

## 뉴로피드백의 최신 연구 동향

이혁재 · 박영배 · 박영재 · 오환섭\*

경희대학교 학과간협동과정 한방인체정보의학과, \*경희대학교 기계공학과

### [ Abstract ]

### A Review of Neurofeedback Studies

Hyuk-Jae Lee, Young-Bae Park, Young-Jae Park, Hwan-Sup Oh\*

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

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

#### **Background:**

Neurofeedback is an electroencephalographic biofeedback technique for training individuals to alter their brain activity via operant conditioning. Also neurofeedback is a form of behavioural training aimed at developing skills for brain activity. Within the past decade, several neurofeedback studies have been published that tend to overcome the methodological shortcomings of earlier studies. This research describes the methodical basis of neurofeedback and reviews the evidence base for its clinical efficacy and effectiveness in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD).

#### **Methods:**

In neurofeedback training, self-regulation of specific aspects of electrical brain activity is acquired by means of immediate feedback and positive reinforcement. In frequency training, activity in different EEG frequency bands has to be decreased or increased. Slow cortical potentials (SCPs) training is focused on the regulation of cortical excitability.

#### **Results:**

Neurofeedback studies revealed training-specific effects on, for example, attention and memory processes and performance improvements in real-life conditions, in healthy subjects as well as in patients. In several studies it was shown that ADHD symptomatology was reduced after frequency training or SCP(Slow cortical potentials) training. Moreover a decrease of impulsivity errors and an increase of the contingent negative variation.

#### **Conclusions:**

This research provides evidence for both positive behavioural and specific neurophysiological effects of neurofeedback training. Also there is growing evidence for neurofeedback as a valuable module in neuropsychiatric disorders. Further, controlled studies are warranted.

**Key Words:** Neurofeedback, frequency training, SCP training, ADHD

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

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

## I. 緒 論

뉴로피드백(Neurofeedback)은 뇌의 생리적인 상태를 반영하는 EEG를 자율적으로 조절하여 자신의 뇌기능상의 이상으로 인해 올 수 있는 여러 신체증상을 치료하는 방법을 훈련하는 것을 말한다. 뇌는 다른 신체 부위와 달리 학습기관이기 때문에, 어느 정도 반복 훈련을 하게 되면 장기간 저장되어 자동적으로 학습된 뇌기능 조절방식을 일상생활에서 활용할 수 있다.

일반적인 치료의 개념이 대부분 약을 처방하거나 외과적 처치를 받는 등의 수동성을 내포하고 있는 반면, 학습(learning) 혹은 훈련(Training)은 동기부여와 연습의 반복을 요구하는 능동적 과정이므로, 뉴로피드백은 자기 주도적인 정신 치료법이라 할 수 있다<sup>1)</sup>.

EEG는 인간의 정서 및 정신의 활동상태와 관련을 가지므로 한의학적 활용 가능성이 매우 넓다고 할 수 있다. 心神如一의 전인적 인체관에 기반한 한의학적 관점에서는 정신의 활동을 단지 뇌의 기능 발현으로 파악하지 않고 五臟藏七神에 입각한 인체의 전반적인 생리 병리적 상황의 총화로 이해한다. 이는 뉴로피드백의 근간을 이루는 정신적인 요인과 관련된 생리적인 상태를 함축하는 정신-신체의 상호작용을 말하는 것으로, 몸과 마음의 통합을 이루는 한의학적 전인적 접근과 일맥상통한다고 할 수 있다.

뉴로피드백 연구는 주로 ADHD, 간질과 경련에 대해 연구되어 왔으며, 의학적으로 그 적용범위가 확대되면서 신뢰성 있는 데이터에 의한 논문들을 보고하고 있다<sup>2,3,16,17,25,29-31,37,39,40)</sup>. 최근 들어 한의학에서도 뉴로피드백을 이용한 몇 편의 논문들을 보고하고 있다<sup>7,26,32-34)</sup>.

김 등<sup>26)</sup>은 진전환자에 대하여, 강 등<sup>32)</sup>과 김 등<sup>33)</sup>은 ADHD환자에 대하여 뉴로피드백 지표를 통한

치료효과를 보고하였으나 케이스가 매우 적고 증례 보고에 머물고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 뉴로피드백에 대한 이해와 향후 한의학적으로 임상에서 활용할 수 있는 방안을 제시하고자, 동서양의 최신논문들을 통해 뉴로피드백의 개요, 훈련방법, 훈련방법에 따른 행동 면에서의 변화, 적용 질환 그리고 정상인과 ADHD에서의 임상적 효능 효과를 정리하여 보고한다.

## II. 뉴로피드백의 일반적 개요

뉴로피드백, 일명 EEG 바이오피드백은 뇌의 전기적인 활동이 정신상태를 반영하고, 뇌 활동은 훈련될 수 있다는 기본적인 원칙에 근거를 두고 있다. 기본구조는 두피에 위치한 전극을 사용하여 정보를 기록한 후 그것을 피드백하여 컴퓨터 디스플레이 모니터에 출력하게 되어있다.

따라서 건강하거나 장애를 가진 사람 모두 이러한 뇌파를 감각대상으로 삼아 자신의 정신상태를 조절함으로써, 모니터에 다양하게 출력되어 반영되는 변화를 보면서 미리 결정된 EEG의 패턴 목표에 도달하도록 시도하는 과정에서 특정 주파수 대역에 대해 훈련할 수 있는 것이다. 이러한 방법으로 습득된 자기 조절방법을 EEG 패턴의 학습화된 정상화(Learned normalization)라고 한다<sup>3)</sup>.

반복훈련을 통해 학습된 뇌 기능 조절 방식은 일상생활에서도 활용할 수 있고, 이러한 뉴로피드백의 시행은, 불수의적인 정신신체상태를 조절하는 동양의 요가, 선, 기공, 명상등과 시행의 목적 및 그 방법에서 공통점이 있다<sup>1)</sup>. 또한 몸과 마음의 연관성을 중시하고, 정신과 신체의 陰陽의 편차와 正氣와 邪氣의 불균형에 따라 질병의 발생을 파악하는 생리, 병리관 및 陰陽의 평형을 이루는 방법을 통해 항상성

을 유지하고, 調氣治神의 방법으로 질병을 치료하고 건강을 유지하는 한의학의 개념은, 신체정보의 측정을 이용하여 정신 생리적 반응을 파악하고 스스로 향진된 상태는 낮추고 낮아진 상태는 상승시키는 등의 자기조절을 통해 치료하는 뉴로피드백의 개념과 방법에서 서로 통한다고 할 수 있다.

