

REVIEW ARTICLE

J Korean
Neuropsychiatr Assoc
2015;54(1):62-68
Print ISSN 1015-4817
Online ISSN 2289-0963
www.jknpa.org

Received October 20, 2014
Revised December 4, 2014
Accepted January 29, 2015

Address for correspondence
Seung-Hwan Lee, MD
Department of Psychiatry,
Ilsan Paik Hospital, Inje University
College of Medicine,
170 Juhwa-ro, Ilsanseo-gu,
Goyang 411-706, Korea
Tel +82-31-910-7768
Fax +82-31-910-7268
E-mail lshpss@hanmail.net

주의력결핍 과잉행동장애 아동의 뉴로피드백 훈련에 대한 임상적 의의

임상감정인지기능연구소,¹ 로템심리학습상담센터,²
인제대학교 의과대학 일산백병원 정신건강의학과실³

김정인^{1,2} · 윤선경¹ · 오현경² · 이승환^{1,3}

Clinical Significance for Neurofeedback Training of Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder

Jeong In Kim, MA^{1,2}, Sunkyung Yoon, MA¹,
Hyun Kyung Oh, MA², and Seung-Hwan Lee, MD^{1,3}

¹Clinical Emotion and Cognition Research Laboratory, Goyang, Korea

²Rodem Psychology and Learning Counselling Center, Goyang, Korea

³Department of Psychiatry, Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Goyang, Korea

The aim of this article was to determine clinical significance of neurofeedback training of children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). Many previous studies showed that the characteristic pattern of electroencephalogram (EEG) can be found in ADHD children. Neurofeedback training is developed based on this characteristic EEG pattern. Theta power and theta/beta power ratio have been known as useful indicators of neurofeedback training. However, in Korea, direct analysis of EEG change patterns before and after neurofeedback training is very rare. We reviewed the current findings of neurofeedback training of children with ADHD, and its clinical implications were discussed.

J Korean Neuropsychiatr Assoc 2015;54(1):62-68

KEY WORDS Neurofeedback · EEG · ADHD · Theta/beta ratio.

서 론

주의력결핍 과잉행동장애(attention-deficit/hyperactivity disorder, 이하 ADHD)는 2000년대 이후부터 우리나라에서 많이 진단되고 있는 소아 정신 질환 중에 하나이다. 사회 전반적으로 ADHD에 대한 관심이 점차 높아지고 있으며, 원인과 치료에 대한 연구들이 지속되고 있다.^{1,2)} 미국정신의학회 진단기준 및 통계편람, 제4판(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, fourth edition)에 따르면 ADHD의 핵심증상은 부주의, 충동성, 과잉행동으로 유병률은 5.2% 정도 되는 것으로 알려져 있다.³⁾ 우리나라의 경우 구체적인 유병률 조사가 보고된 것은 아니나 이와 비슷하거나 조금 더 많을 것으로 보고 있다. ADHD에 대한 주요 치료방법은 약물 치료이다. 주로 amphetamine, methylphenidate 등 중추신경 각성제를 사용하는 것으로 알려져 있다. Barkley 등⁴⁾의 보고에 따르면, ADHD 환자에게 약물치료를 시행하는 비율은 약 70%라고 한다. 그리고 약을 복용하는 환자 중에서 효과가 있다고 보고하는 비율이 70~80% 정도 된다고 알려져 있다.⁵⁾

그러나 환아나 보호자가 약물치료 자체를 거부하는 경우도 있고, 불면증, 식욕부진, 성장지체 등의 부작용으로 인해 약물치료를 꺼리는 경우도 있다.⁶⁾ 장기간 지속되는 긍정적인 효과도 부족하다는 의견⁷⁾도 있으며, 약물치료가 중단되면 이전 상태로 돌아가는 경우도 있다고 알려져 있다.⁸⁾ 이러한 이유로 주의집중 훈련, 행동수정, 인지행동치료, 뉴로피드백 훈련 등이 약물치료의 대안으로 제시되고 있다. 특히 뉴로피드백 훈련은 두뇌활동과 직접적인 관련성이 있다고 보고, 많은 연구자들로부터 관심을 지속적으로 받아왔다. 여러 의견이 존재하지만 상당수의 연구자들은 뉴로피드백 훈련이 ADHD 아동에게 약물 치료 효과에 버금가거나 그 이상의 효과를 나타내고 있다고 주장한다. 우리나라에서도 ADHD 아동의 치료에 뉴로피드백 훈련을 시도하는 경우가 늘고 있으며, 이에 대한 치료 결과를 보고하고 있다. 이 글에서는 ADHD 환자를 대상으로 한 뉴로피드백 훈련의 내용과 결과에 대해서 살펴 보고자 한다.

