

Neurofeedback: 원리와 임상응용

*연세대학교 의과대학 약리학교실, †포천중문의대 대체의학센터, ‡마인드 앤 헬스의원, †문정 연세가정의학과 의원

김 동 구* · 박 형 배† · 안 영 우‡

Neurofeedback: Principles and Clinical Application

Dong Goo Kim*, Hyung Bae Park† and Young Woo Ahn‡

*Department of Pharmacology, Yonsei University College of Medicine, †CHA Biomedical Center Pochon CHA University, ‡Mind & Health Clinic,

‡Munjeong Yonsei Family Practice

Neurofeedback is a kind of biofeedback called EEG (electroencephalogram) biofeedback, Neurofeedback or Neurotherapy. Neurofeedback is a biofeedback targeting EEG as a sensory subject. Neurofeedback can give a variety of beneficial effects on the variable psychiatric and neurological diseases since the brain becomes a direct target of the neurofeedback. For applying neurofeedback, it is convenient to divide the brain function into 3 functional axes such as (1) cortical-subcortical (2) anterior-posterior and (3) lateral axes. Neurofeedback restores the balance of these 3 axes by strengthening or weakening brain waves of the particular brain region. Two representative methods of practical application are Beta/SMR (sensory motor rhythm) training and Alpha/Theta training. Beta/SMR training uses visual feedback reward and Alpha/Theta training uses auditory feedback reward. Symptoms of insomnia, anxiety, attention deficit or increased aggression can be improved by Beta/SMR training. Mood swing and headache caused by imbalance of right-left brain also can be improved after Beta/SMR training. symptoms of problems of deep internal emotion such as post-traumatic stress disorder or chronic stress can be improved by Alpha/Theta training. If we use neurofeedback appropriately, peak performance of the brain can be accomplished. Since no significant side effects were reported, increased use of neurofeedback is expected in the future. (Korean J Str Res 2005;13:93~98)

Key Words: Neurofeedback, Biofeedback, Brain wave, Brain function, Peak performance

서 론

인간의 뇌는 끊임없이 전기적인 임펄스를 발산하는데 이것을 뇌파(Brain wave)라고 하고, 이러한 뇌파의 전기적 진

동의 속도가 주파수(Frequency)라고 한다. 주파수는 delta파, theta파, alpha파, beta파, gamma파 등으로 나누며, 뇌파의 전기적 임펄스의 파워 즉 활동성이 진폭(Amplitude)이고 뇌파는 주파수와 진폭으로 측정한다. 뇌파는 각 개인의 뇌의 생리적인 활동성을 측정하고 평가하는 수단으로 사용되고 있으며 EEG (electroencephalogram)으로 측정하며 임상과 연구에서 활발하게 이용되고 있다.

Neurofeedback은 EEG biofeedback, Neurobiofeedback 또는 Neurotherapy로 불리는 biofeedback의 일종이다. Neurofeedback은 EEG를 감각대상으로 하는 biofeedback이라고 할 수 있다.

책임저자: 김동구, 서울시 서대문구 신촌동 134번지
☎ 120-752, 연세대학교 의과대학 약리학교실
Tel: 02-2228-1733, E-mail: dgkimpharm@yumc.yonsei.ac.kr
접수일: 2005년 4월, 게재승인일: 2005년 5월
후원: 메디칼스펙트럼(주)

1990년 이후에, 깨어서 활동하고 있는 뇌의 상태를 Positron Emission Tomography (PET), Magnetic Resonance Imaging (MRI), Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI), Single Photon Emission Computerized tomography (SPECT) 등, 사차원(4-D)으로 영상화하는 functional imaging 방법이 대두되었고 기술과 내용적으로 급속히 발전하였다. 이들 기술을 병합하여 EEG도 시간과 공간좌표에서 분석이 가능하게 되었는데 컴퓨터 기술의 발달이 큰 역할을 하였다. 따라서 뇌의 특정 부위 뇌파를 선택하여 biofeedback을 시행할 수 있게 되었다. 이러한 EEG 대상 biofeedback 기법을 neurofeedback이라고 일컬으며, 이는 뇌를 직접적인 대상으로 하기 때문에 광범위한 뇌기능에 관여할 수 있어서 여러 정신 및 신경질환에 직접적인 도움을 줄 수 있다.