방법적인 면에서 정신상태는 EEG에 반영되고, 이것은 두피에 위치한 전극을 통해 뇌의 전기활동으로 기록되며, 이러한 뇌 전기 활동의 기록에서 뉴로피드백 훈련의 지표들을 찾을 수 있다. EEG에서 눈을 감은 이완 상태는 베타의 진동으로 특징지어지는 반면, 집중/흥분 상태는 현저하게 높은 주파수, 낮은 진폭활동인 베타를 반영한다. 이러한 활동성 패턴은 콘서트 중 음악가의 EEG나 불안상태의 어린이 EEG(각성 활동) 등으로 특징지어질 수 있다. 하지만 특별한 이벤트 상황에서는 이러한 자발적인 진동 외에 뇌파의 다른 패턴도 볼 수 있는데, 예를 들어 솔로로 연주하는 음악가는 무대에서 집중력과 각오가 꾸준히 증가하는데 이때 네가티브 SCP(Slow cortical potentials)의 증가가 EEG 상에 기록되는 것이다<sup>4)</sup>.

자발적인 EEG와 사상관련전위(Event Related Potential; ERP)는 발전되는 효과를 추적할 수 있고<sup>5)</sup>, EEG와 ERP연구는 아동정신장애의 병리생리학적 배경과 요법의 조정 메카니즘과 관련된 중요한 결과를 밝힐 수 있다<sup>6)</sup>. 사상관련전위(Event Related Potential; ERP)란 자극제시와 관련하여 일정시간동안 나타나는 뇌의 전기적인 활동을 합산하여 평균화한 것으로, ERP의 구성요소 중 가장 널리 알려지고 잘 활용되어온 것이 P300이다. P300은 자극제시후 300ms 혹은 그 이상의 잠재기를 가지고 나타나는 정적 정점으로서 전두엽에서 두정엽 쪽으로 갈수록 더 큰 진폭을 보이는 특징이 있다. 여러 실험에서 P300의 진폭의 증가는 더 나은 기억수행과 관련이 있다고 보고되고 있는데, 이것은 P300의 기능과 이에 관한 심리적 이론의 토대가 되므로 ERP의 P300 요소

는 주의와 기억과 관련된 인지기능을 반영하는 것으로 알려져 다양하게 연구되어 왔다. 한의학에서는 P300이 性情에 차이가 있는 四象人에서 차이가 있을 것으로 가정한 김<sup>7)</sup>의 실험보고에서 P300의 잠복기가 소양인에서 가장 빠르게 나타났으며, 소음인, 태음인의 순서로 감소하였다고 하였다. 따라서 뇌 전기활동의 기록은 어린이와 성인에서 뇌-행동과의 관계를 조사하기 위한 가장 중요한 방법 중의 하나로 생각된다<sup>8)</sup>.

EEG의 진단적 가치는 최근의 발전하는 뇌영상화 기법에 비하여 서양의학적 측면에서는 다소 떨어지지만, EEG가 가지는 정상적 범위에서의 파형적 특성, 개인별 다양성, 인지 활동 반영의 측면에서 한의학적 활용범위는 매우 적절하고 상통하는 면이 있다. 또한 心身如一에 근거한 한의학적 관점에서는 정신의 활동을 단지 뇌의 기능발현으로만 파악하지 않고 五臟藏七神의 명제에서 잘 드러나듯이 인체의 전반적 생리 병리적 상황의 총화로 이해되므로, 인간의 정서 및 정신의 활동 상태와 관련을 가지는 EEG는 한의학적 활용성이 매우 높다고 할 수 있다. 서 등<sup>9)</sup>은 EEG를 한의학적 진단법의 일환으로 사용할 수 있는 이론적 근거의 타당성과 구체적 적용의 방법론으로 설명하면서, 한의학의 形氣論과 고전 역학을 견주어 形氣의 총화로 드러나는 EEG를 내적인 象의 범주로 귀속시킬 수 있는 진단적 활용의 이론적 근거에 대하여 제안한 바 있다.

뉴로피드백은 환자뿐만 아니라 건강한 사람에서도 실생활 상태에서의 집중과 기억과정, 수행능력 향상 등에서 훈련방법에 따른 특이효과를 나타냈으며, 주의력 결핍 과잉행동장애 아동의 경우, 주파수 훈련이나 SCP훈련 후 행동과 인지변수가 향상된 것을 볼 수 있다<sup>8)</sup>. 『靈樞 本神篇』에서 認知란 외부환경 속에 있는 자극을 받아들여 자극의 패턴을 구성하고 해석하며 판단되는 일련의 심리적 과정을 말하며, 인지과정에서 감각, 지각, 기억 및 사유 등의 심리과

정이 포함된다. 이는 인지과정의 한의학적 근거를 찾아 볼 수 있다<sup>10)</sup>.

또한 뉴로피드백 기기는 EEG의 변화를 측정하여 원하는 방향으로 변화가 일어났을 때 강화를 해줌으로 학습이 이루어진다. 행동에 대한 긍정적인 보상이 그러한 행동의 되풀이됨의 가능성을 증가시킨다는 원칙에 따라, 뉴로피드백도 이러한 보상의 효과를 이용한 훈련법이라 할 수 있다. 보상으로서의 행동은 조작적 조건화와 고전적 조건화로 대표되는 학습이론에 바탕을 둔 것으로 자기주도형의 능동적인 정신치료 과정이라 할 수 있다. 한방정신요법 중 驚者平之療法은 약한 자극에서부터 시작하여 점차 강한 자극을 주어 이들 자극에 익숙해지게 하여 증상을 치료하는 방법<sup>12)</sup>으로 최근의 인지행동치료법과 유사하며, 그 이론적 배경은 『素問 舉痛論』의 '驚則氣亂'과 『素問 至真要大論』의 '驚者平之'에 근거하고 있다<sup>13)</sup>. 또한 한의학의 기본이론인 오행상생상극 이론을 심리치료에 응용한 五志相勝療法 중 思勝恐法도 인지치료의 중요한 모델이 된다. 일례로 驚悸怔忡 혹은 氣鬱症의 환자에게 불안하거나 우울할 때의 신체생리학적 반응을 스크린으로 보여줌으로써, 불안, 우울로 인한 신체상의 변화를 인지하여 이로 인한 행동을 교정할 수 있다는 점에서, 뉴로피드백

은 驚者平之療法과 思勝恐法을 임상에서 더 체계화하고 실제화 할 수 있는 방법으로 응용될 수 있을 것으로 생각된다<sup>14)</sup>.

### III. 뉴로피드백의 훈련 패러다임

바이오피드백은 참가자(환자)들이 보통 의식적으로 지각하거나 조절할 수 없는 생리적인 기능에 대해 자기-조절을 얻도록 배우는 자발적 상태의 과정이다<sup>15)</sup>. 이러한 기능을 나타내는 측정치들은, 시각적이거나 청각적인 실시간의 지속적인 피드백으로 변환되어 원하는 방향으로의 변화가 보장되는 긍정적인 강화이다. 바이오피드백은 컴퓨터게임의 형태로 진행되고, 따라서 원칙적으로 아이들에게 더 적당하다. 전기적 뇌 활동으로부터 측정치를 끌어내는데 사용되는 바이오피드백을 뉴로피드백(EEG 바이오피드백)이라 부른다.

