

뇌파 분석을 통한 두뇌 훈련을 위한 멀티미디어 프로그램의 효과 분석

노현준*

요약

뇌의 조화로운 개발은 시대를 막론한 고유의 목표였고 이를 위한 다양한 훈련 프로그램들이 교육현장에서 그리고 상업적 시장에서 선보여 왔다. 그러나 이러한 훈련방법들은 뇌 생리적(neurophysiology) 견지에서 그리고 뇌 개발의 방법론적인 견지에서 바라본다면 다소 편협되고 뇌의 전인격적인 개발에 반하는 요소들이 내재되어 있다는 점을 지적하고 싶다. 그럼으로 뇌로 하여금 전인격적인 다양한 자극에 반응하여 스스로 학습하고 생성을 계속하게 하며, 뇌세포 간 무수한 시냅스(synapse)를 창조, 강화케 하며, 그로 인해 뇌신경회로를 형성케 하는 것이 바람직한 뇌 훈련 프로그램이다. 본 연구는 특정한 목적에 맞게 제작된 multimedia를 이용한 두뇌 훈련 프로그램을 사용하였을 때 실제로 두뇌개발 효과가 있는지의 여부를 뇌파를 직접 측정함으로써 훈련효과의 여부를 보다 객관적으로 정량적으로 분석한 것이다.

A study for the analysis of the program efficacy with multimedia to enhance brain activity.

Heon-jun, Roh*

Abstract

The harmonious development of human brain has been an indigenous objective of each age. A variety of training programs related to this purpose have turned up at an educational market and a commercial market, as well. I'd like to indicate, however, that these training methods are somewhat prejudiced and have some elements, inherently, which are against the development of human brain for one's whole personality. Therefore, the most desirable brain training program is to induce it to respond to various stimuli, to educate for itself and to generate continuously, to create and strengthen an innumerable synapse among brain cells, so as to form a neuro-network. In this study, I have used a brain training program with multimedia which have been produced for a specific purpose. With this method, by measuring directly the effectiveness of human brain development, I have analysed more objectively and more quantitatively.

Key words : Multimedia brain training program

1. 서론

뇌의 조화로운 개발은 시대를 막론한 교육의 목표였고 이를 위한 다양한 훈련 프로그램들이 교육현장에서 그리고 상업적 시장에서 선보여 왔다. Binaural Beat음[1]을 만들어서 귀의 좌우에 서로 다른 주파수의 음을 발생시키면 두뇌가 그 주파수의 차이 만큼에 해당되는 주파수를 인지하고 학습한다는 이론을 바탕으로, 일파파를 향상 시키는 연구와 제품이 개발 되었고, 음악을 이용한 명상 상태로의 유도[2], 그리고 좌우 뇌의 조화로운 균형을 유도하려는 시도와 연구도 이어져 왔다. 또한 식물로부터 추출한 정유(essential oil)를 피부를 통해 체내로 흡수 시키거나 그 향기를 직접 맡게 하여 후각신경을 통해 변연계를 안정시켜 정서적 안정, 스트레스 등을 완화 또는 개선시키는 대체요법[3]도 우리 생활의 여러 분야에서 응

용되어 왔고, 최근 들어서는 뇌파와 상호 작용하는 neurofeedback[4]의 원리를 이용해서 단순한 게임을 함으로써 두뇌 훈련을 하는 프로그램 또한 활용되어 왔다. 그러나 이러한 훈련방법들을 뇌 생리적 견지에서 그리고 뇌 개발의 방법론적인 견지에서 바라본다면 다소 편협되고 뇌의 전인격적인 개발에 반하는 요소들이 내재되어 있다는 점을 지적하고 싶다. 보다 인격적이고 생명적인 뇌 개발프로그램이 탁한 콘크리트 구조물 속에서 신음하는 이 시대의 아이들에게 그리고 혼란의 중심에서 생업을 영위해야 하는 수많은 어른들에게 절실하게 필요한 시기이다.

천자연적이고 전인격적인 다양한 자극에 반응하여 뇌는 스스로 학습하고 생성을 거듭하여, 뇌세포의 무수한 시냅스를 창조, 강화하고 그로 인해 뇌신경회로가 형성케 하는 것이 바람직한 뇌 훈련프로그램이다.