뇌파(Electroencephalogram, EEG)

뇌파는 뇌의 전기적인 활동을 두피에 부착된 전극을 통해서 측정된 전기 신호를 말한다. 1875년 Richard Caton에 의해 처음 발견된 이후 1929년 Hans Berger에 의해서 사람의 뇌파가 처음 기록되었다.⁹⁾ 뇌파는 복잡한 패턴으로 진동하는 파형형태를 보이기 때문에, 특정 주파수에 따라 구분할 수 있으며, 진폭과 주파수에 따라 delta, theta, alpha, sensory motor rhythm(이하 SMR) beta, mid beta, high beta, gamma로 구분할 수 있다.

Delta

0.5~3 Hz 범위에 속하며, 중심 주파수는 약 1.3 Hz로 알려져 있다. 뇌파의 진폭이 가장 크며, 깊은 수면, 무의식 상태와 관련이 깊다. 뇌의 정보처리 속도를 늦춰 의식의 활동을 방해한다고 한다.¹⁰⁾ ADHD나 학습장애를 가진 아이들에게서 theta 뿐만 아니라 delta가 크게 나타나는 것으로 보고되고 있다.¹¹⁾

Theta

4~8 Hz 범위에 속하며, 중심 주파수는 6.3 Hz이다. 진폭이 크고 느린 서파이다. Theta는 주로 졸릴 때 나타나는 것으로 알려져 있다. 꿈을 꾸거나 명상을 할 때 나타나며, 의식과 무의식 사이에 존재한다고 알려져 있다.¹²⁾ 작업기억(working memory)의 부호화 과정(encoding process)과 인출(retrieval) 과정에도 관련이 있어 보인다. 정상인에게서 theta 훈련을 실시하면 인지적 불안이 감소하고 집중력 등이 향상되어 최고 수행능력(peak performance) 성취에 도움이 되는 것으로 보고된다.¹⁰⁾

Alpha

8~12 Hz 범위에 속하며, 중심 주파수는 약 10.3 Hz이다. 속파와 서파의 중간속도로 잠재의식과 의식을 연결하는 다리 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 흔히 명상상태에서 관찰되는 뇌파로 알려져 있다.

Beta

Sensory motor rhythm beta(12~15 Hz), mid beta(15~18 Hz), high beta(20 Hz)로 구분하며 각기 다른 상태를 반영하는 것으로 알려져 있다. SMR은 속파에 속하며, 수동적인 두뇌 활동 상태를 의미한다. Mid beta는 SMR에 비해 속파이며, 눈을 감고 각성시에 측두엽에서, 눈을 떴을 때에는 전두엽에서 주로 나타나는 것으로 알려져 있다. 정상적인 논리적 사고와 문제 해결과정, 외적 주의력과 관련이 깊다. High

beta의 경우 긴장과 불안과 관련되어 있으며 걱정, 불안, 꼬리에 꼬리는 무는 부정적인 생각(overthinking), 반추(ruminating) 등과 관련이 있다. 정신질환에서는 강박장애와 관련이 있다고 한다.¹¹⁾

Gamma

38~45 Hz 범위에 속하며, 중심 주파수는 약 40 Hz이다. 가장 빠른 속파로 알려져 있으며, 고도의 복합정신기능을 수행할 때 나타난다고 알려져 있다.

ADHD 뇌파의 특성

Attention-deficit/hyperactivity disorder 아동의 중추신경계 부위에서 정상아동에 비해 각성 상태가 낮게 나타난다는 결과가 있다.¹³⁾ 선행된 연구 결과들에 의하면, ADHD 증상은 비정상적인 뇌파형태와 관련이 있는 것으로 보인다. ADHD 아동은 전두엽 영역에서 속파보다는 서파의 활동성이 높고, 불규칙한 파형을 보인다. 그리고 후두엽 영역에서도 속파의 활동성이 낮은 것으로 알려져 있다.¹⁴⁾ 2000년에 발표된 Kim 등¹⁵⁾ 연구에 따르면 delta가 증가하고 beta가 감소하는 비슷한 결과가 제시되었다. 또한 Luba¹⁶⁾는 ADHD 아동들이 정상아동에 비해서 전두엽 부위에서 delta가 유의하게 증가하지만, beta는 감소하여 각성이 감소된다고 하였다. Mann 등¹⁴⁾도 건강한 아동의 경우 책을 읽거나 계산을 하거나 집중해서 들을 때 우측 전두엽 부위의 beta가 증가하지만, ADHD 아동은 전두엽 부위의 theta와 같은 서파가 증가한다고 하였다.

ADHD 아동의 뇌파 분석 : 정상과 비정상의 분류

정상 EEG

Montgomery 등¹⁷⁾은 젊은 대학생들 중심으로 한 정상 electroencephalogram(이하 EEG) 연구에서 눈을 감은 상태와 눈을 뜬 상태로 나누어 Cz 영역에서 정상 범위를 측정하였다. 이 연구를 통해서 얻게 된 결과들은 정상과 비정상에 대한 기준으로 인식되어 정상과 비정상을 판단하는 도구로 활용되었다(표 1).¹⁷⁾

Theta/beta ratio

Lubar 등¹⁸⁾은 자신의 연구를 통해서 ADHD 환자의 C3, Fz, Cz, C4에서 theta가 높다는 사실을 밝혀냈다(그림 1). ADHD 아동의 경우 Cz에서의 theta가 정상 아동에 비해서 증가한다. 더구나 이러한 패턴은 ADHD 아동에서 성인 ADHD에 이르