완전한 뉴로피드백 훈련방법은 보통 45-60분씩 25-50세션으로 이루어지며, 훈련을 시작할 때는 차단된 훈련이 신경조절 학습과정을 촉진시키는데 더 적당하다. 점차적으로, 어린이는 집에서 하는 방법을 교육받고, 습득한 조절기술을 일상생활로 옮겨서

Table 1. Neurofeedback Training-specific Effort and Indicant

Neurofeedback Training	Feedback Electrode	specific effort	Indicant
주파수훈련 θ 활동성의 감소와 β (특히 13-20Hz) 활동성의 증가	Cz, C3	각성의 증가	ADHD (결합형, 부주의형)
SMR활동성증가	Central	시상-피질억제를 증가시킨다.	간질, 틱장애
+θ 활동성의 감소	Cz, C4		ADHD(결합형, 과잉행동/충동형)
θ / α 비율의 증가	Pz	에너지, 행복, 능력의 증가	분노
Slow cortical potentials (SCPs)훈련 네거티브와 포지티브 SCP생성	Cz	피질의 흥분성조절을 향상시킨다.	간질(흥분성조절에 중점) ADHD

Table 2. Brain Wave Frequency and Brain States

Brain wave	Frequency	Brain states
$\delta$ (delta)	0.5-3Hz	sleep
$\theta$ (theta)	4-7Hz	deeply relaxed, inwardly focused
$\alpha$ (alpha)	8-12Hz	very relaxed, passive attention
SMR $\beta$ (beta)	12-15Hz	relaxed, external attention
Mid $\beta$ (beta)	15-18Hz	active, external attention
High $\beta$ (beta)	18-35Hz	high correlation with anxiety when dominant
$\gamma$ (gamma)	35Hz+	some evidence of association with peak performance states

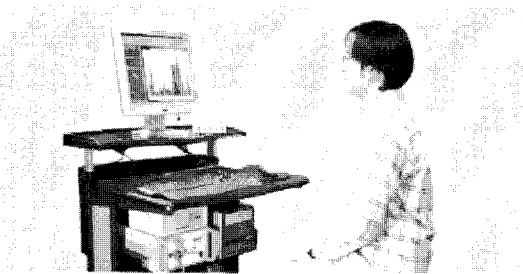


Figure 1. Frequency Training

피드백에 의존하지 않고 시도해 볼 수 있으며, 이는 훈련 전반에 변화를 줄 수 있다.

뉴로피드백의 훈련 방법에는 주파수 훈련, SMR 활동성 증가,  $\theta/\alpha$  비율의 증가, SCP훈련이 있다 (Table 1).

### 1. 주파수 훈련

EEG는 뇌의 상태에 따라 주파수별로 다른 뇌파가 나타나므로 (Table 2), 주파수 훈련에 있어서, 하나 혹은 여러 주파수 밴드에서의 활동성이나 다른 주파수 대역에서의 활동성비율은, 특정 전극위치에서 증가되거나 감소되어야 한다. 종종 ADHD에 적용되는 훈련방법 중 하나는, 두정부(Cz전극)에서의  $\theta$ 밴드의 활동성을 감소시키고 SMR(혹은 low  $\beta$ 밴드)의 활동성을 증가(혹은  $\theta/\beta$  비율의 감소)시키는 것으로

이완상태가 아닌 집중상태에서 얻어진다<sup>16)</sup>.

훈련된 각 주파수 밴드의 활동성은 모니터에서 막대기로 나타나며, 만일 모든 주파수대역의 활동성이 원하는 방향으로 조절된다면, 모니터에 그림이 움직이거나, 비디오게임처럼 점이 생기게 될 것이다 (Figure 1).

### 2. SCP훈련

건강한 사람들은 뉴로피드백 상태에서 그들의 SCP를 조절하는 것을 배울 수 있다. 자기조절은 보통 1-5회 훈련과정 내에서 이루어진다. 대부분의 연구에서, 네가티브 SCPs(흥분증가)와 포지티브 SCPs(흥분감소)는, 체감운동피질(sensorimotor cortex, Cz전극피드백)을 발생시켰다. Elbert 등<sup>17)</sup>은 어린이들도 SCP조절을 배울 수 있다고 보고하였다.

훈련동안 컴퓨터 게임과 같은 모니터 앞에 앉아서 모니터상 개체의 색깔을 바꾸는 적절한 전략을 찾는 것으로, 네가티브 시도는 흰색에서 빨강으로, 포지티브시도는 흰색에서 파랑으로 즉 개체의 흐르는 SCP 진폭치를 나타낸다. 이때 네가티브 시도와 포지티브 시도는 각각 50%씩이다.

## IV. 뉴로피드백의 임상적 효능 효과 탐색

Sterman<sup>3)</sup>은 동물을 실험대상으로 하여, 12-15 Hz사이의 EEG패턴을 증가시키는 'operant conditioning'이라는 방법을 사용하여 EEG를 훈련시킬 수 있다는 것을 증명하였고, 이 주파수대역을 SMR (Sensorimotor rhythm)이라 명명하였다. 또한 독성화학물에 의해 유발된 경련을 SMR 활성을 증가시켜 억제할 수 있다는 것을 발견한 후, SMR을 증가시키는 자발적인 조건화가 간질을 가진 환자의 빈도와 기간, 경련의 정도를 줄이고 때때로 경련을 완전히 조절하도록 시도하였다. 한편 Lubar<sup>2,16,29)</sup>는 ADHD에 대한 자발적 조건화에 대한 연구를 통해  $\theta/\beta$ 의 비율을 측정하는 것이 정상과 ADHD와의 차이점이라는 단서를 발견하는 등,  $\theta$ 와  $\beta$ 비율의 기준을 마련하였다<sup>30)</sup>.

AAPB/SNR joint guidelines에 따라 뉴로피드백이 유용하게 사용되는 질환과 실험적인 단계에 있는 질환을 구별하는 것은 중요하다. ADHD와 경련에는 뉴로피드백이 유용하나, 우울증치료, 알코올중독 치료, CHI, TBI와 하지 못하는 것을 배

우는 아이들에게 뉴로피드백을 적용하는 것은 실험적 단계이다. 아직 증명되지 못한 임상 보고서에 기인한 적용증은 반향언어증을 수반하는 운동실조증과 다른 운동장애들이 있고, Asperger 증후군과 고도의 자폐증, 강박장애와 범 불안장애도 있다. 하지만 불안이 증후군의 일부일 때는 뉴로피드백을 시행하는 것이 괜찮다고 보고하고 있다<sup>4)</sup> (Table 3). 한의학의 치료평가에 있어서, 강 등<sup>1)</sup>은 癲癇, 小兒多動症, 小兒客忤, 遺尿症등의 한방정신과 질환에서 뉴로피드백과 바이오피드백을 병행하여 적용할 수 있다고 보고하였다.

