며, 4) 부모가 연구 참여에 동의한 경우였다.

참가자 모집기준을 충족하는 총 38명 중 자료 수집 과정에서 아래와 같은 이유로 총 5명이 제외되어, 최종적으로 33명이 분석에 포함되었다; 1) 반복된 과제 설명 및 연습 시행에도 불구하고 과도한 문제 행동을 보이거나 과제에 대한 이해가 부족해 EEG 검사 진행이 불가능한 경우(2명), 2) 검사는 진행되었으나 전극 접촉 불안정 등의 사유로 수집된 EEG 데이터의 분석이 불가한 경우(3명). 최종 인원 중 ASD와 지적장애 동반 이환 집단은 17명이었고, 지적장애 집단은 16명이었다. 참가자 집단별 인구통계학적 정보는 Table 1에 제시하였다. 본 연구는 연구자가 속한 기관의 연구윤리심의 위원회(Institutional Review Board; IRB)의 승인을 받은 후, 참가자를 모집하고 연구 절차를 진행하였다(IRB NO. 7001988-202008-HR-605-11).

1) 해당 연구 과제는 한국 보건산업진흥원의 라이프케어융합서비스 개발 사업의 일환으로 2018년도에 선정된 과제(HI18C0458)로, 신경발달장애 아동 및 청소년의 집행기능을 훈련하는 모바일 앱 기반 훈련 프로그램 Yonsei Executive Function Training System for Special Kids(YESS)를 개발하고 프로그램의 효과성을 검증하는 과제이다.

2) 자폐성 장애인을 포함한 발달장애인 본인, 가족, 치료사, 교사를 대상으로 최근 연구, 교육, 재활, 자립과 관련된 정보를 나누는 목적으로 개최된 행사로, ㈜서플러스글로벌이 주최하고 한국자폐인사랑협회와 함께웃는재단이 주관하였다.

평가 도구

한국판 웨슬러 지능검사(Korean-Wechsler Intelligence Scale). 연구 참가를 위해 지능검사가 필요한 아동 및 청소년을 대상으로 한국 웨슬러 아동용 지능 검사 4판의 단축형(Hwang & Oh, 2017)을 사용하였다. K-WISC-IV의 단축형 검사에는 어휘, 순차연결, 행렬추리, 동형찾기 등 4가지 하위척도가 포함된다(Hwang & Oh, 2017). 전체 지능(Full Scale IQ; FSIQ)을 추정하기 위해 Hwang과 Oh(2017)가 제시한 방법대로 가중치를 적용해 계산하였다($(2.211 \times \text{어휘}) + (1.569 \times \text{순차연결}) + (1.337 \times \text{행렬추리}) + (1.360 \times \text{동형찾기}) + 35.118$). 단축형의 타당화 연구(Hwang & Oh, 2017)에서의 추정 FSIQ와 실제 FSIQ 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($t(65) = -0.82, p > .05$). 검사는 임상심리 전문가 자격증을 소지한 전문가의 훈련 및 감독 하에, 석사급 및 박사급 연구원에 의해 실시되었다. 검사 결과에 따라 연구에 포함될 참가자를 선별하였다.

연속수행과제(Continuous Performance Test; CPT). 뇌파 측정 시 과제수행 단계에서 인지적 부하를 주기 위한 목적으로 Conners(2000)의 CPT를 변형하여 과제를 구성하고, 이를 Psychopy 3.2 프로그램을 활용하여 본 연구실에서 자체 제작하여 사용하였다. CPT는 지속적 주의력(sustained attention)을 측정하기 위한 과제로, 각 시행마다 화면에 제시된 자극을 보고 사전에 알려진 규칙에 따라 가능한 신속하면서도 정확하게 반응해야 하는 검사이다. 본 연구에서는 무작위로 제시되는 알파벳 중 'X'를 제외한 다른 모든 25개 알파벳에 반응하는 패러다임을 선택하였다. 또한 연구 참가자가 ASD 또는 지적장애를 가지고 있는 아동 및 청소년 집단임을 고려하여, 유사한 집단을 대상으로 하는 선행연구(Danis et al., 2008; O'Dougherty, Neuchterlein, & Drew, 1984)를 참고해 알파벳을 250msec씩 무작위로 1, 2, 4초 간격으로 총 120번 제시하여 총 검사 시간을 5분 10초로 설정하였다. 피험자의 수행률 데이터로는 반응해야 하는 자극('X' 제외)의 모든 알파벳에 대한 정반응 시간(Response Time; RT), 실수로 응답하지 않은 수(Omission Error)와 비표적

자극(알파벳 'X')에 응답한 수(Commission Error), 신호 탐지 이론(Signal Detection Theory)에 따른 신호 민감도 d' (Signal Detectability)와 반응 편향 (Response Bias)을 추가적으로 산출하였다(Hong et al., 1996). 추가 산출 변인에 대한 자세한 공식은 Table 2에 제시하였다.

본 과제의 시행은 14인치 화면의, 윈도우 10이 설치된 개인용 노트북 컴퓨터를 이용하였고, 참가자는 컴퓨터 키보드의 스페이스바를 통해 반응하였다. 알파벳 자극들은 하얀색 바탕 화면 정가운데에 검은색 글씨(5cm × 5cm)의 형태로 제시되었다. 검사 절차는 다음과 같다; 첫째, 사전에 제작된 설명문을 통해 참가자가 과제 절차를 충분히 이해할 수 있도록 과제 규칙을 설명하였다. 둘째, 정답 유무에 대한 피드백을 검사자가 제공하는 2회의 연습 시행을 통해 참가자가 과제를 이해했는지 확인하고 필요 시 과제 규칙을 다시 설명하였다. 만약 2회의 연습 시행이 완료된 후에도 참가자가 과제를 이해하지 못하였으면 분석에서 제외되었다. 셋째, 본 시행이 시작된 후에는 반응에 대한 피드백은 제공하지 않았으며, 중간에 참가자가 과제수행을 거부하면 검사자가 2회까지 언어적 촉구(예, "조금만 힘내서 끝까지 하자")를 제공하였다. 만일 2회의 언어적 촉구(verbal prompt)에도 불구하고 참가자가 과제수행을 지속적으로 거부하면 과제 시행을 중단하고 해당 참가자는 분석에서 제외되었다. 과제 절차에 대한 도식은 Figure 1에 제시하였다.