기까지 나이에 상관없이 비슷한 양상을 보인다.¹⁹⁾

Attention-deficit/hyperactivity disorder 아동의 경우 Cz, C3, C4, Fz에서 theta/beta ratio가 3 : 1을 초과하는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ Theta/beta ratio는 ADHD 아동을 선별할 수 있는 유용한 기준으로 볼 수 있지만 이에 대해서는 다양한 의견들이 있다. 정상인의 경우 나이에 따라 theta/beta ratio가 감소한다. 그리고 정상인을 ADHD로 진단을 내리는 비율이 18% 정도 된다.¹⁹⁾ 반대로 ADHD 환자를 제대로 진단하지 못하는 비율도 16% 정도 된다.²⁰⁾

그럼에도 불구하고 theta/beta ratio는 ADHD를 평가하기 위한 도구로 많이 쓰이고 있다. 1991년 Lubar¹⁶⁾는 정상인 피험자와 ADHD 아동의 theta/beta ratio 비교 연구를 통해서 두 집단 간의 차이가 있다는 것을 발견하였다. Lubar¹⁶⁾의 연구 결과를 토대로 전두엽과 두정엽부위에서 theta는 감소시키고, beta는 활성화시키는 훈련법이 개발되었다. 훈련을 통해서 얻게 된 결과는 ADHD 아동의 임상적 특징을 판별할 수 있는 측정방법으로 발전되었다. 과거 실시된 연구들을 살펴보면, ADHD를 진단하기 위해서 그리고 뉴로피드백 훈련의 효과를 분석하는 도구로 theta/beta ratio를 활용한 것을 알 수 있다.²¹⁻²⁸⁾

나아가 theta/beta ratio가 정상과 ADHD 환자를 구분할 수 있는 유용한 지표가 될 수 있으며, 설문지나 행동 척도 평정

보다도 더 정확하게 진단할 수 있는 생리적 지표가 될 수 있음을 알 수 있다.^{20,29-32)} 따라서 본 연구에서도 우리나라에서 시행된 뉴로피드백 훈련을 성과를 평가하는 주요지표로 theta/beta ratio를 활용하고자 한다.

비대칭(Asymmetry)

Theta/beta ratio를 살피는 방법이 매우 유용하지만 때때로 두피로부터 잡파(artifact)가 잡히기도 한다. 또 EEG 연구가 두피에서 나타나는 전기 반응을 증폭하고 분석하는 방식으로 진행한다. 이러한 이유로 여러 가지 방법론에 따라서 결과 값이 달라질 수 있다.³³⁾ Demos¹¹⁾는 눈을 뜬 상태에서 좌우반구와 눈을 감은 상태에서 전두엽과 후두엽 간의 beta, alpha, theta파를 비교하였을 때 비대칭성을 보인다고 하였다. 그는 자신의 저서에서 눈을 뜬 상태에서 좌우반구를 비교할 때 beta는 좌반구가 높고 alpha는 우반구가 높으며, theta는 비슷하다고 하였다. 또한 눈을 감은 상태에서 전후를 비교하였을 때 beta와 theta는 전두엽이 alpha는 후두엽이 높다고 하였다. 이를 토대로 두뇌의 좌우나 전후 비대칭성을 이용하면 진단을 내릴 수 있다고 하였다.¹¹⁾

뉴로피드백 훈련 전후의 뇌파의 변화

1995년 Rossiter와 La Vaque³⁴⁾가 시행한 연구 결과를 살펴보면, 뉴로피드백 훈련이 약물 치료와 같은 효과를 보인다고 보고하였다. Monastra 등³⁵⁾의 연구에서도 뉴로피드백 훈련을 받은 환자군이 약물치료를 받은 환자군에 비해서 집중력이 나아지는 것을 보고하였다. 뉴로피드백 훈련이 뇌파를 변화시켜 집중력을 높이고 충동성을 약화시키는 것으로 보인다.

일반적으로 ADHD 아동을 위한 뉴로피드백 훈련은 2가지 유형으로 분류된다. 첫째는 SMR을 기반으로 한 theta/beta

Table 1. Normative distribution of bandwidths at Cz, eyes-open, and eyes-closed

Eyes closed	Bandwidths	Eyes-open
16.6 μ V	Alpha	9.3 μ V
12.4 μ V	Theta	10.7 μ V
8.1 μ V	Beta	6.4 μ V
5.1 μ V	SMR	4.4 μ V
1.6 : 1	Theta-beta ratio	1.8 : 1

Adapted from Montgomery et al.¹⁷⁾ J Neurother 1998;2:1-7.
SMR : Sensory motor rhythm