### 1. 정상인에서의 뉴로피드백

정상인의 뉴로피드백 주파수 훈련으로서, 건강인을 대상으로 SMR(Sensorimotor rhythm, 12-15Hz) 훈련, low-beta(15-18 Hz) 훈련, 대조군으로 나누어, 주파수훈련과 대조군을 비교한 뉴로피드백 실험에서, EEG, ERP 기록과 결합된 인지임무의 수행을 전후 비교하였다<sup>18)</sup>.

SMR훈련의 대상자들은 SMR 활동이 증가하여야 하고,  $\theta$ (4-8Hz)와 높은  $\beta$ (22-30Hz)활동이 감소하여

Table 3. Diagnosed conditions in which Neurofeedback may be need

Group	Diagnoses
1st group (supported)	Seizure ADHD
2nd group (experimental)	Treatment of depressed mood Treatment of alcoholism and addictions Helping those with closed head injuries(CHI)/traumatic brain injury(TBI) Work with children who have learning disability
3rd group (clinical reports, not yet verified)	Tourette syndrome, other movement disorders(Parkinson's disease, hystonia) Asperger's syndrome High functioning autism, "brain brightening" in the elderly obsessive compulsive disorder, generalized anxiety disorder

야 하며, low-beta(15-18 Hz) 훈련방법은,  $\theta$ (4-8Hz)와 높은  $\beta$ (22-30Hz)가 동시에 증가하는 것 없이 15-18Hz활동성이 증가해야 하는 것이다. 이러한 훈련 전후의 지속적인 다양한 주의력 테스트(TOVA)와 선택된 집중임무를 할 때의 ERPs를 기록하여 분석한 결과, 대조군에서는 전후의 효과가 없는 반면에, low-beta그룹과 SMR그룹은 다른 패턴을 보였다. SMR그룹은, 선택된 집중임무에 있어서 누락된 실수와 재반응 시간의 변동이 줄어든 만큼 두 가지 임무에서 지각 민감성의 증가와 관련이 있었으며, 이러한 SMR훈련은 sensorimotor의 경로의 규칙적인 조절을 향상시켜, 고도로 요구되는 주의력 프로세싱을 더욱 효과적으로 이끈다고 설명할 수 있다. low-beta훈련그룹은, 훈련 후 재반응 시간이 빨라졌고, P300 진폭이 증가하였는데, 이는 훈련동안 피질의 백그라운드활성화가 더 높아진 것을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 또한 건강한 성인,  $\theta$ (4-8Hz)와  $\beta$ (18-22Hz)활동이 동시에 억제되는 동안 SMR활동이 증가되는 것을 학습할 수 있다고 보고하였는데, 이러한 종류의 뉴로피드백 훈련 후, 대상자들은 의미 있는 작업의 기억 임무에 있어서 향상을 보였고<sup>19)</sup>, 학생의 음악수행에 있어서는, 뉴로피드백의  $\alpha/\theta$ 훈련에서만  $\theta/\alpha$ 비율이 증가하였고, 다른 뉴로피드백 훈련이나, 다른 전문가에 의한 조절훈련 후에는 무대공연능력이 향상되지 않았다<sup>20)</sup>. EEG 스펙트럴 topography에서의 SMR,  $\beta$ ,  $\alpha/\theta$ 훈련효과는, Egner 등<sup>21)</sup>에 의해 연구되었는데, SMR훈련은 휴지기 EEG에서, 훈련 후 low-beta 활동성의 감소가 더욱 줄어든 것과 관련이 있는 반면,  $\alpha/\theta$ 훈련은, 전두부의 상대적  $\beta$ 대역 활동성이 감소된 것과 관련이 있었으며, 이러한 결과는 주파수 성분의 뉴로피드백 훈련이 건강한 대상자에서 EEG 스펙트럴 topography에 영향을 줄 수 있다는 것을 가리킨다. 이상과 같은 결과들은, 주의력상태와 활동기억과정에서의 개별적인 뉴로피드백 훈련방법의 특이효과를 보여준다. 다시 말

해, 다른 훈련방법을 사용하는 것은 신경생리학적인 레벨에서 뿐만 아니라 인지에서도 다른 효과를 나타낸다는 것이다. 이것이 '정상인' 즉, 신경정신학적 장애를 가지지 않은 사람이 뉴로피드백 훈련에서 얻는 이익(peak performance)인 것이다.

정상인의 뉴로피드백 SCP 훈련에 대해서는, 1980년대 이후로 뉴로피드백 훈련에서 학습된 SCP변화는 행동변화와 관련이 있으나, 그 훈련효과가 비특이적 국면의 변화와 반드시 연관된 것은 아니라고 나타났다<sup>22)</sup>. 또한 정상인이 네거티브 SCP를 나타냈을 때 수학 과제를 더 빨리 푸는 것으로 나타났으며, 네거티브 SCPs와 포지티브 SCPs의 관계와, Cz에서 자기조절 SCPs를 성공적으로 훈련한 성인의 fMRI BOLD 신호변화를 실험한 결과, fMRI는 네거티브 SCP의 발생이 뇌 기저핵뿐만 아니라, 중심, 배측성 전전두엽과 두정부 뇌 영역에서 넓게 활성화됨으로서 얻어진다는 것을 밝혔다. 이러한 결과는 ADHD나 간질에서 SCP훈련 매카니즘을 더 잘 이해하도록 기여할 수 있다<sup>23)</sup>.

## 2. ADHD에서의 뉴로피드백

주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)는 주의산만, 과잉행동, 충동성을 위주로 하며 학령전기 또는 학령기 아동들에게서 가장 흔히 관찰되는 소아정신질환 중 하나이다. 이 질환은 소아시기 뿐만 아니라 청소년 및 성인기의 약물중독, 인격장애, 기분장애의 발병률을 높이는 주요한 위험요인이 되고 있어 이 질환에 대한 진단 및 치료에 대한 관심은 최근 10년간 매우 높아졌다.

Psychlit와 Medline을 통한 주의력 결핍장애(ADD)의 EEG 바이오피드백치료에 대한 1968년 이후의 문헌조사에서, 알파파의 증가와 hemisphere-specific(반구 특이성) 뉴로피드백의 효능에 대하여, 일화성이며 케이스리포트들에서는 증거가 나타났

지만 방법론적인 문제들이 나타났다. 따라서 더 나은 뉴로피드백 훈련방법의 하나로  $\theta/\beta$  훈련에 대한 연구가 포함되었고, 이러한 연구들에서 학습과 인지, 행동에서의 유의한 변화를 나타냈으며, SMR 훈련에 따른 행동과 인식에서의 변화도 보고하였다.