EEG 측정 및 분석

EEG 디바이스. 본 연구에 참가한 아동 및 청소년의 뇌파를 측정하기 위하여 2개 채널 EEG 디바이스(모델: 브레이노; ㈜ 소소(www.soso-g.co.kr), 경북대학교, 대구)가 사용되었다. 본 연구에서 사용된 EEG 디바이스는 국제 공인 10-20 시스템에 의거하여 전두엽 부위인 FP1, FP2에 부착하는 2개의 뇌파 센서가 있으며, 센서 전극은 디바이스의 밴드를 활용하여 머리에 고정할 수 있는 건식 전극 타입이 사용된다.

Table 2. Formulation of additional variables in CPT

Variables	Formulation
민감도 (d')	$\frac{1}{2} \frac{(적중률 - 오보율) \times (1 + 적중률 - 오보율)}{4 \times 적중률 \times (1 - 오보율)}$
반응 편향 ()	$\frac{적중률 \times (1 - 적중률) - 오보율(1 - 오보율)}{적중률 \times (1 - 적중률) + 오보율(1 - 오보율)}$

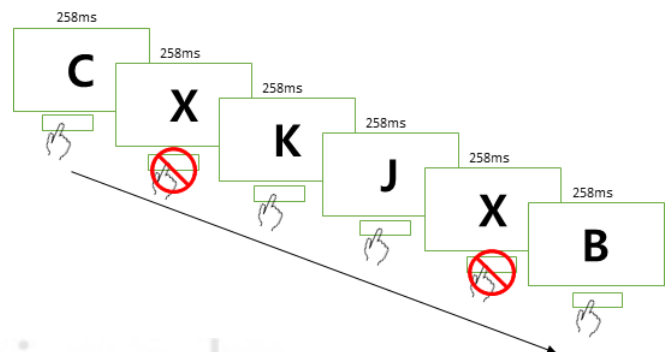


Figure 1. Example of CPT procedure



Figure 2. EEG device

또한 뇌파 측정과 동시에 귓볼에 고정하여 심박도를 측정할 수 있는 심박도 센서(reference electrode)가 장착되어 있다 (Figure 2). 디바이스의 뇌파 샘플링율(sampling rate)은 256 Hz였으며, 측정된 뇌파는 디바이스 내에 장착되어 있는 SD 메모리 카드에 저장되었다.

측정 절차. 뇌파 측정은 외부 소음이 차단되고, CPT 과제용 노트북 외에 다른 전자 장비들이 없는 검사실(약 7 m X 3 m)에서 진행되었다. 먼저 연구 참가자는 CPT 과제용 노트북이 놓인 책상 앞의 의자에 착석한 상태에서 검사자로부터 검사에 대해 약 1분간 설명을 들었다. 그 다음 검사자의 도움을 받아 뇌파 센서가 전두엽 부위에 잘 접촉되도록 EEG 디바이스를 착용하였다. 뇌파 측정은 모든 참가자를 대상으로 휴식 조건(약 5분 소요)과 과제 조건(CPT 설명 시간 포함 약 10분 소요)으로 구분하여 차례로 시행되었다.

휴식 조건(개안/폐안). 검사자는 EEG 디바이스 착용 상태 및 참가자가 느끼는 불편한 점은 없는지 확인 후, EEG 디바이스의 전원을 키고 디바이스가 안정될 때까지 약 1분간 기다렸다. 그 다음 참가자에게 노트북 화면의 검은색 바탕에 하얀색 십자기를 응시하라고 지시 후 개안 상태에서 2분간 뇌파를 측정하였다. 개안 측정이 종료된 직후, 계속 앉은 채로 눈을 감고 있으라고 지시 후 폐안 상태에서 2분간 다시 뇌파를 측정하였다. 개안 측정 시 말을 하거나, 폐안 측정

시 눈을 뜨는 등 노이즈를 발생시킬 수 있는 행동을 하는 경우에는 검사자가 즉시 개입하여 제지하였으며, 검사자의 지시에 순응을 거부한 참가자는 없었다. 폐안 측정이 종료되면 EEG 디바이스의 전원을 차단하였다.

과제 조건. 휴식 조건 측정이 종료된 직후, 참가자는 EEG 디바이스를 계속 착용한 상태에서 검사자로부터 CPT 과제에 대한 설명을 듣고 연습 시행을 수행하였다. 연습 시행 결과를 통해 검사자는 참가자가 CPT 과제를 수행할 수 있다는 것을 확인 후, 다시 EEG 디바이스의 전원을 키고 디바이스가 안정될 때까지 약 1분간 기다렸다. 그리고 참가자에게 CPT 과제 시작을 지시하고 5분 10초간 과제 조건의 뇌파 측정을 진행하였다. 중간에 참가자가 과제 수행을 거부하면 사전에 정의된 프로토콜에 따라 검사자가 2회까지 언어적 촉구를 제공하였다. CPT 과제가 종료되면 검사자는 EEG 디바이스의 전원을 차단하고 참가자의 머리에서 탈착하였다.