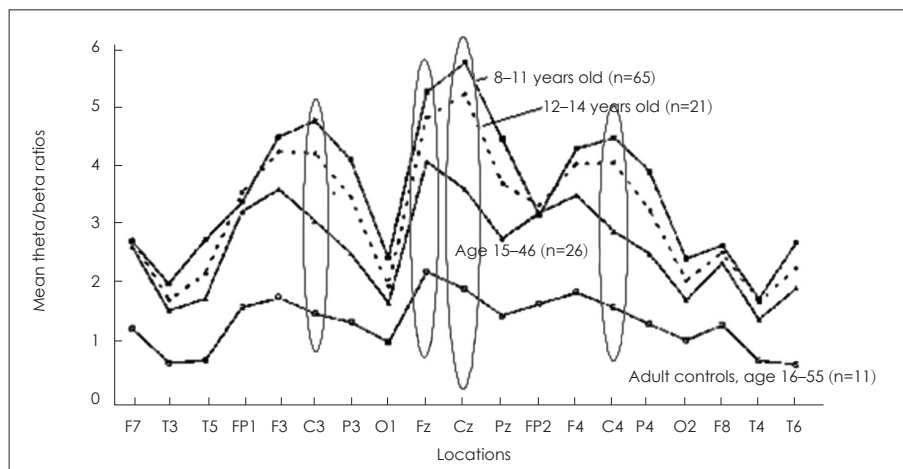


Fig. 1. Mean theta/beta ratios database with ADHD and adult group (eye-opened). Permitted and Adapted from Lubar et al.¹⁸⁾ [J Psychoeducational Assessment (ADHD Special, 1995), pp.143-160; Copyright 2015 by copyright holder, Reprinted by Permission of SAGE Publications, Inc.].

훈련이다. 이 훈련은 전두엽과 두정엽 부위의 theta는 억제하고 beta는 활성화시키는 훈련방법이다. 두 번째는 느린 피질 전위(slow cortical potential, 이하 SCP) 훈련이다. SCP란 사건유발전위(event-related potential)의 하나로 상층 뇌피질에서 기원하여 500 ms에서 수초의 잠복기 이후에 관찰되는 전위를 말한다.³⁶⁾ SCP는 두 가지 종류로 나눌 수 있는데 음의 SCP는 어떤 행동을 준비하는 상태에서 관찰되는 것으로 알려져 있고, 양의 SCP는 행동을 억제하는 동안 관찰된다고 알려져 있다.³⁶⁾ Kotchoubey 등³⁷⁾의 연구와 Rockstroh 등³⁸⁾의 연구 결과를 토대로 살펴보면 SCP를 조절하여 주의력 및 충동 조절의 능력을 향상시킨 것으로 나타났다.

우리나라의 경우 NeuroCom System을 활용하여 C3, C4에서 beta-SMR 훈련을 주로 사용하고 있는 것으로 보인다. 이 훈련은 앞서 제시한 바와 같이 theta를 억제하고 beta를 활성화시키는 훈련으로 통상적으로 15~20회기를 기준으로 실시한다. C3에서 실시하는 훈련은 좌측 뇌의 mid-beta를 활성화시키고, theta를 감소시키는 훈련을 한다. 이 훈련을 통해서 좌측 뇌의 활성화를 높이고 과잉행동 상태에서 나타날 수 있

는 신체 운동성을 억제하는 효과를 기대할 수 있다. C4에서 실시하는 훈련은 우측 뇌의 SMR을 증진시키고, theta를 감소시키는 훈련을 한다. 이 훈련을 통해서 우측 뇌를 안정화시키고 주의집중을 향상시키는 효과를 기대할 수 있다.

훈련방법은 ADHD 아동이 자신의 모니터를 보면서 게임이나 기타 다양한 과제를 실행한다. 동시에 뇌파를 측정하며, 치료자는 자신의 모니터를 통해서 환자의 뇌파 상태를 보며 역치(threshold)를 조절하여 과제의 난이도를 조정한다. ADHD 아동은 치료자가 조정하는 목표치에 도달할 수 있도록 집중을 하고 치료자가 목표한 목표수치에 이르면 게임이 원활하게 작동하여 긍정적인 피드백을 받게 된다. 뉴로피드백 훈련은 뇌파를 이용한 훈련방법이기는 하지만 훈련 원리는 조작적 조건화에 따라 진행된다는 것을 알 수 있다.

본 연구를 위해서 ADHD, 주의력결핍 과잉행동장애, 주의력결핍 과다행동장애, 뉴로피드백 훈련(뉴로피드백), 뇌파 훈련, EEG, theta/beta ratio 등의 주요 키워드를 중심으로 교육학, 의학, 심리학, 뇌과학, 뇌파 등 관련학과 및 국내 학회지에서 발표된 2000년 이후 학위 논문과 학회지 저널 등을 중심

Table 2. Results of the theta/beta ratio meta-analysis of the papers that were recently published