자연과 생명을 상징하는 이미지들의 형태, 색 그리고 그림에 뇌가 반응, 동조케 하고 자연음의 1/F파동에 공명되어 알파파가 생성되고, 훈련자의 능동적인 참여를 통해 종합적인 사고력을 배양하는 천자연적인 게임으로 베타파를 활성화 하는 전뇌(全腦) 개발프로그램은 여태껏 없었다. 지금까지 가장

* 제일저자(First Author) 노현준
접수일 2005년 8월 27일, 완료일 2005년 12월 15일
* 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
junroh@empal.com

효과적인 두뇌 훈련법으로 알려진 neurofeedback 은 실제로 뇌파를 측정하고 그것을 다시 사용자에게 어떠한 형태로든 feedback을 주어야만 두뇌 훈련이 되는 것 자체가 장점이자 단점이었다. 그러나 그러한 neurofeedback 훈련법도 사용자들로 하여금 어떠한 긍정적인 감정의 생성 없이 그리고 능동적인 참여의 유도 없이 단순한 이미지와 사운드 등으로 훈련자의 뇌파 상태만을 feedback 하는 것이 편협 적이고 비인격적인 훈련법인 이유이다. 따라서 사용자의 적극적인 참여를 요구하는 종합적인 멀티미디어를 이용한 두뇌 훈련 프로그램을 개발함으로써 직접적인 뇌파 측정과 피드백이 없이도 훈련의 효과를 볼 수 있고 더 나아가 그 효과가 입증된다면 보다 발전된 형태의 뉴로피드백 훈련에도 응용될 수 있으리라 판단된다. 이에 본 논문에서는 멀티미디어를 이용한 두뇌훈련 프로그램으로 훈련했을 때의 효과를 직접 뇌파를 측정 분석함으로써 확인해 보고자 한다.

뇌파는 뇌의 여러 부위에서 주고받는 전기적인 신호들이 대뇌 피질에 반영되어 나타나는 전기적인 신호로서 1929년 Hans Berger에 의해 처음으로 측정되었다. 그 이후에 과학기술의 발전으로 뇌파를 측정하고 분석하는 방법들이 발달하게 되었다. 뇌파는 그 주파수 대역에 따라서 delta(0.5-4Hz), theta(4-8Hz), alpha(8-12Hz), low beta(12-15Hz), high beta(15-30Hz) 등으로 일반적으로 나눌 수 있다.[5] Delta파는 100-200uV 정도의 진폭을 가지며 수면 중에 나타나고 눈을 뜬 각성 사이에 출현 빈도가 높으면 두뇌의 이상으로 보기도 한다. Theta파는 10-50uV 정도의 진폭을 가지며 내면의 상태를 나타내거나 명상 상태, 깊은 이완 상태에서도 나타난다. Alpha파는 10-150uV 정도의 진폭을 가지며 정상 성인의 각성 안정된 상태에서 잘 나타난다. Low beta파는 5-10uV의 진폭을 가지며 정신활동시, 집중할 때 잘 나타나며, high beta는 긴장할 때, 계산, 암산 등의 정신 활동이 활발할 때 잘 나타난다.

뇌파의 분석 방법은 시계열(time domain)에서의 뇌파의 파형을 분석하는 방법에서 주파수 도메인으로 전환하여 정량적인 분석을 하는 qEEG analysis(quantitative EEG analysis)[6]에서 최근에는 통계학을 접목시켜서 처리를 하는 sEEG(statistical EEG analysis)법이 도입되어 있다.

2. 연구 목적

본 연구는 특정한 목적에 맞게 제작된 multimedia를 이용한 두뇌 훈련 프로그램을 사용하였을 때 실제로 두뇌개발 효과가 있는지의 여부를 뇌파를 직접 측정함으로써 훈련 효과의 여부를 보다 객관적이고 정량적으로 분석하고자 함에 있다. Multimedia를 이용한 두뇌 훈련 프로그램은 심신의 긴장 이

완, 집중력 향상, 전두엽 활성화, 기억력 향상, 좌우뇌 균형 등의 특정한 목적에 맞게 제작 되었으며 이러한 각 목적에 따라서 훈련된 피검자의 훈련 전후의 뇌파 상태를 측정, 분석함으로써 훈련 효과를 검증하고자 한다.

뇌파의 분석은 FFT(Fast Fourier Transformation)에 의한 주파수 분류[7][8]로 delta(0.5-4Hz), theta(4-8Hz), alpha(8-12Hz), beta1(low beta:12-15), beta2(high beta:15-30Hz)의 영역으로 구분하여 그 상대적 비율이나 평균 표준 편차, Coherence[9] 등의 통계적 분석을 통하여 사전과 사후의 뇌파 지수의 변화를 분석하고자 한다. 그리고 두뇌 훈련 프로그램을 사용하지 않는 대조군을 두어서 실험 군과의 사전 사후의 뇌파 변화를 비교 분석한다.