EEG 신호 처리 및 분석. 본 연구에서 측정된 뇌파 신호는 EEG 디바이스에서 ASCII 형태로 추출된 후 (주)소소 연구소에 전달되었고, 해당 전문가의 도움을 받아 신호 처리 및 분석 과정을 협업으로 진행하였다. 먼저 각 단계별 측정된 뇌파 신호에 대하여 (주)소소 사에서 자체적으로 개발한 전처리 소프트웨어인 'Brainbay Analysis System'(BAS)를 사용하여 전기장치의 전원 잡음, 근육의 수축과 이완에 의한 근전도 신호 등 노이즈를 제거하였다. 그 후 노이즈가 제거되어 사용 가능한 모든 데이터에 대하여 초기 30초는 디바이스가 안정되는 기간으로 제외하고, 개안과 폐안 시는 각각 1분 30초의, 과제 수행 시는 4분 40초의 뇌파 신호를 분석에 활용하였다. 뇌파 신호는 주파수 대역별 파워의 산출을 위해 MATLAB 2012(MathWorks, Inc., Natick, MA, USA.) 소프트웨어를 활용하여 고속 푸리에 변환(fast fourier transform; FFT)으로 처리되었다. 이를 통해 산출된 주파수

Table 3. EEG frequency and activation conditions

Bands	Frequency (Hz)	Activation condition
델타(Delta)	0.5 ~ 4	깊은 수면 시 많이 발생
세타(Theta)	4 ~ 8	졸음, 얕은 수면 상태 시 많이 발생
알파(Alpha)	8 ~ 12	이완, 휴식, 안정 상태 시 많이 발생
SMR(Sensory Motor Rhythm)	12 ~ 15	주의집중 상태에서 많이 발생
M-베타(M-Beta)	15 ~ 20	주의집중, 활동 시 많이 발생
H-베타(H-Beta)	20 ~ 30	긴장, 흥분 시 많이 발생
감마(Gamma)	30 ~ 50	극도의 흥분, 어려운 문제 해결 시 많이 발생

대역별 파워인 절대 파워(absolute power, Table 3 참조)와 각 주파수 대역의 절대 파워를 전체 주파수 대역의 절대 파워로 나눈 비율인 상대 파워(relative power)를 종속변인으로 집단 간 비교 분석을 실시하였다.

분석 방법

본 연구에서는 IBM SPSS(The statistical package for the social sciences) Version 25.0 프로그램을 이용하여 수집된 자료를 분석하였다. 먼저 집단 간에 기술통계치의 사전 동질성을 확인하기 위해 성별에 대해서는 카이제곱검정을, 연령과 지능에 대해서는 독립표본 t검정을 실시하였다. 둘째, 집단 간에 휴식 조건의 뇌파 측정치가 차이가 있는지 살펴보기 위해, 14개의 변인 중 정규성을 만족한 5개 변인은 독립표본 t검정을, 정규성을 만족하지 못한 9개 변인은 Mann-whitney U test를 실시하였다. 셋째, 집단 간에 과제 조건의 뇌파 측정치가 차이가 있는지 살펴보기 위해, 14개 변인 중 정규성을 만족한 9개 변인은 독립표본 t검정을, 정규성을 만족하지 못한 5개 변인은 Mann-whitney U test를 실시하였다. 마지막으로, 집단 간 CPT 과제 점수에 차이가 있는지 살펴보기 위해, 정규성을 만족한 Commission Error, 는 독립표본 t검정을, 정규성을 만족하지 못한 RT,

Omission Error, d'는 Mann-whitney U test를 실시하였다.

결 과

집단 간 기술통계치의 사전 동질성 검증

먼저 참가자 집단 간 성별, 연령, 지능의 차이가 있는지 동질성 검정을 실시하였다. 먼저 성별에 카이제곱 검정을 실시한 결과, 집단 간에 성별($\chi^2(1) = .762, p > .05$)에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 둘째, 연령과 지능에 독립표본 t 검정을 실시한 결과, 집단 간에 연령($t(31) = -1.099, p > .05$)과 지능($t(31) = -.655, p > .05$)에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

휴식 조건 뇌파 비교

집단 간에 휴식 조건의 뇌파에 차이가 있는지 살펴보기 위해, 총 14개의 뇌파 변인 중 정규성을 만족한 5개 변인은 독립표본 t 검정을, 정규성을 만족하지 못한 9개 변인은 Mann-whitney U test를 실시하였다. 집단별 뇌파 변인의 평균 및 표준편차에 대한 정보는 Table 4에 제시하였다. 분석 결과 절대 파워, 상대 파워의 모든 변인에 대해 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 4. Comparison of power during resting

Variables	ASD 동반 지적장애(N=17)	지적장애(N=16)	t/U	p
	M(SD)	M(SD)		
절대 파워(단위 : μV^2)				
델타	365898577(245763399)	328018388(179331036)	140.00 ¹⁾	.901
세타	131473377(74268230)	125673719(45806662)	120.00 ¹⁾	.581
알파	80390939(40512962)	80605172(26032764)	114.00 ¹⁾	.444
SMR	30674645(15689219)	31575680(11626420)	119.00 ¹⁾	.557
M_베타	43884989(20987940)	44487106(16942116)	128.00 ¹⁾	.790
H_베타	76766919(30323065)	73948323(26681561)	137.00 ¹⁾	1.000
감마	92188242(34967283)	82861468(31217105)	162.00 ¹⁾	.363
상대 파워				
델타	.43(.97)	.41(.10)	-.316	.754
세타	.16(.01)	.16(.01)	1.027	.312
알파	.10(.02)	.11(.02)	110.000 ¹⁾	.363
SMR	.04(.01)	.04(.00)	112.500 ¹⁾	.402
M_베타	.06(.02)	.06(.02)	.539	.594
H_베타	.10(.03)	.03(.10)	-0.92	.927
감마	.12(.03)	.11(.02)	-1.262	.216