Neurofeedback의 역사

1. Biofeedback

1860년경 독일에서 여러 젊은 과학자들이 인체의 감각 능력에 대하여 관심있게 연구하였다. 이들은 감각과 감각을 유발시키는 자극과의 관계를 연구하였고, Gustav Theodor Fechner (1801~1887)는 이를 일반화하여 심리적인 사건과 물리적인 사건의 양적인 연관성을 밝히는 분야를 Psychophysics라고 명명하였다. 이후 환자 자신의 정신활동을 통하여 생리현상을 조절하려는 시도가 계속되었고, 미세한 생리변화를 환자에게 알리고 환자가 자신의 생리기능을 조절하려는 정신활동에 대한 Feedback을 줌으로써 성공적인 생리현상자기조절요법을 개발하였다. 이를 Biofeedback이라고 명명하였다. Biofeedback에 쓰이는 감각은 (1) 근전도, (2) 체온, (3) 피부전기, (4) 손가락맥박, (5) 호흡 등으로 심리적 요인에 의한 자율신경계 반응 조절을 주요 목표로 하고 있다.

2. Neurofeedback

1929년 사람 EEG를 Berger가 처음으로 기록한 이후, 근래 power spectral analysis가 가능해지면서 뇌파의 frequency와 power를 분리하여 분석할 수 있게 되었다. 1960년대에 개, 고양이 등 실험동물에서 해마(hippocampus)에서 발생하는 Theta파 활성(activity)을 operant conditioning 할 수 있고, 이 현상을 이용하여 동물의 행동을 수정할 수 있다는 발표가 있었다. 동시대에 미국 NASA에서 비행사들이 Monomethyl Hydrazine이라는 로켓 연료에 노출된 후 경련성 증상을 일

으키는 경우가 많이 보고되자 그 당시 유명한 뇌 생리학자인 Barry Sterman 교수에게 의뢰하여 치료할 수 있는 방법 개발을 부탁, Sterman이 고양이를 이용하여 neurofeedback의 원리를 이용하여 연구한 결과 고양이의 경련성 증상이 현저하게 줄었으며 이를 사람에게 적용하여 임상적으로도 간질 치료에 도움이 된다는 결론을 얻게 되었다.

1974년 Beatty 등은 사람에서 후뇌의 Theta파 활성도를 operant conditioning을 이용하여 감소시킴으로 반복적 작업에서 오는 경계심(vigilance)의 감소를 방지할 수 있음을 처음으로 발견하였고 이를 Science지에 발표하였다. 또한 Lubar 교수 등(1976)이 주의력 결핍 과잉행동 장애(ADHD)에도 적용하여 좋은 결과를 얻게 되었다. 이러한 뇌파의 conditioning이 가능하다는 것은 1960년대부터 알려져 있었으나 뇌파의 biofeedback, 즉 Neurofeedback이 실제로 임상에서 사용된 것은 극히 최근의 일이다. 그 이유는 최근의 컴퓨터 기술의 발달이 실시간 뇌파 power spectral analysis를 desk-top personal computer에서 가능하게 한 것이기 때문이다.

Neurofeedback의 원리

1. 뇌파 frequency와 뇌의 상태

1970년대 초기의 성공적인 neurofeedback 치료는 Phobia 환자였다. 불안감을 느끼는 경우에서 탈감작화(desensitization)시키는 정신과적 치료과정에서 Alpha파를 증대시키는 Neurofeedback 치료를 병행하여 좋은 효과를 본 것이었고, 이러한 뇌파 frequency 의존적 증상호전 효과는 그 후 계속 증명되었다. Alpha파는 평화롭고 이완된 감정을 갖게 하기 때문이라고 생각되었다. 밝혀진 뇌파의 frequency에 의한

Table 1. Brainwave frequencies and brain states.