					Before	After
Yoo (2009) ³⁹⁾	Subjects : n=38	Left hemisphere		Theta/beta ratio	2.63	2.63
	Neurofeedback			Theta	15.53	15.53
	training+medication (n=19),			Beta	5.90	5.89
	Medication (n=19)	Right hemisphere		Theta/beta ratio	2.36	2.20
	C3, C4/20 sessions			Theta	16.7	15.38*
				Beta	7.06	6.96
					Before	After
Roh et al. (2011) ⁴⁰⁾				Theta/beta ratio	2.86	2.96
	Subjects : n=32	AD HD - IA	N	Theta	15.12	12.56†
	Neurofeedback (n=12),			Beta	5.28	4.24*
	Neurofeedback					
	training+medication (n=9),	N + M	N	Theta/beta ratio	2.66	2.67
	Medication (n=11)			Theta	16.16	13.92*
				Beta	6.06	5.20*
				Theta/beta ratio	2.89	3.15
		AD HD - CT	N	Theta	15.63	15.70
	C3, C4/20 sessions			Beta	5.40	4.97
				Theta/beta ratio	3.37	3.14
			N + M	Theta	16.73	14.00
	Beta	4.95		4.45		
Kwon (2012) ⁴¹⁾	Subjects : n=30			1 session	10 session	20 session
			Theta/beta ratio	2.35	2.27	2.25
	C3, C4/20 sessions		Theta	13.21	12.61	12.33
			Beta	5.68	5.62	5.55

* : p<0.05, † : p<0.01. ADHD : attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD-IA : ADHD-inattention type. ADHD-CT : ADHD-combined type, C3 : LH sensorimotor cortex, C4 : RH sensorimotor cortex, M : medication, N : neurofeedback training, N+M : neurofeedback training with medication

으로 논문들을 수집하였다. 우리나라에서 ADHD 아동에 대한 뉴로피드백 치료의 효과를 검증한 논문은 6편이 발표되었다. 그 중 theta/beta ratio를 이용한 논문은 4편이 있으며, 나머지 2편의 경우는 SCP 훈련을 이용한 것이었다. 4편의 논문 중 1편은 theta/beta ratio를 분석도구로 활용하지 않고 뉴로피드백 훈련 이후 설문 평가 결과를 비교하는 방식으로 진행되었다. 따라서 theta/beta ratio로 뉴로피드백 훈련의 성과를 분석한 3편의 논문을 중심으로 분석하였다(표 2).

우리나라의 경우 ADHD 아동에게 뉴로피드백 훈련을 실시하는 것은 흔한 편은 아니다. 그러나 뉴로피드백 훈련에 대한 관심이 늘면서 뉴로피드백 훈련을 시도하는 경우가 늘고 있다. 그리고 훈련의 효과 연구도 늘고 있다. 뉴로피드백 훈련에서 가장 일반적인 형태는 C3, C4에서 theta와 beta를 활용한 훈련이라고 볼 수 있다. 실제로 우리나라에서 발표된 논문 중의 상당수가 이 훈련을 활용하였다.

우리나라에서 시행된 연구들의 결과를 살펴보면, 아동, 부모, 교사가 평정하는 설문지의 평가 결과가 뉴로피드백 훈련 전후로 의미 있는 향상을 보이는 것으로 나타났다.³⁹⁻⁴¹⁾ 뉴로피드백 훈련을 받은 ADHD 아동에게서 부주의, 충동성, 과잉행동 증상이 감소하였다는 연구 결과도 있다.⁹⁾ 그러나 theta/beta ratio를 살펴보면 유의미한 향상을 보여주지 못했다. 이러한 결과는 Gevensleben 등⁴²⁾의 연구 결과와도 일치한다. 대부분의 연구에서 theta는 감소하고 beta가 향상되는 결과를 예상했지만 실제 결과는 예상과 달랐다. Theta와 beta 모두 감소하거나, 변화가 없거나, theta만 감소하고 beta는 변하지 않았다. 더구나 theta/beta ratio는 거의 변화가 없었다. 그러나 그들은 뉴로피드백 훈련의 효과가 있을 거라고 주장한다. 왜냐하면 뉴로피드백 훈련 전후 실시한 행동 평정 결과들이 긍정적으로 변화하였고, 이것이 뉴로피드백 훈련의 효과일지도 모른다고 여기기 때문이다. 이러한 결과에 대해서 Yoo³⁹⁾는 beta가 짧은 훈련으로 증가되지 않기 때문이라고 설명하고 있다. 우리나라에서는 일반적으로 15~20회기를 기준으로 뉴로피드백 훈련을 시행하고 있다. 기존의 연구에서 시행된 뉴로피드백 훈련 횟수는 모두 20회기였다. 그러나 Rossiter와 La Vaque³⁴⁾는 20회기의 훈련 뒤 향상을 보았다면 20회기를 더해서 상태를 안정화시키는 것이 좋다고 말한다. 그리고 일부 연구자들도 뉴로피드백 훈련은 50회기 이상 장기적으로 유지하는 것이 좋다고 주장하기도 한다.