즉  $\theta$ 파(또는 낮은  $\alpha$ 파)를 감소시키는 반면 SMR(또는 낮은  $\beta$ 파)을 증가시키도록 하는 훈련으로, 이에 관련된 정신상태는 침착하고 민첩하고 집중하는 것이다. 또한 바이오피드백 측정항목 중 호흡의 교정은 SMR 훈련을 할 때 특히 도움이 되는 보조적인 방법으로, 감각-운동 피질을 가로지르는 12-15Hz의 활성전기, 즉 sensorimotor rhythm(SMR)의 생산은 정신적인 각성을 유지하는 동안의 육체적인 고요함과 관련이 있다.

주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)의 치료에는 메칠페니데이트 등의 약물치료 및 정신요법, 인지행동요법, 교육적 방법, 부모 및 가족상담, 입원치료, 식이요법 등이 이용되어 왔으나<sup>24</sup>, 최근 EEG를 이용한 뉴로피드백 훈련치료를 보고하고 있고, 이는 주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)에 있어 유용한 치료방법이 될 수 있다<sup>1,25</sup>.

김<sup>26</sup>이 震顫환자에게 시행한 뉴로피드백 훈련방법은,  $\alpha$ 파와 같은 저주파 안정성분을 강화시키고 High- $\beta$ 와 같은 고주파 긴장성분을 약화시키는 훈련으로, 'High- $\beta$ 파위에 대한  $\alpha$ 파위의 비율'인 안정뇌파를 강화시키는 것을 목표로 하였다. 이는 ' $\alpha$ ,  $\theta$ -training'이라 부르며, 이와 같은 훈련은 personality와 mood, depressive symptoms을 동반한 알콜 중독에도 효과가 있는 것으로 보고하였다<sup>27,28</sup>.

Joel Lubar는<sup>29</sup> 주의력 결핍장애(ADD)에 관한 많은 연구를 하였으며, 다양한 연구들에 의해  $\theta$ 와  $\beta$  비율의 기준을 마련하였고<sup>30</sup>,  $\theta/\beta$ 의 비율을 측정하는 것이 정상과 ADHD와의 차이점의 단서가 된다고 하였다. Vince Monastra는 주의력 결핍장애가 뉴로피드백에 의해 지속적인 개선을 보인 반면, 약물치

료로 진전을 보인 경우는 약을 중단한 경우 개선이 지속되지 않았다고 하였다<sup>31</sup>.

한의학에서는 주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)를 임상증상을 근거로 하여, “風”, “健忘”, “躁動”, “失總”의 범주로 보고, 心脾肝腎의 장부가 관련되어 陰虛火旺, 心腎不交的 유형과 心脾不足, 氣血兩虛 등의 유형으로 나누어 치료하고 있으며, 이러한 주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)에 대하여 뉴로피드백을 이용한 몇 가지 증례를 보고한 바 있다<sup>32,33</sup>.

중국에서도 주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)에 대해 “兒童多動證”, “兒童多動綜合證”, “兒童主意缺陷多動障礙”등으로 명명하고 다양한 이론과 실험, 임상적 연구를 보고하고 있다. 2005-2006년 임상논문을 중심으로 한 치료동향에 의하면<sup>34</sup>, 진단기준으로는 DSM을 가장 많이 사용하였고, 치료에서의 주요변증은 주로 陰虛辨證(陰虛陽亢辨證포함), 心脾兩虛, 痰火였으며, 치료방법은 한약투여, 鍼刺法, 梅花鍼刺, 耳鍼貼壓法, 盤鍼溫鍼, 閃罐療法, 推拿療法등으로 비교적 다양하게 이루어지고 있었다. 하지만 특별한 평가도구 및 평가기준 없이 임상증상만으로 치료효과의 등급을 정해 평가하는 것은 치료의 객관성과 신뢰도를 저하시킬 수 있으며, 뉴로피드백을 이용한 증례보고는 없었다.

현재 주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)의 발병요인으로는 심리학적인 요인보다는 신경생리학적 요인이 중요하다고 여겨지고 있으며, 이에 따라 이 질환의 약물치료와 생물학적 요인에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 이러한 생물학적 요인에 대해서는 단일한 신경계의 발달이상으로 이해되기 보다는 주의력과 행동조절 및 수행기능과 같은 상위인지기능을 담당하는 여러 뇌 영역의 상호연관성의 이상으로 초래되는 비 균일한 질환균일 가능성이 제시되고 있다<sup>35,36</sup>.

많은 EEG와 ERP 연구들이 ADHD 어린이에서 이루어져 왔는데, 휴지기 EEG에서, 특히 중심과 전두



부에서,  $\theta$ 의 증가 혹은  $\alpha, \beta$ 활동성의 감소는, 대부분 CNS의 각성상태를 반영하는 ADHD와 가장 신뢰성 높은 관계를 가진다<sup>37)</sup>. 따라서  $\theta$ 활동성의 감소와  $\beta$ 활동성의 증진을 목표로 한 주파수 훈련, 즉 피질의 각성 상태(각성 활성화)를 활성화시키고 유지하는 것은 ADHD에 도움이 될 것으로 보인다. ERP 연구에서 관찰된 P300 진폭의 감소는 반응 조절 결핍뿐만 아니라 주의력을 반영할 수 있고, 우발적인 음성 변화량(CNV; Contingent negative variation)이 감소하는 등 SCPs의 이상도 보고하였다<sup>38)</sup>.

ADHD 어린이의 최초 주파수훈련 연구가 1976년 초반에 발표된 이후<sup>2)</sup>, 확장된 SCP훈련의 효과를 연구하는 데까지 25년 이상 걸렸다<sup>39,40)</sup>.

모든 주파수 훈련과 SCP훈련에 따른 임상적 연구에서는, 인지레벨에서의 긍정적인 효과뿐만 아니라 부주의의 감소, 충동성, 과다활동과 같은 ADHD 종합적 증상에서의 향상을 보고하였고, 어떤 결과는 뉴로피드백 훈련이 메틸페니데이트(MPH)이상의 부가효과를 나타낸다고 하였으므로, 뉴로피드백은 ADHD의 다양한 치료모델에서의 유용한 모듈이 될 것으로 사료된다.

$\theta/\beta$ 훈련, 혹은 SCP훈련 중 어느 것이 ADHD에 더 효과적인지 비교한 실험에서<sup>39)</sup>, 뉴로피드백 훈련에 사용된 EEG파라메타를 조절하기 위해 배워야 할 기술은 달랐지만, 모두 6개월간 팔로우 업에서 비교할만한 행동과 인지향상을 나타냈다. 두 그룹의 어린이들은 그들의 뇌를 활성화하고 복원하는 전략방법을 찾도록 하였으므로,  $\theta/\beta$ 훈련은 두 방향에서의 조정으로 이루어졌다. 즉 활성화 상태에서의  $\theta$ 활동성의 감소와  $\beta$ 활동성의 증가는, 복원상태와는 역상향인 것이며, 이는 긴장활성화가 수분동안 지속되는 시도에서 훈련되어진다는 다른 연구결과들과 대비되는 것이다.