뇌파	Frequency	뇌의 상태
Gamma	35 Hz+	Some evidence of association with peak performance state
High Beta	18~35 Hz	High correlation with anxiety when dominant
Mid Beta	15~18 Hz	Active, external attention
SMR ^{a)} Beta	12~15 Hz	Relaxed, external attention
Alpha	8~12 Hz	Very relaxed, passive attention
Theta	4~7 Hz	Deeply relaxed, inwardly focused
Delta	0.5~3 Hz	Sleep

^{a)}SMR=sensory motor rhythm.

분류를 Table 1에 표시하였다.

뇌파를 치료의 대상으로 하는 Neurofeedback 치료에서는 주파수에 따른 뇌의 상태가 중요하기에 자세히 기술한다.

1) Beta파(12~15 Hz, 15~18 Hz, 18~35 Hz): Beta파는 두뇌가 깨어있는 상태에서 발산하는 뇌파이다. 그러나 과잉 할 때에는 심리적인 문제를 가져다준다. Beta파는 정상적인 상태에서는 논리적인 사고, 구체적인 문제의 해결, 활발한 외적 주의력 등과 같은 것에 관여하는 뇌파로 우리가 세상살이를 하는 데에 필요한 뇌파이지만 이에 마구 끌려 다니지 않고 잘 운전할 수 있는 능력을 키워야한다. 우측 뇌 12~15 Hz 범위와 좌측 뇌의 15~18 Hz의 범위가 의식 상태에서 가장 정상적인 활동을 할 수 있는 Beta파의 범위이고 Beta파가 20 Hz를 넘어가게 되면 긴장과 불안이 동반되는 상태이며, 35 Hz가 넘는 병적인 감마의 상태도 있을 수 있다. 의식 상태에서의 Beta파의 훈련 목표는 좌측 뇌의 경우 15~18 Hz, 우측 뇌의 경우 12~15 Hz가 된다.

2) Alpha파(8~11 Hz): Alpha파는 백일몽이나 환상을 할 때, 시각화 할 때에 방출된다. 또한 편안하거나 초연한 자각 상태, 수용적인 마음 상태에서도 나온다. 사람에게 따라 이러한 중위 주파수가 지나치게 발생하여 몽롱한 환상 속에서 살게 되는 경우가 있는데, 현실에서 탈출하는 것을 즐기고 있는지도 모른다. 그런데 Alpha파는 다른 뇌파와 같이 많이 방출되지 않는 것이 문제다. Alpha파는 의식의 세계와 무의식의 세계를 연결하는 다리의 역할을 한다. 이 Alpha파가 없으면 아무리 또렷한 꿈을 꿔도 하더라도 깨어나면 하나도 기억하지 못한다. 그리고 깊은 명상을 통해 경험한 내적 세계도 Alpha파가 아니면 기억할 수 없게 된다. Alpha파는 하의식 세계와의 연결고리이다.

Alpha파는 눈을 감고 고요한 상태에서 나타날 수 있으며, 완전히 깊이 이완된 상태는 아니다. 의식상태에서의 Alpha파는 오히려 멍하게 하거나, 의욕, 동기가 저하된 상태일 수 있다. 실제 우울증일 경우 의식 상태에서 전두엽에 Alpha파가 많은 경우가 흔하다.