3. 실험 방법

1. 피험자

남서울 대학교에 재학 중인 20-25세 사이의 성인 남녀를 대상으로 하였다. 본인과 가족의 병력을 설문지로 조사하여 특별한 정신 병력이나 질병이 없는 성인 남녀 20명을 대상으로 실험하였다. 남녀 성비는 특별히 차등을 두지 않고 선출하였고 평균 나이는 여자는 21.4세 남자는 23.5세 이었다. 대조군으로는 남자 5명을 무작위로 선정하였고 실험 군으로는 각 훈련 프로그램 당 5명씩을 배정하여 총 15명의 인원을 선정하였다. 본 연구 논문에서 사용되는 두뇌 훈련 프로그램을 사용하여 실험 군에 있어서의 사용 전과 사용 후의 뇌파 분석과 대조군과 실험 군 사이의 뇌파 변화를 통해서 멀티미디어를 응용한 두뇌훈련 프로그램의 효과를 실험하였다.

2. 실험 환경 및 조건

일반적인 환경에서의 두뇌 훈련 효과를 실험하기 위한 것이므로 특별히 방음 시설이 되지 않은 일반적인 방(가로 5m x 세로 7m) 가운데에 의자를 설치하여 앉게 하되 흔들리지 않은 상태를 유지하고자 의자의 등받이를 100도 정도로 유지하였다. 남녀 실험 대상으로 하여금 실험 2주 전부터 약물 복용을 금지하였고 실험 1주 전부터 알코올 섭취를 금지시켰다. 모든 피실험자는 실험 당일 오전 9시 경에 아침식사를 하고 오전 11시 경에 실험을 시작하였다. 여성의 경우 생리 기간이 아닌 여성을 대상으로 하였다.

컴퓨터는 pentium 4 가종의 PC를 사용하여 두뇌 훈련 프로그램을 구동하였고 컴퓨터의 사운드 카드를 이용하여 외장형 스피커를 통해서 사운드를 제공하였다. 뇌파 측정 장치는 2채널 128Hz Sampling, 12bit 분해능(resolution)을 갖는 AD 변환기를 사용한 장비를 사용하였으며 총 5개의 전극 중, 4개의 snap 전극을 사용하여 전전두 영역(Fp1, Fp2)의 좌/우에

각각 2 개씩의 Ag-AgCl 전극을 부착하고 1개의 집게형 Ear Lobe 전극을 사용하여 오른쪽 귓볼에 부착하여 기준 전위(reference)로 삼았다. 잡파를 제거하기 위한 필터로 50Hz의 컷오프(cut off)특성을 갖는 아날로그 필터와 디지털 필터의 사용을 병행하였다.

3. 실험 절차

대조군은 의자에 앉아서 5분간 휴식할 수 있는 시간을 주어서 안정 상태가 확인되면 바로 눈을 뜨고 1분간 뇌파를 측정하였고, 실험 군이 실험에 참여하는 시간 동안 즉 5분 동안 가만히 눈을 감고 안정을 취한 후에 같은 장소에서 동일하게 다시 한 번 눈을 뜨고 1분간 뇌파를 측정하였다. 실험군의 사전 측정은 대조군과 마찬가지로 휴식 후 개안 1분간 측정하였고 바로 이어서 두뇌 훈련 프로그램을 5분간 시행하고 약 1분간 휴식을 취한 후에 눈을 뜬 상태로 다시 1분간 사후 측정을 실시하였다. 두뇌 훈련 프로그램은 총 5개로 긴장 이완 집중력 훈련 전두엽 활성화 등이 있으며 5명의 피실험자가 각 훈련 당 배치되어 각 훈련 프로그램을 체험하게 하였다.