뉴로피드백 훈련은 조작적 조건화 원리를 사용한다. 조작적 조건화는 우연히 어떤 행동이 긍정적인 결과로 이끌거나 혹은 긍정적인 보상물을 받게 되면, 재현하는 방법을 터득하여 반복학습을 통해 배운다는 것을 의미한다. 뉴로피드백 훈련 중에 ADHD 아동이 얻는 보상은 자신이 바라보는 컴퓨터

게임이 좀 더 원활하게 잘 되거나 성공 시 신호음을 듣는 것이다. 치료자는 ADHD 아동이 보상을 받을 수 있도록 목표 수준을 유연하게 조절해야 한다. 그 결과 ADHD 아동은 theta나 beta를 조정하고 주의집중을 해서, 일정수준으로 뇌파 상태를 유지하게 된다.

치료자는 ADHD 아동이 뉴로피드백 훈련에 대한 동기가 손상되지 않도록 적절하게 동기화시켜줘야 한다. 다시 말하면, 뉴로피드백 훈련은 뉴로피드백 훈련만으로 완성되는 것이 아니라고 할 수 있다. 좀 더 복잡적이고 통합적인 형태의 치료프로그램인 것이다. 그러다 보니, ADHD 아동이 뉴로피드백 훈련에 대한 적절한 동기를 유지하면서, 목표에 도달하기 위한 상태를 유지하기 위해서는 무엇보다도 치료자의 능력이 매우 중요하다고 할 수 있다. 치료자가 초심자이거나 뉴로피드백 훈련의 원리, 그리고 조작적 조건화에 대한 충분한 이해가 없다면 효과적으로 치료하기 어렵다. 뉴로피드백 훈련의 효과가 분명하게 나타나기 위해서는 뉴로피드백 훈련에 대한 치료자의 이해가 필요하다. 치료자는 적절한 교육을 받아야 하며, 치료경험이나 경력이 충분해야 한다. 다양한 치료 사례를 가지고 있어서 문제가 발생했을 때 유연하게 대응할 줄 알아야 한다. 치료자의 조건이 뉴로피드백 훈련의 효과에 미치는 영향이 크다는 것을 주지하여야 한다. 우리 나라에서 발표된 논문들을 살펴보면 주요 훈련 방식에 대한 구조화된 내용이 언급되었어야 함에도 기존 연구들에게서는 그렇지 못했거나 치료자의 숙련도와 경험에 대해서 정확하게 밝히지 못하고 있다.

Attention-deficit/hyperactivity disorder는 부주의, 과잉행동/충동성, 복합형으로 구분된다. 증상의 특징에 따라 뉴로피드백 훈련도 조금 다르게 적용할 수 있다. 예를 들면, 부주의 유형의 경우는 C3에서 beta 훈련을 하고, 과잉행동/충동성 유형의 경우 C4에서 SMR 훈련을 하며, 복합형인 경우 C3와 C4의 훈련을 같이 하면 된다.⁴³⁾ 모집단을 대표할 수 있는 적절한 피험자였는지 연령, 학력, 지능, 유병기간, 약물처방, 공존질병 유무, 감별진단, 발달력 등을 모아서 선별해야하며, ADHD 아형에 따라 집단을 나눌 필요가 있다.

결론

이상 외국의 임상사례와 우리나라에서 발표된 뉴로피드백 훈련의 결과들을 살펴보았다. 우리나라의 연구에서 뉴로피드백 훈련이 theta/beta ratio를 적절한 수준으로 변화시킨다는 직접적인 증거는 발견되지 않았다. 이러한 결과는 외국의 사례와 비교해서 볼 때에도 크게 다르지 않았다. 또한 뉴로피드백 훈련의 효과에 대해서 부정적인 Holtmann 등⁴⁴⁾의 주장

처럼 뉴로피드백 훈련이 효과가 없다고 볼 수도 있다. 이들은 자신의 연구에서 뉴로피드백 훈련이 비약물적인 치료방법으로 ADHD 아동에게 자주 쓰여지고 있지만 효과를 입증할 만한 증거가 없다고 말한다. 그러나 우리나라보다 뉴로피드백 훈련이 먼저 시행된 외국의 사례를 살펴봐도 뉴로피드백 훈련에 대한 효과에 대해서는 서로 반대되는 주장을 대립하고 있다.

우리나라의 경우 뉴로피드백 훈련을 시작한 지 얼마되지 않은 데다가 효과를 검증하는 연구의 수준이 아직 미흡하며 구체적인 실험설계가 부족하고 치료자변인들을 통제할 수 있는 마땅한 제도가 마련되어 있지 않다.

다행스러운 점은 이전의 연구 결과들이 뉴로피드백 훈련이 실시된 기간 동안 부모나 교사로부터 실시된 평정 결과들은 뉴로피드백 훈련 후 ADHD 아동에게서 긍정적인 변화가 있었다고 알려주고 있다. 무조건 뉴로피드백 훈련이 의미 없다고 단정하는 것보다는 뉴로피드백 훈련 효과에 대한 간접적인 증거 자료는 확인했다고 보는 것이 더 적절할 수 있다.