3) Theta파(4~7 Hz): Theta파는 의식과 무의식 사이에 존재하는 하의식이라고 생각해도 된다. 여기에는 추억과 감각 및 감정에 관련된 내용이 풍부히 들어있다. 의식으로는 감지되지 않는 부분이지만 우리의 생각이나 신앙 혹은 행동에 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 때로는 지배하기도 한다. 어렸을 때 학대받은 것을 기억하지 못하는 어른이 학대할 사람(abusive people)을 찾는 것도 깊은 곳에 숨겨진 비밀을 방출하려는 행위이다. Theta파는 또한 창의력이나 영

감의 보고이기도 하다. Theta파는 꿈을 꿀 때나 깊은 명상에 잠겼을 때에 활발하며, 소위 말하는 peak experience나 영적 통찰력 혹은 두뇌의 기능이 아주 좋을 때에 강하게 발산된다. 그러나 Theta파가 창작 활동과 밀접한 관계가 있기는 하지만 다른 뇌파의 도움 없이는 창의력이 의식 수준으로 올라오지 못한다.

Theta파는 무의식 상태에서 깊이 이완된 상태이지만 의식 상태에서 백일몽, 주의가 내적으로 흐트러지거나 졸음이 오는 등 정보처리를 느리게 할 수 있다.

4) Delta 파(0.5~3 Hz): 무의식의 마음은 Delta파로 이루어져 있다. 깊이 잠든 상태에서 다른 뇌파들은 쉬고 있지만 delta파는 활발하게 움직이고 있다. Delta파는 수면 중의 휴식 단계를 제공해준다. Delta파는 다른 뇌파와 함께 깨어난 상태에도 존재한다. 본능적으로 정보를 주고받는 일을 하는 경우다. 진폭이 큰 Delta파가 있는 사람들은 대개 직관적이며 자신들의 육감이 적중하는 경우가 많다는 사실을 스스로가 알고 있다. 증폭이 큰 Delta파를 가진 사람들은 감정 이입 능력이 뛰어나다. 심리치료사나 카운슬러와 같은 직업을 가진 사람들은 Delta파가 아주 풍부하다.

Delta파는 수면으로 보면 깊이 잠든 숙면 상태이지만 의식 상태에서는 두뇌 손상 환자에서 흔히 보듯이 정보처리를 느리게 하여 의식 활동을 방해할 수 있다

2. 뇌기능의 균형

뇌기능을 서로 대립되는 개념으로 정리하면 세 가지 관점으로 종합할 수 있고 이를 뇌의 부위와 연관시키면 세 종류의 축으로 나눌 수 있다. 즉, 다양한 뇌기능을 분류하는 것은 완전할 수 없으나 커다란 기능을 중심으로 3 axis로 분류할 수 있다는 것이다. (1) Cortical-Subcortical axis, (2) Anterior-Posterior axis 및 (3) Lateral axis로 분류하는 것이 neurofeedback을 시행하는데 편리하다. 세 axes의 특징을 아래에 기술한다.

1) Cortical-Subcortical axis (뇌 피질-피질하 축): Central control

Cortical- conscious and volitional control

Subcortical- autonomic processes and processes mediating arousal, attention, drive responses

무의식 영역인 피질 하에서 의식 영역인 피질로 가는 축에 문제가 생기면 집중, 각성 수준, 동기, 운동기능, 정서 조절 등에 문제가 생길 수 있다.

2) Anterior-Posterior axis (뇌 전-후 축): Output-Input

Anterior- executive and motor (output) processes

Posterior- sensory (input) processes

뇌의 후반부는 모든 감각 자극(예: 시각, 청각...)을 받아 들어서 합성하는 장소이고, 이렇게 합성된 정보가 뇌의 전두엽으로 보내지면 전두엽에서 분석하여 분석한 내용을 바탕으로 어떻게 행동할까 명령을 전반부에 있는 운동 피질로 보내어 행동을 개시하게 한다.

3) Lateral axis (뇌 좌-우 축): Information processing style

Left hemisphere- sequential and analytical

Right hemisphere- simultaneous and integrative

좌뇌와 우뇌는 정보 처리를 하는 방식에 따라서 구분된다. 좌뇌와 우뇌가 활발하게 의사 소통이 이루어져 뇌의 균형이 적절하게 이루어질 때 들어오는 정보를 올바르게 처리하게 된다. 좌우뇌의 차이를 Table 2에 간단히 정리하였다.