Note. ¹⁾Mann-whitney U test 실시

과제 조건 뇌파 비교

집단 간에 과제수행 단계의 뇌파에 차이가 있는지 살펴보기 위해, 총 14개의 뇌파 변인 중 정규성을 만족한 9개 변인은 독립표본 *t* 검정을, 정규성을 만족하지 못한 5개 변인은 Mann-whitney U test를 실시하였다. 집단별 뇌파 변인의 평균 및 표준편차에 대한 정보는 Table 5에 제시하였다. 분석 결과 절대 감마 파워 변인에서 집단 간 유의한 차이가 나타났으며, 그 외 다른 모든 절대 파워 및 상대 파워 변인에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

CPT 과제 점수 비교

집단 간에 CPT 수행 결과의 차이가 있는지 살펴보기 위해, 총 5개 변인 중 정규성을 만족한 Commission Error, 는 독립표본 *t*검정을, 정규성을 만족하지 못한 나머지 변인은 Mann-whitney U test를 실시하였다. 집단별 CPT 결과의 평균 및 표준편차에 대한 정보는 Table 6에 제시하였다. 분석 결과 모든 변인에 대해 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 5. Comparison of power during CPT

Variables	ASD 동반 지적장애(N=17명)	지적장애(N=16명)	<i>t/U</i>	<i>p</i>
	<i>M(SD)</i>	<i>M(SD)</i>		
절대 파워(단위 : μV^2)				
델타	317352941(209774563)	286223063(176509070)	149.00 ¹⁾	.657
췌타	119139872(52682951)	109252810(52544025)	155.50 ¹⁾	.488
알파	62382234(24709605)	57650924(24039635)	155.00 ¹⁾	.510
SMR	23453925(8386820)	20630921(9036804)	-.931	.359
M_베타	34833625(11382073)	29054977(12552760)	-1.387	.175
H_베타	67127304(24948282)	52359150(24503824)	-1.775	.086
감마	83820701(33549711)	61136677(30912076)	193.00 ¹⁾	.041*
상대 파워				
델타	.43(.09)	.44(.07)	.497	.623
췌타	.17(.02)	.18(.03)	128.500 ¹⁾	.790
알파	.09(.01)	.10(.01)	1.905	.066
SMR	.03(.00)	.04(.00)	.483	.633
M_베타	.05(.01)	.05(.01)	-.297	.768
H_베타	.10(.04)	.09(.03)	-.943	.353
감마	.13(.05)	.10(.03)	-1.463	.154

Note. *: $p < .05$; ¹⁾Mann-whitney U test 실시

Table 6. Comparison of CPT performances

Variables	ASD 동반 지적장애(N=17명)	지적장애(N=16명)	<i>t/U</i>	<i>p</i>
	<i>M(SD)</i>	<i>M(SD)</i>		
Commission error	63.24(22.83)	64.58(29.11)	.149	.883
RT	580.11(350.74)	671.04(338.64)	110.000 ¹⁾	.363
Omission error	10.84(9.19)	12.56(14.82)	140.500 ¹⁾	.873
d'	1.00(.95)	0.88(1.03)	149.000 ¹⁾	.657
	.58(.33)	.74(.51)	1.058	.298

Note. ¹⁾Mann-whitney U test 실시

논 의

본 연구에서는 경도 지적장애만을 가지고 있는 집단과 경도 지적장애를 수반한 자폐 스펙트럼 장애를 가진 집단의 EEG 절대 파워와 상대 파워에 차이가 있는지 탐색하였다. 이를 위해 2개 채널의 단순화된 EEG 장치를 이용하여, 휴식 조건과 과제 조건에서 경도 지적장애 아동 16명과 경도 지적장애를 수반한 ASD 아동 17명의 EEG 절대 및 상대 파워를 비교하였다. 그 결과, 휴식 조건의 뇌파에서는 모든 주파수에 대해 두 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 과제 조건에서는 감마 절대 파워를 제외한 모든 주파수에 대해 두 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 감마 절대 파워의 경우, 경도 지적장애를 수반한 ASD 집단이 경도 지적장애 집단에 비해 유의하게 높았다. 본 연구의 결과와 함의는 다음과 같다.

첫째, 경도 지적장애 집단과 경도 지적장애를 수반한 ASD 집단의 EEG 파워가 휴식 조건에서 차이가 없음이 확인되었다. 이는 지적장애와 ASD 집단 각각을 정상 발달 집단과 비교한 선행 연구를 통해 관찰된 두 집단 EEG 파워의 유사성을 직접적으로 입증한 결과로, ASD 집단의 EEG 파워를 탐색할 시 지적장애 여부를 확인할 필요가 있음을 시사한다. ASD 집단을 대상으로 한 선행 연구의 다수가 참여자들의 지적장애 수반 여부를 명확하게 보고하거나 통제하지 않았는데, ASD와 지적장애의 공병률이 30-70% 정도로 매우 높음 (La Malfa et al., 2004; Matson & Shoemaker, 2009; CDC, 2018)을 고려하면 관찰된 EEG 파워가 지적장애의 특징과 연관이 있을 가능성이 있다. 더불어, 상기 기술하였듯 ASD와 (Chan et al., 2007; Dawson et al., 1995; Hames et al., 2016; Stroganova et al., 2007) 지적장애 집단 (Gasser et al., 1983a; Psatta et al., 1991)의 휴식 조건 EEG 파워를 탐색한 선행 연구들에서는 두 집단 모두 저주파 대역에서는 높은 파워, 중간 주파 대역에서의 낮은 파워를 보였는데, 이러한 두 집단의 유사성 또한 이 가능성을 간접적으로 지지한다. 이에 본 연구는 지적장애 여부를 통제함으로써 지적장애와 EEG 파워의 연관성을 직접적으로 검증하고자 하였고, 집단 간 EEG 파워의 차이가 없다는 결론을 통해 그 연관성을 확인하였다. 본 연구의 결과는 반복 검증이 필요하지만, 적어도 ASD 집단의 EEG 파워를 규명하려 할 때 지적장애 여부를 필수적으로 고려해야함을 보여준다. 이 주장은 ASD 집단을 대상으로 한 연구의 40%에 지적장애 여부가 기술되어 있지 않았다는 점을 통해 ASD 연구에 지적장애 수반에 대한 정보를 명시해야 함을 역설한 메타 분석 결과 (Russell