여전히 우리나라에서 뉴로피드백 훈련을 받는 ADHD 아동은 소수에 불과하다. 치료적 효과를 논의하기엔 충분한 사례수가 모이고 있다고 보기는 어렵다. 아직 서구에 비해서 뉴로피드백 훈련의 역사가 짧고 관련된 연구방법이 미숙한 우리나라의 현 상황을 고려한다면 치료 효과에 대한 연구는 지속되어야 한다. 동시에 적절한 연구방법도 개발시켜야 한다. 피험자 선별에 대한 원칙, 피험자 수, 뉴로피드백 훈련에 대한 구조화와 표준화, 치료자들의 숙련도를 높이기 위한 체계적인 교육, 효과를 검증하기 위한 구체적이고 효과적인 연구 설계 및 통계기법 등 해결해야 할 문제들이 많이 있다.

따라서 이후의 연구들은 앞서 지적한 여러 가지 사항들을 고려하여 신뢰도와 타당도가 높은 연구를 해야 할 것이다.

중심 단어 : 뉴로피드백 훈련 · 뇌파 ·

주의력결핍 과잉행동장애 · Theta/beta ratio.

Acknowledgments

논문 또는 저서는 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A1A2043992).

Conflicts of Interest

The authors have no financial conflicts of interest.

REFERENCES

- 1) Polanczyk G, de Lima MS, Horta BL, Biederman J, Rohde LA. The worldwide prevalence of ADHD: a systematic review and meta-regression analysis. *Am J Psychiatry* 2007;164:942-948.
- 2) Steinhausen HC, Metzke CW, Meier M, Kannenberg R. Prevalence of child and adolescent psychiatric disorders: the Zürich Epidemiological Study. *Acta Psychiatr Scand* 1998;98:262-271.

- 3) American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-IV. 4th ed. Washington, DC: American Psychiatric Association;1994.
- 4) Barkley RA, DuPaul GJ, McMurray MB. Attention deficit disorder with and without hyperactivity: clinical response to three dose levels of methylphenidate. *Pediatrics* 1991;87:519-531.
- 5) Barkley RA. Attention-deficit hyperactivity disorder: a handbook for diagnosis and treatment. New York: Guilford Press;1990.
- 6) Yang M. A comparative study of effects between the combined treatment and medication in children with ADHD [dissertation]. Seoul: Seoul Women's University;2008.
- 7) Banaschewski T, Coghill D, Santosh P, Zuddas A, Asherson P, Buitelaar J, et al. Long-acting medications for the hyperkinetic disorders. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2006;15:476-495.
- 8) Kim HL, Kim JW, Hong SB, Cho JH, Kim BN, Shin MS, et al. Effects of neurofeedback in children with attention deficit hyperactivity disorder: a preliminary study. *J Korean Neuropsychiatr Assoc* 2012;51:326-334.
- 9) Sin KS. Neurofeedback treatment for improvement of attention, alternative medicine [dissertation]. Pocheon: CHA University;2008.
- 10) Suh HS, Park HB. Clinical applications of neurofeedback treatment for insomnia. *Sleep Med Psychophysiol* 2007;14:79-85.
- 11) Demos JN. Getting started with neurofeedback. New York: W.W. Norton;2005.
- 12) Kim DG, Park HB, Ahn YW. Neurofeedback: principles and clinical application. *Korean J Stress Res* 2005;13:93-98.
- 13) Barry RJ, Johnstone SJ, Clarke AR. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: II. Event-related potentials. *Clin Neurophysiol* 2003;114:184-198.
- 14) Mann CA, Lubar JF, Zimmerman AW, Miller CA, Muenchen RA. Quantitative analysis of EEG in boys with attention-deficit-hyperactivity disorder: controlled study with clinical implications. *Pediatr Neurol* 1992;8:30-36.
- 15) Kim BN, Shin SU, Kwon JS, Shin MS, Cho SC, Hong KE. QEEG findings in attention deficit/hyperactivity disorder. *J Korean Neuropsychiatr Assoc* 2000;39:208-218.
- 16) Lubar JF. Discourse on the development of EEG diagnostics and biofeedback for attention-deficit/hyperactivity disorders. *Biofeedback Self Regul* 1991;16:201-225.
- 17) Montgomery DD, Robb J, Dwyer KV, Gontkovsky ST. Single channel QEEG amplitudes in a bright, normal young adult sample. *J Neurother* 1998;2:1-7.
- 18) Lubar JF, Swartwood MO, Swartwood JN, Timmermann DL. Quantitative EEG and auditory event-related potentials in the evaluation of attention-deficit/hyperactivity disorder: effects of methylphenidate and implications for neurofeedback training. *J Psychoeducational Assess* 1995;143-160.
- 19) Loo SK, Makeig S. Clinical utility of EEG in attention-deficit/hyperactivity disorder: a research update. *Neurotherapeutics* 2012;9:569-587.
- 20) Monastra VJ, Lubar JF, Linden M. The development of a quantitative electroencephalographic scanning process for attention deficit-hyperactivity disorder: reliability and validity studies. *Neuropsychology* 2001;15:136-144.
- 21) Bakhshayesh AR, Hänsch S, Wyszkon A, Rezaei MJ, Esser G. Neurofeedback in ADHD: a single-blind randomized controlled trial. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2011;20:481-491.
- 22) Steiner NJ, Sheldrick RC, Gotthelf D, Perrin EC. Computer-based attention training in the schools for children with attention deficit/hyperactivity disorder: a preliminary trial. *Clin Pediatr (Phila)* 2011;50:615-622.
- 23) Arnold LE, Lofthouse N, Hersch S, Pan X, Hurt E, Bates B, et al. EEG neurofeedback for ADHD: double-blind sham-controlled randomized pilot feasibility trial. *J Atten Disord* 2013;17:410-419.
- 24) Lansbergen MM, van Dongen-Boomsma M, Buitelaar JK, Slaats-Willemse D. ADHD and EEG-neurofeedback: a double-blind randomized