(1) 우뇌의 정보 처리 방식 및 기능; 우뇌는 정보가 들어오면 동시에 보는 역할을 한다. 정보를 동시에 처리하고 통합적으로 보는 기능을 한다. 그리고 정서 조절, 비언어적 의사소통, 현상을 전후 흐름에서 보는 기능, 자신의 내부와 외부에서 일어나는 감각적 욕구의 이해, 공간적 이해, 타인의 입장을 이해하거나 타인과 남과의 관계를 동시에 이해하는 기능을 한다. 그래서 오른쪽 뇌기능이 떨어지는 사람은 공간 개념의 이해, 기하학의 이해가 떨어지고, 전체적인 개념 이해가 떨어지며, 유머를 이해하지 못하고 정서적, 음악적 기능이 떨어지며 남의 입장에서 바라보지 못하는 등의 문제가 생길 수 있다. 우뇌는 외부 환경에 반응하기 때문에 흥분하기가 쉬워서 불안, 긴장, 불면증 등의 원인이 될 수 있다.

② 좌뇌의 정보 처리 방식 및 기능; 우뇌의 정보를 받아 시간적 순서대로 하나하나 처리하는 역할을 한다. 즉 시간적 개념에 의해서 해야 되는 일들을 처리한다. 우뇌가 들어오는 자극을 통합적으로 동시에 본다면 좌뇌는 하나하나 세밀하게 분석하면서 보는 역할을 한다. 즉 우뇌가 숲 전체를 본다면 좌뇌는 나무 하나 하나를 시간적 순서 대로 보는 기능을 한다. 좌뇌는 시간적으로 분석하여 해야 될 행동을 뇌의 운동 기능을 담당하는 전반부에 명령을 내려 실제 행위로 옮기게 한다. 사건이나 정보를 언어적으로 분석하고, 논리적으로 해석하는 역할을 하고 집중을 시간적으로 유지하는 기능을 하며 우뇌와 달리 내적인 조절을 함으로 기능이 저하되기 쉽다. 좌뇌 기능이 떨어질 경우, 읽고, 언어적으로

Table 2. Left Brain과 Right Brain의 차이.

Left Brain	Right Brain
시간 개념, 언어	공간 개념
내적인 control	외적인 control
Underarousal 되기 쉽다	Overarousal 되기 쉽다
실행 기능-motor output과 연결	감각 정보가 유입(Input 기능)
순차적 처리	통합적, 동시적 처리
시간적 분석 기능	공간적 통합 기능
15~18 Hz	12~15 Hz
Analysis of Detail	Social-emotional awareness

표현하거나 계산, 미세 운동기능 등이 떨어질 수 있고, 집중 유지가 잘 안되거나 동기가 없고, 처져있거나, 우울 증상이 나타나기가 쉽다.

대립되나 상호보완적인 위의 세 가지 축을 균형되게 유지하여야 정상적인 뇌기능이 도출될 수 있다. Neurofeedback은 뇌부위별 뇌파를 적절하게 강화 또는 감약시킴으로 뇌기능의 세 가지 축에 대하여 균형을 찾아주는 치료라고 할 수 있다. Neurofeedback 훈련을 할 때 환자가 호소하는 증상이 뇌의 3가지 축 중에 어디에 해당하느냐에 따라서 치료 부위나 치료 방법이 달라진다. 예를 들면, 집중을 오래 유지하기가 어려운 경우는 좌뇌의 전두엽을 훈련하고, 주위에서 들리는 소음에 쉽게 주의가 흐트러지는 경우는 우측 두정엽을 훈련한다. 그리고 컴퓨터 게임 중독은 무의식 영역을 훈련하기 위해 Alpha-Theta와 훈련을 한다. 이와 같이 Neurofeedback은 증상이 생기는 부위가 어디냐에 따라 그 부위를 훈련한다는 점이 약물 치료와 다른 장점이다.