신경생리학적 면에서  $\theta/\beta$ 훈련과 SCP훈련은 구별되는 패턴이 기대된다. 다시 말해,  $\theta/\beta$ 훈련 후

P300의 증가와<sup>18)</sup>, SCP훈련 후 CNV의 증가이다<sup>40)</sup>.  $\theta/\beta$ 훈련의 컨셉과 관련된 차별화된 신경생리학적 패턴은 각성의 긴장 측면에 초점을 맞춘 반면, SCP훈련은 주의 깊은 행동 하에 잠재되어 있는 흥분성의 양상조절과 관계되어 있는 것이다. 음악가의 예에서와 같이 두 양상은 최적의 수행에 모두 중요하므로, ADHD에서  $\theta/\beta$ 훈련과 SCP훈련의 조합을 적용시키는 것 또한 흥미 있는 일이라 생각된다.

이와 같이  $\theta/\beta$ 훈련과 SCP훈련의 임상적 효능과 효과의 증거기초는 최근 몇 년 사이에 뚜렷이 증가하였으나, 앞으로의 연구는 불특정효과와 혼란에 빠뜨리는 변수(부모의 직업 등)를 조절해야 하고, 얼마만큼의 오랜 기간이 걸릴 것인가를 고려하는 방향으로 진행하여야 할 것으로 사료된다.

### 3. 뉴로피드백 트레이너

뉴로피드백에서 환자와 치료자와의 관계는 치료의 성공여부를 결정할 수 있는 요인이다<sup>41)</sup>. 따라서 뉴로피드백 훈련에 있어서 매개체 역할을 하는 기기 자체보다 중간자 역할을 하는 치료자의 역할은 매우 중요하다. 치료자는 정신-신체의 철학적 자세로 확신을 갖고 치료의 목적 달성을 위해 적절한 훈련 프로토콜을 선택하고, 작업에 임해서는 환자가 잘 이해할 수 있도록 그 개념을 전달하여 그들의 동기부여를 지속적으로 유지하는 데 중점을 두며, 최종적 목표인 자기조절 훈련에 도달할 수 있도록 도와야 한다.

또한 치료자는 심리학적으로(인지-행동요법에서의 기술), 신경생리학적으로(기술적인 이슈와 관련된 EEG에 관한 기초지식) 교육받은 사람이며, 참가자들의 장애와 친숙한 사람이어야 한다.

신호의 질적인 면에서는 전극의 적합한 montage가 요구되고, 치료자는 참가자들에게 행동에서 유발되는 잡음을 최소화하는 방법을 알린다. 나아가 집에서의 전략적인 연습을 함께 준비하고 토론하며, 참

가자들이 학습된 조절 기술을 적절하게 이행할 수 있는, 중요한 일상생활 상황을 찾아낼 수 있도록 도와주는 것이 중요한 임무이다<sup>8)</sup>.

따라서 치료자는 유쾌하고 긍정적이며 친절하고 고무적인 태도를 지녀야 하며, 환자에 대한 관심과 공감능력 그리고 높은 도덕적, 윤리적 가치도 가지고 있어야 한다. 치료자와 환자는 동맹관계를 형성하고 서로 협력해 나가야 하며, 무엇보다 치료의 관계에서 가장 중요한 것은 환자의 신념이다.

## V. 총괄 및 고찰

뉴로피드백은 뇌 활동의 자기조절 기술을 발전시키기 위한 행동훈련의 한 형태로, 지난 10년간의 많은 뉴로피드백 논문들은 초기연구의 방법론적인 결점을 극복하기 위해 노력하였다. 뉴로피드백 훈련에서 학습되는 전기적 뇌 활동의 특이한 형태의 자기조절은, 즉각적인 피드백과 긍정적인 심리강화에 의해 얻어지며, 뉴로피드백 주파수훈련은 서로 다른 EEG 주파수밴드에서의 활동이 증가하거나 감소되어야 하며, 느린 대뇌피질 포텐셜들(SCPs)의 훈련은 대뇌피질 흥분성을 조절하는데 그 목적이 있다.

뉴로피드백 연구는, 환자뿐만 아니라 건강한 피험자들의 실생활 상태에서의 집중과 기억과정, 수행능력 향상 등의 훈련방법에 따라 특이효과를 가지는 것으로 밝혀졌으며, 많은 연구에서, 집중력결핍과잉행동장애(ADHD) 어린이가 주파수( $\theta/\beta$ )훈련 혹은 SCP 훈련 후 행동과 인지 변수가 향상된 것을 볼 수 있으며, 신경정신학적 효과도 함께 측정되었다.

심신의학이 중시되는 현대사회에서, 뇌와 행동의 상호작용의 접점을 직접적으로 목표로 하는 뉴로피드백은, 자기조절 결핍에 의해 특징지어지는 신경정신장애를 가진 어린이와 성인을 위한 부차적인 치료 옵션이 될 뿐만 아니라, 정상인들도 뉴로피드백 훈

련에 의해 주의력과 작업기억력과 같은 인지기능과 실생활상황에서의 행동이 향상될 것으로 기대된다.

최근의 많은 연구들의 동향을 살펴본 결과, 신경정신 장애에서 중요한 치료 모듈로서의 뉴로피드백에 대한 기초증거가 충분해 졌으며, 나아가 임상적 효능을 밝히고 성공적인 훈련에 기초하는 메커니즘에 대해 파악하기 위해서는 향후 조절된 연구가 더욱 필요할 것으로 생각된다.

하지만 향후 연구에서는, 랜덤하고 조절된 시도가 이루어져야 하며, 그 중에서도 특히 임상수준에서 특징적인 효과와 불특정적인 효과를 풀어낼 수 있게 이루어져야 한다. 조직적인 방식의 관점에서는 yoked-control design(플라시보 훈련)이 가장 좋으며, 이 훈련에서 대상자들은 그들 자신의 뇌 전기활동성에서 계산되어진 피드백을 받은 것처럼 보이지만, 실제로 그것은 랜덤한 패턴이거나 다른 대상자의 기록을 사용한 것이다. 때문에, 이러한 플라시보 상태는 윤리적인 문제를 야기하고 특히 어린이 치료에 있어서 적합하지 않다. 정신적 장애에 대한 연구로는 alternative designs(대체 디자인)이 적합하며, ADHD에서는 컴퓨터 베이스 주의력 훈련이나 말초 파라메타의 피드백이 대조군으로 이용되어질 수 있고, 틱 장애에서는 EMG 바이오피드백훈련과 뉴로피드백 훈련을 비교하는 것이 적합하다. 이차적으로, 뉴로피드백은 충분한 샘플 사이즈를 이용하여 수립된 약물이나 행동요법과도 비교될 수 있을 것이다.