et al., 2019)를 통해서도 지지될 수 있다.

둘째, 경도 지적장애 집단과 경도 지적장애를 수반한 ASD 집단이 감마 절대 파워를 제외하고 과제 조건 EEG 파워에서 차이가 없음을 확인하였다. 인지 과제 상황에서 관찰된 EEG는 해당 조건에서 발생한 뇌의 역동이나 변화 과정을 반영함을 고려하였을 때 (Billeci et al., 2013), 본 연구의 결과는 두 집단이 과제 수행 중 유사한 인지적 과정을 겪었을 가능성을 시사한다. 특히, 본 연구에서는 참여자들의 지속적인 주의를 측정하는 연속 수행 과제를 사용하였는데, 해당 과제를 통해 측정된 각성 상태에서의 집중 및 몰입 수준은 섀타, SMR파, 중간 베타 파워와 관련된 것으로 보고된다 (Ga et al., 2015). 본 연구에서 두 집단 간 섀타, SMR파 및 중간 베타 파워에서 유의한 차이가 발견되지 않았는데, 이는 과제 수행 시 두 집단의 주의 집중도가 유사한 수준이었음을 시사한다. 이는 아마도 연속 수행 과제에서 주의 집중을 의미하는 지표인 Omission error의 수행에서 집단 간 차이가 없었던 점과 관련이 있을 것이다. 본 연구는 정상 집단을 포함하지 않고 진행되었으므로, 두 집단 간 EEG에서 차이가 나타나지 않았음이 무엇을 의미하는 것인지 구체적으로 파악할 수 없다는 제한점이 있으나, 적어도 주의 집중이라는 인지 과정의 한 부분에 대한 유사성은 확인하였다. 추후, 다른 인지 영역과 정상 발달 집단을 포함한 탐색을 진행함으로써 두 집단 간 인지적 유사성이 주의 집중 영역에 한정된 것인지, 혹은 다른 인지 처리 과정에서도 관찰되는지, 그리고 이 유사성이 정상 발달 집단과 어떤 차이가 있는지에 대해 규명하여 본 연구의 결론을 보완할 필요가 있다.

한편, 흥미롭게도 과제 조건에서 감마 절대 파워에 대한 두 집단 간 차이가 관찰되었는데, 지적장애를 수반한 ASD 집단의 감마 절대 파워가 지적장애 집단에 비해 유의미하게 높은 것으로 나타났다. 연구 결과는 과제 조건에서의 높은 감마 절대 파워가 지적장애가 아닌 ASD와 연관이 있을 가능성을 시사한다. 몇몇 기존 연구는 과제 상황에서 관찰된 ASD 집단의 높은 감마 파워가 억제 조절 체계에서의 결합과 연관이 있다고 주장한다 (Casanova et al., 2002, 2003; Whittington et al., 2000). 이로 인해 ASD 집단은 특정 인지 과제나 자극을 처리할 때 고주파 대역에서 불필요한 신경 세포가 발화되며, 그에 따라 고주파 대역인 감마 파워의 수치가 올라간다는 것이다. 본 연구는 과제 상황에서 지적장애를 수반한 ASD 집단과 지적장애 집단을 비교하는 설계를 통해 집단 간 지적장애 여부를 통제하였다는 점에서, 그리고 높은 감마 파워가 ASD의 병리적 특징에서 비롯된 것인지 또는 지적장애의 특징에서 비롯된 것인지에 대한 결론을 내

릴 수 없었던 선행 연구(Orekhova et al., 2007)의 제한점을 보완하였다는 점에서 의의가 있다.

셋째, 본 연구에서는 2개 채널의 단순화된 장치를 통해 측정이 어려운 집단의 EEG 데이터를 수집했다는 데 의의가 있다. 본 연구에서는 해당 장치를 사용하여 EEG 측정에 대한 내성이 낮은 신경발달장애 집단의 뇌파 데이터를 성공적으로 수집하였다. 전통적인 EEG 측정은 머리뿐 아니라 손가락, 가슴 등 여러 신체 부위에 많은 전극을 부착하는 방식으로 진행되는데, 이러한 측정 방식은 기기의 부착 및 측정 과정에서 많은 시간과 행동적 제약이 요구되므로 아동이나 정신과적 장애 집단 등에 적용하기 어렵다(Johnstone et al., 2012). 특히 본 연구의 참여자들은 여러 행동 문제를 보이는 신경발달장애 아동 및 청소년으로, 전통적 EEG 디바이스의 사용이 더욱 어려울 수 있음을 추론할 수 있다. 이에 본 연구에서는 단순화된 2채널 무선 건식 전극 장치를 사용하였는데, 착용 시간이 15초 남짓으로 매우 짧고 용이하며 착용감이 우수하다는 장점이 있다. 실제 본 연구에서 EEG 장치의 착용을 거부하거나 불편감을 드러낸 참여자가 거의 없었는데, 이는 단순화된 EEG 장치가 지적 능력이 손상된 아동 및 청소년 인구에 실질적으로 적용될 가능성을 보여준다. 뇌파 측정의 궁극적인 목적 중 하나가 뇌의 활동을 면밀히 관찰함으로써 정신 장애의 예방이나 인지적 손상의 방지에 중요한 정보를 제공하는 것임을 고려할 때(Mihajlovic et al., 2014), 이러한 간편하고 용이한 EEG 측정은 필수적으로 선행되어야 할 요소라는 점이 시사된다.