Neurofeedback의 응용

1. 일반적인 두 종류 neurofeedback protocol

일반적으로 크게 두가지 Training을 대별한다. 즉, 눈을 뜨고 visual feedback reward를 이용하는 Beta/SMR training과 눈을 감고 auditory feedback reward를 이용하는 Alpha-Theta training이다. Electrode는 일반적으로 3개를 이용한다. 이 중 2개는 귓볼에 부착하여 하나는 reference로, 하나는 ground로 이용한다. 나머지 하나를 적절한 뇌부위에 부착시켜 그 부위의 뇌파기능을 조절한다. Bipolar training 경우에는 reference electrode를 없애고 대신 두 개의 electrode를 좌우 뇌의

적절한 부위에 부착시킨다.

Beta 영역 훈련은 의식 상태에서 활동할 때 생길 수 있는 집중력 장애, 불안, 우울, 간질, 통증, 뇌졸중 등 두뇌 손상 후 후유 증상 등의 치료에 이용한다.

Alpha-Theta 훈련은 눈을 감고 명상 상태로 들어가서 하는 훈련인데 알콜, 약물, 컴퓨터 등의 각종 중독증의 치료와 외상 후 스트레스 장애, 해리 장애, 공포증, 만성 피로 증후군, 스포츠, 예술인들의 수행력 향상, 화병, 분노 조절의 어려움, 강박증 등의 치료에 이용할 수 있다.

약물 치료와의 차이점은 약물은 수동적인 치료인데 반해 Neurofeedback의 치료는 환자가 치료자의 지시대로 적극적으로 노력해서 그 결과 뇌에 학습된 이후 자동적으로 스스로를 조절할 수 있다는 것이다. 두뇌는 특정 상태를 계속해서 반복훈련 하면 신경 세포의 가소성 변화를 통해 반복훈련의 상태가 기억되고 저장될 수 있는 형태로 뇌세포에 변화가 일어나고, 이러한 변화된 형태가 계속 지속되기에, 변화된 형태에 따라서 행동의 변화가 일어나게 된다.

Beta/SMR training에서 흔히 사용하는 protocol은 아래와 같다.

- ① Left hemisphere Beta (15~18 Hz): Underactivation 치료
- ② Right hemisphere SMR (12~15 Hz or lower): Overarousal 치료
- ③ Left Beta and Right SMR: 공존하는 underactivation and overarousal symptoms 치료
- ④ Left temporal - Right temporal Bipolar Beta/SMR: Unstable arousal 치료. 증상과 경과에 따라서 reward frequency 조절.

Alpha-Theta training은 Theta과 활성도를 증대시키는 training으로 Theta과 활성도가 증대되는 경우 초기에는 피곤함과 나른함을 느끼나 점차로 평온함, 깊은 평화로움, 깊은 이완, 강한 에너지, 맑은 사고 및 더욱 향상된 집중력을 가져온다. 이때 twilight learning이 일어난다고 하며 guided imagery를 제공하면 인간의 깊은 내면에서 기인된 각종 증상에 도움을 줄 수 있다.

2. 임상응용

많은 Neurofeedback 적응증이 발표되고 있다(Table 3). 뇌 기능의 세가지 축 기능의 불균형으로 오는 각종 질환이 대상이 된다. Beta/SMR training으로 불면, 불안, 집중력저하, 공격성증대 등과 좌우 뇌의 불균형으로 오는 mood swing, 두통 등 각종 증상이 호전된다는 보고가 있다. Alpha-Theta training으로는 외상 후 스트레스증후군, 만성피로증후군

Table 3. Neurofeedback 훈련 적응증.