뉴로피드백 훈련방법에 있어서, 장애에 따른 뉴로피드백의 임상적 혹은 신경생리학적 서브타입을 위한 최적의 패러다임은 체계적으로 연구되어야 하며, 이러한 정황에서, 어떤 범위의 주파수와 SCP 훈련방법이 같거나 다른지, 또 그들이 서로 서로를 보완할 수 있는지를 연구하는 것도 향후에 필요하다. 몇몇 ADHD나 틱 장애와 같은 정신장애어린이에서는 신경생리학적으로 좌우비대칭의 감소를 발견할 수 있었는데, 이러한 이슈에 적용되는 뉴로피

드백 훈련방법은 좌우뇌의 균형을 맞추고 나아가 행동의 향상을 도울 수 있을 것이다<sup>22)</sup>.

또한, 앞으로는 fMRI(functional magnetic resonance imaging)나 HEG(hemo encephalography) 뉴로피드백의 실시가 기술적으로 가능하게 됨에 따라, EEG에 근거한 훈련방법에 더하여, 기능적 이미징에 기초한 뉴로피드백이 새로운 치료옵션으로 제공될 수 있을 것이다. fMRI(functional magnetic resonance imaging)는 뉴로피드백에 의해 온라인 피드백이 신뢰성 있게 계산되어질 수 있고 특정 뇌 영역에서 활성화를 넘어 자발적인 조절을 학습할 수 있지만, 임상실습에 쓰기에 너무 비싼 것이 단점이다. 이를 대체할 수 있는 것이 국소의 피질에 허락된 근-적외선 분광학에 기초한, HEG(hemoencephalography: 뇌엑스레이촬영)뉴로피드백이 될 것이다<sup>42,43)</sup>.

마지막으로 뉴로피드백 훈련에서 고려해야 할 부분은, 대부분의 환자에 있어서 단지 조정으로서의 뉴로피드백 훈련은 최적의 임상적 향상을 이루기에 충분하지 않기 때문에, 부모 카운셀링, 인지행동 요법, 개인적인 필수에 따른 약물요법 등을 포함한 다중 모델 치료프로그램을 실행하는 것이 더 나은 방법이 될 것으로 사료된다.

## VI. 결 론

현대사회는 동서양을 막론하고 요가, 명상 등 정신과 신체를 아우르는 심신의학에 대한 요구와 필요성이 높아지고 있으며, 바이오피드백의 일종인 뉴로피드백은 의학적으로 사용할 수 있는 유용한 심신 의학적 도구라고 할 수 있다. 뉴로피드백 훈련이 효과적으로 되기 위해서는 깊은 수준의 이완상태에 도달하여야 하고, 체계적인 훈련을 충분히 받아야 하며, 생활 속에서 계속 연습해야

하며 이에 대한 지시와 지도가 명확해야 하고 자신감이 필요하다고 알려져 있다. 이에 대한 동서양에서 발표된 뉴로피드백 관련 최신 연구논문들은 살펴 본 결과, 뉴로피드백의 개요, 한의학적 의미, 훈련방법, 훈련방법에 따른 행동 면에서의 변화, 적용 질환 그리고 정상인과 ADHD에서의 임상적 효능 효과와 향후 한의학에서 임상적으로 나아가갈 연구방향을 탐색할 수 있었다.

뉴로피드백의 훈련 방법에는 주파수 훈련, SCP 훈련이 있으며, 훈련 패러다임 연구에 의하면 훈련효과가 각각 훈련의 방법적인 차이에 따라 다른 효과를 나타내는 특이성을 가진 것으로 밝혀졌으며, 훈련대상자에 따라서도, 뉴로피드백은 신경정신장애를 가진 어린이와 성인을 위한 부차적인 치료옵션이 될 뿐만 아니라, 정상인에서도 peak performance를 가지므로, 스트레스가 많은 현대인들의 다양한 직업군에서 육체적이나 정신적으로 최고의 기능을 유지하게 하는 도구가 될 수 있을 것으로 생각된다.

또한 뉴로피드백 훈련에서 환자와 치료자와의 관계는 치료의 성공여부를 결정할 수 있는 중요한 요인이 되며, 무엇보다 치료의 관계에서 가장 중요한 것은 환자의 신념이다. 뉴로피드백 훈련의 효과는 기계장치에 의존하는 것이 아니며, EEG는 생리반응을 조절하는 기술을 습득시켜 주는 도구에 불과한 것이기 때문에 환자가 얼마나 열성적으로 자신감 있게 훈련하는가에 달려 있다. 이 과정에서 내부통제감이 회복되어 병의 원인이 바깥에 있는 것이 아니고 나 자신에게 있다는 마음 자세를 가지게 되어 치료가 가속되는 것이 최상위의 훈련이라고 생각된다.

이와 같은 뉴로피드백은 한의학적 전인적 인체관과 상통하여, 치료면에서 癲癇, 小兒客忤, 小兒多動症, 遺尿症 등에서 유용한 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 임상연구에서는 랜덤하고 조절된 시도가 이루어져야 할 것이며, 최적의 임상적 향상을 이루기

위해서는 부모 카운셀링, 인지행동 요법, 개인적인 필요에 따른 약물요법 등을 포함한 다중 모델 치료 프로그램을 활용한 임상연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 參考文獻