본 연구의 한계점과 후속 연구를 위한 제언은 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 정상 발달 집단을 포함하지 않았다. 이는 선행연구에서 확인된 ASD 집단의 EEG 파워가 지적장애와 연관이 있을 가능성에 대해 규명하는 본 연구의 목적과는 부합하지만 두 집단의 EEG 파워의 비정상성 여부를 확인할 수 없다는 제한점이 있다. 따라서 추후 정상 발달 집단을 포함하여 지적장애 및 ASD 집단의 EEG 파워가 높은지 혹은 낮은지에 대한 추가적인 탐색을 진행할 필요가 있다. 두 번째로, 본 연구에서는 33명이라는 비교적 적은 표본 수를 사용하였고, 지적장애 집단 중에서도 경도 지적장애만을 포함시켰다. 따라서 본 연구 결과를 경도 이상 심각도의 지적 장애를 수반한 ASD 집단에 대해서 일반화하고자 하는 경우에는 주의 깊은 해석이 요구된다.

종합하면, 본 연구는 ASD의 특성과 과제 상황 EEG의 관련성을 규명함과 동시에 지적장애와 EEG 파워의 연관성 또한 확인하였다. 특히, 그동안 지적장애 여부를 통제하지 않은 연구에서 관찰된 ASD 집단의 EEG 특성이 실제로는 지

적장애와 연관이 있을 가능성을 제기함으로써 기존 연구의 결과를 다소 조심스럽게 해석해야함을 시사하였다.

References

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Washington, DC: American Psychiatric Publishing.
- Badcock, N. A., Mousikou, P., Mahajan, Y., De Lissa, P., Thie, J., & McArthur, G. (2013). Validation of the Emotiv EPOC® EEG gaming system for measuring research quality auditory ERPs. *PeerJ*, 1, e38.
- Billeci, L., Sicca, F., Maharatna, K., Apicella, F., Narzisi, A., Campatelli, G., ... & Muratori, F. (2013). On the application of quantitative EEG for characterizing autistic brain: a systematic review. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 442.
- Buzsaki, G. (2006). *Rhythms of the Brain*. Oxford University Press.
- Cantor, D. S., Thatcher, R. W., Hrybyk, M., & Kaye, H. (1986). Computerized EEG analyses of autistic children. *Journal of autism and developmental disorders*, 16(2), 169-187.
- Casanova, M. F., Buxhoeveden, D., & Gomez, J. (2003). Disruption in the inhibitory architecture of the cell minicolumn: implications for autism. *The Neuroscientist*, 9(6), 496-507.
- Casanova, M. F., Buxhoeveden, D. P., Switala, A. E., & Roy, E. (2002). Minicolumnar pathology in autism. *Neurology*, 58(3), 428-432.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2018). *A Snapshot of Autism Spectrum Disorder among 8-year-old Children in Multiple Communities across the United States in 2014*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/addm-community-report/documents/addm-community-report-2018-h.pdf>.
- Chan, A. S., Han, Y. M., Leung, W. W. M., Leung, C., Wong, V. C., & Cheung, M. C. (2011). Abnormalities in the anterior cingulate cortex associated with attentional and inhibitory control deficits: a neurophysiological study on children with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 5(1), 254-266.
- Chan, A. S., Sze, S. L., & Cheung, M. C. (2007). Quantitative electroencephalographic profiles for children with autistic