Alpha/Theta 훈련 적응증의 예 (청각적인 feedback)	Beta과 훈련의 적응증의 예 (시각 및 청각적인 feedback)
• 만성통증 • 뇌졸중 • 외상 후 스트레스 장애(PTSD) • 명상(참선) • 만성 피로 증후군/섬유근통 • 고혈압 • 알콜 · 컴퓨터게임 · 약물 등의 중독증 • 기분 장애 • 섭식 장애 • 화병 • 과민성 대장 증후군 • 만성 신체 질환에 따른 심리적 문제 • 비만(탄수화물 갈망 증상 감소) • 공황 장애/공포 증상 • 스포츠, 예술 활동	• 주의력 결핍 과잉행동장애 • 자폐증 • 학습 장애 • 수면 장애 • 강박증 • 동기 향상 • 불안 장애 • 발작(간질) • 우울증 • 야노증 • 적대적 반항 장애 • 과민성 대장증후군 • 반응성 애착 장애 • 이명 • 자가 면역성 질환

등 해결되지 않았던 내면의 깊은 감정이 해결될 수 있다.

Neurofeedback은 같은 병명이라도 증상의 종류에 따라 치료 방침이 달라지므로, 원칙적으로 모든 정신과적 및 신경과적 질환에 효과가 있다고 할 수 있다. 그 효과는 환자의 뇌가 어느 정도 반응하느냐에 달려있다고 하겠다. 즉, 신경과적으로 뇌 손상이 있는 환자에서도 최적의 뇌기능을 도출해 낼 수 있는 것이다.

Neurofeedback 치료는 심신 의학(Mind-Body Medicine)의 관점에서 마음과 신체가 연결되어 있는 기능을 치료적으로 해결하는데 주요한 역할을 하는 중심적인 치료법이 될 수 있다. 또한 보완의학의 관점에서도 미래지향적인 자연치유 유도 방법 중의 하나이고 비침습적이다. 특히 의사들에 의한 과학적인 명상이 가능하다는 점은 비과학적인 명상시술소에 자신의 정신을 맡길 수 밖에 없는 현대인에게 새로운 치료의 한 장르를 열어 줄 수 있을 것으로 기대한다.

결 론

Neurofeedback을 적절히 사용한다면 정상범위의 뇌는 물론, 어떠한 정신적 및 신경학적 손상을 갖고 있는 뇌라도 그 상태에서 peak performance를 도모할 수 있다. 뇌기능의 peak performance 개념은 최근에 관심이 집중되는 것으로, neurofeedback이 인간의 능력(talent)을 최대한으로 발휘할 수

있게 하는 하나의 도구가 될 수 있다고 하겠다. 임상에 사용된 지 오래되지 않아 그 효과가 완전히 밝혀져 있지 않지만, 아직 특별한 부작용이 보고된 바 없어서 임상 사용이 증가할 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

- Egner T, Gruzelier J (2001) Learned self-regulation of EEG frequency components affects attention and event-related brain potentials in humans. *Neuroreport* 12:4155-4159.
- Egner T, Gruzelier J (2004) EEG Biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology* 115: 131-139.
- Egner T, Gruzelier JH (2003) Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance. *Neuroreport* 14:1221-1224.
- Evans JR, Abarbanel A (1999) Introduction to quantitative EEG and neurofeedback. Academic Press, New York.
- Lubar JF, Shouse MN (1976) EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): a preliminary report. *Biofeedback Self-Regul* 3:293-306.
- Othmer S, Kaiser D (2000) Implementation of Virtual Reality in EEG Biofeedback. *Cyberpsychology & Behavior* 3:415-420.
- Siniatchkin M, Kropp P, Gerber WD (2000) Neurofeedback: The significance of reinforcement and the search for an appropriate strategy for the success of self-regulation. *Appl Psychophysiol and Biofeedback* 125:167-175.
- Tilstone C (2003) Neurofeedback provides a better theta-rical performance. *Lancet Neurology* 2:655.
- Vernon D, Egner T, Cooper N, et al (2003) The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *Int J of Psychophysiology* 47:75-85.
- Wise A (2002). *Awakening the mind*. Jeremy P. Tarcher/Penguin, New York.
- Wise A (2004) *The high performance mind*. Jeremy P. Tarcher/Penguin, New York.