1. 강형원, 김태현, 류영수. 바이오피드백의 이해와 한의학적 응용. 동의신경정신과학회지. 2005; 16(1): 143-157.
2. Lubar, J.F., & Shouse, M.N. EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of sensorimotor rhythm (SMR): A preliminary report. Biofeedback and Self Regulation. 1976; 1: 293-306.
3. Sterman, M.B. Basic concepts and clinical findings in the treatment of seizure disorders with EEG operant conditioning. Clinical Electroencephalography, 2000; 31(1): 45-55.
4. Rockstroh, B., Elbert, T., Birbaumer, N., & Lutzenberger, W. Slow brain potentials and behavior. Munchen: Urban & Schwarzenberg, 1982.
5. Rothenberger, A., & Banaschewski, T., Sinia-tchkin, M., & Heinrich, H. Developmental neurophysiology [in German]. In B. Herpertz-Dahlmann, F. Resch, M. Schulte-Markwort, & A. Warnke (Eds.), Developmental psychiatry. Stuttgart: Schattauer. 2003.
6. Banaschewski, t., & Brandeis, D. (in press). Annotation: What EEG/ERP tell us about brain function that other techniques cannot tell us. J of Child Psychiatry.
7. 김정호, 송정모, 김락형. 사상체질별 사건관련 전위(ERP) 측정 연구(청각 자극을 중심으로) 사상체질의학회지. 2004; 16(2): 65-70.
8. Hartmut Heinrich, Holger Gevensleben, Ute Strehl. Annotation: Neurofeedback - train your brain to train behaviour. J of Child Psychology and psychiatry 2007; 48(1): 3-16.
9. 서영호, 김경철, 김보경. 뇌파의 한의학적 진단지표로의 활용 방안에 대한 연구초안. 동의 신경학회지. 2007; 18(1): 37-61.
10. 이광민. 한방심리학. 서울, 학문사, 2002, 236-240.
11. 김용훈, 김인락, 지규용. 정신기능소재로서의 뇌에 대한 한의학적 해석근거 연구. 동의생리 병리학회지. 2002; 16(5): 881-887.
12. 이승기. 인지치료와 한방정신요법. 서울. 동의 신경정신과학회지. 2000; 11(2): 169-175.
13. 양유걸편. 황제내경석해(소문). 서울, 정보사, 1980, 35, 304, 664.
14. 강형원 외. 五志相勝療法에 관한 임상사례연구와 현대적 이해. 동의신경정신과학회지. 2001; 12(1): 11-18.
15. M. Schwartz & F. Andrasik (Eds.), Biofeedback: A practitioner's guide. New York, Guilford Publishing, 2003.
16. Lubar, J.F. Neurofeedback for the management of attention-deficit/hyperactivity disorder. In M. Schwartz & F. Andrasik (Eds.), Biofeedback: A practitioner's guide. New York, Guilford Publishing, 2003, 409-437.
17. Rockstroh, B., Elbert, T., & Lutzenberger, W. Birbaumer, N. Biofeedback: Evaluation and therapy in children with attentional dysfunctions. In A. Rothenberger (Eds.), Brain and behavior in child psychiatry. Berlin, Springer, 1990, 345-357.
18. Egner, T., & Gruzelier, J.H. EEG biofeedback

- of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 2004; 115: 131-139.
19. Vernon, D., et al. The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *Int. J of psychophysiology*. 2003; 6: 185, 194.
  20. Egner, T., & Gruzelier, J.H. Ecological validity of neurofeedback: Modulation of slow wave EEG enhances musical performance. *I Neuroreport*. 2003; 14: 1221-1224.
  21. Egner, T., Zech, T.F., & Gruzelier, J.H. The effects of neurofeedback training of spectral topography of the electroencephalogram. *Clinical Neurophysiology*. 2004; 115: 2452-2460.
  22. Elbert, T., Rockstroh, B., Lutzenberger, W., & Birbaumer, N. Self-regulation of the brain and behaviour. Berlin, Springer, 1984.
  23. Hinterberger et al. Brain areas activated in fMRI during self-regulation of slow cortical potentials(SCPs). *Experimental Brain Research*. 2003; 152: 113-122.
  24. 조수철외. 주의력 결핍 과잉행동장애. 서울, 서울대학교 출판부, 2001, 1-26, 191-196.
  25. Steven M. Butnik. Neurofeedback in Adolescents and Adults with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *JCLP/in session*. 2005; 61(5): 621-625.
  26. 김현일, 유종호, 김근우. 자율훈련법과 침치료를 시행하여 뉴로피드백 지표를 통해 관찰한 진전환자의 증례. *동의신경정신과학회지*. 2005; 16(2): 181-188.
  27. Raymond J. Varney C, Parkinson LA, Gruzelier JH. The effects for alpha/theta neurofeedback on personality and mood. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2005 May; 23(2-3): 287-292.
  28. Saxby E, Penniston EG. alpha/theta brain-wave neurofeedback training; an effective treatment for male and female alcoholics with depressive symptoms. *J Clin Psychol*. 1995; Sep;51(5): 685-693.
  29. Lubar, J.F., & Neurofeedback assessment and treatment for ADD/hyperactivity disorder. In James R. Evans & A. Abarbanel Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback. San Diego, Academic Press, 1999.
  30. Monastra, V. J., Lubar, J.F., Linden, M., Vandeußen, P., Green, G., Wing, W. et al. Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: An initial validation study. *Neuropsychology*. 1999; 13(3): 424-433.
  31. Monastra, V. J., Monastra, D., & George, S. The effects of stimulant therapy, EEG biofeedback and parenting on primary symptoms of ADHD. *Applied Psychophysiology and biofeedback*. 2002; 27(4): 272-250.
  32. 강준원, 박정경, 전용우, 한국, 박현철, 김락형, 유경, 정은희. 뉴로피드백을 이용한 주의력 결핍 과잉행동장애 치료 1례. *동의신경정신과학회지*. 2006; 16(2): 243-250.
  33. 김진형, 오용렬, 이종화, 김태현, 류영수, 강형원. 뉴로피드백과 한방치료를 병행한 주의력 결핍 과잉행동장애 치료 1례. *동의신경정신과학회지*. 2006; 17(3): 157-164.
  34. 박현철, 강문수, 김락형. 주의력결핍·과잉행동 장애의 한의학 치료동향(2005-2006년 중국 임상 논문 중심으로). *동의신경정신과학회지*.

- 2007; 18(2): 35-44.
35. Frank Y, Pavlakis SG. Brain imaging in neurobehavioral disorders. *Pediatric Neurology*. 2001; 25: 278-287.
36. 김봉년, 이동수, 조수철. 주의력결핍/과잉운동 장애에서의 뇌혈류이상. *신경정신의학*. 2000; 39: 412-423.
37. Barry, R. J., Clarke, A. R., & Johnstone, S. J. A review of electrophysiology in attention deficit hyperactivity disorder : I qualitative and quantitative electroencephalography. *Clinical Neurophysiology*. 2003; 114: 171-183.
38. Grunewaid-Zuberbier & Grunewaid, 1982; Sartory, Heine, Muller, & Elvermann-Hallner, 2002; Banaschewski et al., 2003.
39. Leins et al. Neurofeedback for children with ADHD: A comparison of SCP-and theta/beta-protocols (in German). *Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie*. 2006; 55: 384-407.
40. Herinrich et al. Training of slow cortical potentials in attentions-deficit/hyperactivity disorder. Evidence for positive behavioral and neurophysiological effects. *Biological Psychiatry*. 2004; 55: 772-775.
41. 이인혜 외. *정신생리학*. 서울, 학지사, 1997, 361-381.
42. Obrig, H. et al. Near-infrared spectroscopy: Does it function in functional activation studies of the adult brain? *Int. J of Psychophysiology*. 2000; 35: 125-142.
43. Tinius, T. et al. *New developments in blood flow hemoencephalography*. Binghamton: Haworth Press, 2005.
44. Michael Thompson, Lynda Thompson. *The Neurofeedback Book-An introduction to Basic Concepts in Applied Psychophysiology*. Colorado, AAPB, 2003, 1-16, 230-253.