- spectrum disorder. *Neuropsychology*, 21(1), 74.
- Chen, C. C., Hsu, C. Y., Chiu, H. W., Hu, C. J., & Lee, T. C. (2015). Frequency power and coherence of electroencephalography are correlated with the severity of Alzheimer's disease: A multicenter analysis in Taiwan. *Journal of the Formosan Medical Association*, 114(8), 729-735.
- Danis, A., Pêcheux, M. G., Lefèvre, C., Bourdais, C., & Serres-Ruel, J. (2008). A continuous performance task in preschool children: Relations between attention and performance. *European Journal of Developmental Psychology*, 5(4), 401-418.
- Dawson, G., Klinger, L. G., Panagiotides, H., Lewy, A., & Castelloe, P. (1995). Subgroups of autistic children based on social behavior display distinct patterns of brain activity. *Journal of abnormal child psychology*, 23(5), 569-583.
- Dressler, O., Schneider, G., Stockmanns, G., & Kochs, E. F. (2004). Awareness and the EEG power spectrum: analysis of frequencies. *British journal of anaesthesia*, 93(6), 806-809.
- Fernandez-Blanco, E., Rivero, D., & Pazos, A. (2020). Convolutional neural networks for sleep stage scoring on a two-channel EEG signal. *Soft Computing*, 24(6), 4067-4079.
- Ga, Y., Choi, T., & Yoon, G. (2015). Analysis of game immersion using EEG signal for computer smart interface. *Journal of Sensor Science and Technology*, 24(6), 392-397.
- Gasser, T., Von Lucadou-Müller, I., Verleger, R., & Bäcker, P. (1983). Correlating EEG and IQ: a new look at an old problem using computerized EEG parameters. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55(5), 493-504.
- Hames, E. C., Murphy, B., Rajmohan, R., Anderson, R. C., Baker, M., Zupancic, S., ... & Richman, D. (2016). Visual, auditory, and cross modal sensory processing in adults with autism: an EEG power and BOLD fMRI investigation. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 167.
- Hong, K. E., Kim, J. H., Shin, M. S., & Ahn, D. H. (1996). Diagnostic classification and assessment of psychiatrically referred children with inattention or hyperactivity. *Journal of the Korean Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 7(2), 190-202.
- Hwang, K., & Oh, S. W. (2017). Validity of K-WISC-IV short forms. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 36(3), 381-390.
- Johnstone, S. J., Blackman, R., & Bruggemann, J. M. (2012). EEG from a single-channel dry-sensor recording device. *Clinical EEG and neuroscience*, 43(2), 112-120.
- Kang, J. S., Ojha, A., & Lee, M. (2015, November). Concentration monitoring with high accuracy but low cost EEG device. In *International Conference on Neural Information Processing* (pp. 54-60). Springer, Cham.
- Kim, Y. S., Leventhal, B. L., Koh, Y. J., Fombonne, E., Laska, E., Lim, E. C., . . . Grinker, R. R. (2011). Prevalence of autism spectrum disorders in a total population sample. *American Journal of Psychiatry*, 168, 904-912.
- Klimesch, W., Freunberger, R., Sauseng, P., & Gruber, W. (2008). A short review of slow phase synchronization and memory: evidence for control processes in different memory systems?. *Brain research*, 1235, 31-44.
- Knyazev, G. G. (2012). EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(1), 677-695.
- La Malfa, G., Lassi, S., Bertelli, M., Salvini, R., & Placidi, G. F. (2004). Autism and intellectual disability: a study of prevalence on a sample of the Italian population. *Journal of intellectual disability research*, 48(3), 262-267.
- Ma, D. Q., Whitehead, P. L., Menold, M. M., Martin, E. R., Ashley-Koch, A. E., Mei, H., ... & Cuccaro, M. L. (2005). Identification of significant association and gene-gene interaction of GABA receptor subunit genes in autism. *The American Journal of Human Genetics*, 77(3), 377-388.
- Mannion, A., & Leader, G. (2013). An analysis of the predictors of comorbid psychopathology, gastrointestinal symptoms and epilepsy in children and adolescents with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(12), 1663-1671.
- Matson, J. L., & Shoemaker, M. (2009). Intellectual disability and its relationship to autism spectrum disorders. *Research in developmental disabilities*, 30(6), 1107-1114.
- Mihajlović, V., Grundlehner, B., Vullers, R., & Penders, J. (2014). Wearable, wireless EEG solutions in daily life applications: what are we missing?. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 19(1), 6-21.
- Mills, B. D., Lai, J., Brown, T. T., Erhart, M., Halgren, E., Reilly, J., ... & Moses, P. (2013). White matter microstructure correlates of narrative production in typically developing children and children with high functioning autism. *Neuropsychologia*, 51(10), 1933-1941.