- placebo-controlled feasibility study. *J Neural Transm* 2011;118:275-284.
- 25) Logemann HN, Lansbergen MM, Van Os TW, Böcker KB, Kenemans JL. The effectiveness of EEG-feedback on attention, impulsivity and EEG: a sham feedback controlled study. *Neurosci Lett* 2010;479:49-53.
- 26) Perreau-Linck E, Lessard N, Lévesque J, Beauregard M. Effects of neurofeedback training on inhibitory capacities in ADHD children: a single-blind, randomized, placebo-controlled study. *J Neurother* 2010; 14:229-242.
- 27) Lévesque J, Beauregard M, Mensour B. Effect of neurofeedback training on the neural substrates of selective attention in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance imaging study. *Neurosci Lett* 2006;394:216-221.
- 28) Linden M, Habib T, Radojevic V. A controlled study of the effects of EEG biofeedback on cognition and behavior of children with attention deficit disorder and learning disabilities. *Biofeedback Self Regul* 1996;21:35-49.
- 29) Ogrim G, Kropotov J, Hestad K. The quantitative EEG theta/beta ratio in attention deficit/hyperactivity disorder and normal controls: sensitivity, specificity, and behavioral correlates. *Psychiatry Res* 2012;198: 482-488.
- 30) Snyder SM, Quintana H, Sexson SB, Knott P, Haque AF, Reynolds DA. Blinded, multi-center validation of EEG and rating scales in identifying ADHD within a clinical sample. *Psychiatry Res* 2008;159:346-358.
- 31) Quintana H, Snyder SM, Purnell W, Aponte C, Sita J. Comparison of a standard psychiatric evaluation to rating scales and EEG in the differential diagnosis of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychiatry Res* 2007;152:211-222.
- 32) Abibullaev B, An J. Decision support algorithm for diagnosis of ADHD using electroencephalograms. *J Med Syst* 2012;36:2675-2688.
- 33) An JB. EEG asymmetry of depression group and normal group [dissertation]. Seoul: Korea University;2007.
- 34) Rossiter TR, La Vaque TJ. A comparison of EEG biofeedback and psychostimulants in treating attention deficit/hyperactivity disorders. *J Neurother* 1995;1:48-59.
- 35) Monastra VJ, Monastra DM, George S. The effects of stimulant therapy, EEG biofeedback, and parenting style on the primary symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2002;27:231-249.
- 36) Heinrich H, Gevensleben H, Freisleder FJ, Moll GH, Rothenberger A. Training of slow cortical potentials in attention-deficit/hyperactivity disorder: evidence for positive behavioral and neurophysiological effects. *Biol Psychiatry* 2004;55:772-775.
- 37) Kotchoubey B, Strehl U, Uhlmann C, Holzapfel S, König M, Fröscher W, et al. Modification of slow cortical potentials in patients with refractory epilepsy: a controlled outcome study. *Epilepsia* 2001;42:406-416.
- 38) Rockstroh B, Elbert T, Birbaumer N, Lutzenberger W. Biofeedback-produced hemispheric asymmetry of slow cortical potentials and its behavioural effects. *Int J Psychophysiol* 1990;9:151-165.
- 39) Yoo J. The effectiveness of neurofeedback training on the inattention & impulsivity of ADHD children [dissertation]. Busan: Pusan National University;2009.
- 40) Roh OB, Son CN, Park TW, Park SK. The effects of neurofeedback training on inattention and hyperactivity/impulsivity in children with ADHD. *Korean J Clin Psychol* 2011;30:397-418.
- 41) Kwon MS. Effects of neuro-feedback training including behaviour contract with ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder) [dissertation]. Seoul: Kyung Hee University;2012.
- 42) Gevensleben H, Holl B, Albrecht B, Vogel C, Schlamp D, Kratz O, et al. Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. *J Child Psychol Psychiatry* 2009;50: 780-789.
- 43) Fuchs T, Birbaumer N, Lutzenberger W, Gruzelier JH, Kaiser J. Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a comparison with methylphenidate. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2003;28:1-12.
- 44) Holtmann M, Sonuga-Barke E, Cortese S, Brandeis D. Neurofeedback for ADHD: a review of current evidence. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am* 2014;23:789-806.