- Muhle, R., Trentacoste, S. V., & Rapin, I. (2004). *The genetics of autism. Pediatrics, 113*(5), e472-e486.
- Murias, M., Webb, S. J., Greenson, J., & Dawson, G. (2007). Resting state cortical connectivity reflected in EEG coherence in individuals with autism. *Biological psychiatry, 62*(3), 270-273.
- Naigles, L. R., Johnson, R., Mastergeorge, A., Ozonoff, S., Rogers, S. J., Amaral, D. G., & Nordahl, C. W. (2017). Neural correlates of language variability in preschool aged boys with autism spectrum disorder. *Autism Research, 10*(6), 1107-1119.
- Neuper, C., & Pfurtscheller, G. (2001). Event-related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific features and functional correlates. *International journal of psychophysiology, 43*(1), 41-58.
- Newschaffer, C. J., Croen, L. A., Daniels, J., Giarelli, E., Grether, J. K., Levy, S. E., ... & Reynolds, A. M. (2007). The epidemiology of autism spectrum disorders. *Annual Review of Public Health, 28*, 235-258.
- Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (Eds.). (2005). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins.
- O'Dougherty, M., Neuchterlein, K. H., & Drew, B. (1984). Hyperactive and hypoxic children: signal detection, sustained attention, and behavior. *Journal of Abnormal Psychology, 93*(2), 178.
- Ogino, M., Kanoga, S., Muto, M., & Mitsukura, Y. (2019). Analysis of Prefrontal Single-Channel EEG Data for Portable Auditory ERP-Based Brain-Computer Interfaces. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*, 250
- Orehkova, E. V., Stroganova, T. A., Nygren, G., Tsetlin, M. M., Posikera, I. N., Gillberg, C., & Elam, M. (2007). Excess of high frequency electroencephalogram oscillations in boys with autism. *Biological psychiatry, 62*(9), 1022-1029.
- Peng, H., Xia, C., Wang, Z., Zhu, J., Zhang, X., Sun, S., ... & Li, X. (2019). Multivariate pattern analysis of EEG-based functional connectivity: A study on the identification of depression. *IEEE Access, 7*, 92630-92641.
- Philip, R. C., Dauvermann, M. R., Whalley, H. C., Baynham, K., Lawrie, S. M., & Stanfield, A. C. (2012). A systematic review and meta-analysis of the fMRI investigation of autism spectrum disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(2), 901-942.
- Pop-Jordanova, N., Zorcec, T., Demerdzieva, A., & Gucev, Z. (2010). QEEG characteristics and spectrum weighted frequency for children diagnosed as autistic spectrum disorder. *Nonlinear Biomedical Physics, 4*(1), 4.
- Psatta, D. M., Goldstein, R., & Matei, M. (1991). EEG mapping in mentally retarded children by synthetic arginine vasotocin administration. *Romanian journal of neurology and psychiatry= Revue roumaine de neurologie et psychiatrie, 29*(1-2), 9-16.
- Rane, P., Cochran, D., Hodge, S. M., Haselgrove, C., Kennedy, D., & Frazier, J. A. (2015). Connectivity in autism: a review of MRI connectivity studies. *Harvard review of psychiatry, 23*(4), 223.
- Ratti, E., Waninger, S., Berka, C., Ruffini, G., & Verma, A. (2017). Comparison of medical and consumer wireless EEG systems for use in clinical trials. *Frontiers in human neuroscience, 11*, 398.
- Rogers, J. M., Johnstone, S. J., Aminov, A., Donnelly, J., & Wilson, P. H. (2016). Test-retest reliability of a single-channel, wireless EEG system. *International Journal of Psychophysiology, 106*, 87-96.
- Russell, G., Mandy, W., Elliott, D., White, R., Pittwood, T., & Ford, T. (2019). Selection bias on intellectual ability in autism research: a cross-sectional review and meta-analysis. *Molecular autism, 10*(1), 9.
- Schiff, S., Casa, M., Di Caro, V., Aprile, D., Spinelli, G., De Rui, M., ... & Montagnese, S. (2016). A low cost, user friendly electroencephalographic recording system for the assessment of hepatic encephalopathy. *Hepatology, 63*(5), 1651-1659.
- Sheikhani, A., Behnam, H., Noroozian, M., Mohammadi, M. R., & Mohammadi, M. (2009). Abnormalities of quantitative electroencephalography in children with Asperger disorder in various conditions. *Research in Autism Spectrum Disorders, 3*(2), 538-546.
- Snyder, S. M., Rugino, T. A., Hornig, M., & Stein, M. A. (2015). Integration of an EEG biomarker with a clinician's ADHD evaluation. *Brain and behavior, 5*(4), e00330.
- Spence, S. J., & Schneider, M. T. (2009). The role of epilepsy and epileptiform EEGs in autism spectrum disorders. *Pediatric research, 65*(6), 599-606.
- Stroganova, T. A., Nygren, G., Tsetlin, M. M., Posikera, I. N., Gillberg, C., Elam, M., & Orehkova, E. V. (2007). Abnormal EEG lateralization in boys with autism. *Clinical*

- Neurophysiology*, 118(8), 1842-1854.
- Thapar, A., Cooper, M., & Rutter, M. (2017). Neurodevelopmental disorders. *The Lancet Psychiatry*, 4(4), 339-346.
- Tierney, A. L., Gabard-Durnam, L., Vogel-Farley, V., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. (2012). Developmental trajectories of resting EEG power: an endophenotype of autism spectrum disorder. *PLoS one*, 7(6), e39127.
- Van Diessen, E., Numan, T., Van Dellen, E., Van Der Kooij, A. W., Boersma, M., Hofman, D., ... & Stam, C. J. (2015). Opportunities and methodological challenges in EEG and MEG resting state functional brain network research. *Clinical Neurophysiology*, 126(8), 1468-1481.
- Wang, J., Barstein, J., Ethridge, L. E., Mosconi, M. W., Takarae, Y., & Sweeney, J. A. (2013). Resting state EEG abnormalities in autism spectrum disorders. *Journal of neurodevelopmental disorders*, 5(1), 24.
- Whittington, M. A., Traub, R. D., Kopell, N., Ermentrout, B., & Buhl, E. H. (2000). Inhibition-based rhythms: experimental and mathematical observations on network dynamics. *International journal of psychophysiology*, 38(3), 315-336.
- Yasuhara, A. (2010). Correlation between EEG abnormalities and symptoms of autism spectrum disorder (ASD). *Brain and Development*, 32(10), 791-798.

경도 지적장애를 동반한 자폐 스펙트럼 장애 아동의 뇌파 파워 탐색: 2채널 EEG 디바이스 이용

정경미, 박찬솔, 이후명

연세대학교 심리학과

자폐 스펙트럼 장애(Autism Spectrum Disorder, ASD)는 지적장애와 높은 비율의 동반이환을 보인다고 알려져 있음에도, 기존의 EEG 연구는 이러한 동반이환에 대한 고려 없이 단순히 ASD 집단과 정상 발달 집단을 비교하였다. 본 연구의 목적은 지적장애를 동반한 ASD 집단과 지적장애 집단의 EEG 파워를 비교하는 것이다. 이러한 목적을 위해 2채널 EEG 디바이스를 이용해 휴식 조건과 특정 과제 조건에서 각 집단의 EEG 파워를 비교하였다. EEG 파워의 경우 각 주파수에서의 절대 파워와 상대 파워를 계산하였다. 연구 결과, 휴식 조건의 경우 모든 주파수의 절대 및 상대 파워에서 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았고, 과제 조건의 경우 감마 주파수의 절대 파워를 제외한 모든 절대 및 상대 파워에서 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 ASD와 지적장애 집단의 EEG 패턴이 유사성을 가지며, 추후 ASD 집단을 대상으로한 EEG 연구 시 지적장애 여부에 대한 고려가 필수적임을 시사한다.

주제어: 자폐 스펙트럼 장애, 지적장애, EEG, 단순화 EEG 장치