4. 멀티미디어를 이용한 두뇌 훈련 프로그램의 종류

훈련 A: 기능성 동영상

동영상 프로그램은 시청각적 자극에 대한 사람의 심리적, 생리적 반응의 메커니즘을 근간으로 하여, 훈련자의 뇌와 신체의 이완을 이끌어 내는데 제작의 일차적인 목표로 삼았다. 이를 위해, 우리의 뇌가 소리의 주파수, 리듬뿐 아니라 보이는 시각적 이미지의 색, 형태 그리고 리듬에 반응하고 동조되는 사실을 바탕으로 영상이미지들을 생명과 자연을 비유, 상징할 수 있는 몽타주로 구성하여 훈련자의 심신이완을 도모할 수 있도록 제작하였다. 다시 말하자면, 인트라 샷 몽타주(Intra shot montage)와 인터 샷 몽타주(Inter shot montage)기법으로 표현된 자연친화적 음향을 동반한 영상의 시, 청각적 자극을 통해 연상(Association), 상상(Imagination), 그리고 공상(Fantasy)을 유도케 함으로써 과 활동하는 변연계를 안정시켜 몸과 마음을 이완 또는 각성상태를 자율적으로 조절할 수 있도록 고안하였다. 이는 화면의 내적리듬(Intra shot montage)과 외적리듬(Inter shot montage)을 기획단계에서부터 계산하여 영상의 페이스(pace)를 조절함으로써 본 프로그램의 기본구성인 훈련자의 심신의 이완영상 속 시간, 공간의 몰입제시된 이미지 형성 또는 연상태마의 암시를 통한 건강한 뇌 구현이라는 단계별 목표에 도달할 수 있도록 제작하였다는 말과 상통한다.

연상력과 상상력을 강화하는 방법으로는 몽타주 영상과 사운드를 특정시간 동안 훈련자가 보게 한 후, 눈을 감은 상태에서 음향의 유도를 통하여 이미 학습된 영상이미지들을 뇌에

서 재현되게 하였다. 따라서 음향정보를 심상형성을 돕기 위한 실마리를 제공하는 뇌 자극 수단으로 활용하여 훈련이 진행되는 동안 뇌는 영상의 도움 없이도 음향의 느낌 정보만으로도 마음속의 심상을 연상 그리고 형성할 수 있도록 구성하였다.

훈련 B&C: 뇌 훈련 게임

현재 오락의 용도로 사용되고 있는 기존 게임들의 유형을 보면 대부분의 경우 폭력적인 내용이거나 사용자로 하여금 극도의 긴장감을 유발케 하는 콘텐츠가 주종을 이루는 것이 현실이다. 상기해야 할 사실은 이러한 콘텐츠의 주된 사용자들이 연령층이 낮은 청소년들이라는 점이다. 문제는 이러한 폭력적이고 극도의 긴장감을 유발하는 게임을 장시간 사용하면 전두엽의 기능이 저하되어 마치 치매환자와 유사한 뇌파의 양상을 보이게 된다는 사실이다. 전두엽의 기능이 저하된 상태에서는 집중력이 떨어지고 감정통제의 어려움을 겪게 되어 물리적인 문제를 만들 개연성이 높아진다.

더욱이 이러한 게임들은 진지한 사고의 활동을 요구하지 않아 사고활동의 중추기관인 전두엽이 비 활성화될 수밖에 없게 된다. 이러한 사실은 오락용 게임의 장시간 사용은 뇌 시각계의 신경활동이 과하게 이루어지게 되어 후두부중심의 신경회로만 발달하게 되나 그와 반면에 전두엽의 뇌세포는 활동 줄어들게 되어 사고기능이 저하되게 된다. 뿐만 아니라 게임수행 중 유발되는 장시간의 긴장은 자율신경의 균형을 저해하여 교감신경이 자극 받게 되어 건강을 해치는 결과를 초래하게 된다. 이는 교감신경의 활동이 증가하면 심장박동, 혈압, 체온 그리고 근육 등에 부정적인 영향을 미쳐 스트레스 상태의 신체반응과 유사한 신체 상태로 전환되어 면역기능이 저하되는 것이다.

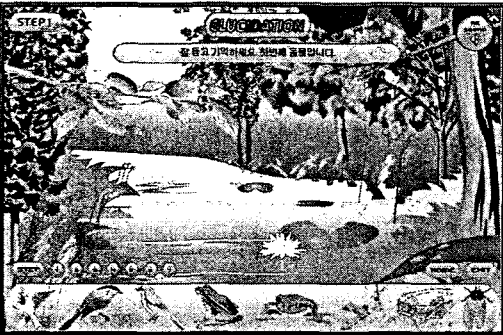
본 뇌 훈련게임은 기존 오락용 게임과는 원칙적으로 다른 구성을 가진 다섯 단계의 훈련프로그램으로써 게임수행 시 상당한 주의력, 집중력 그리고 종합적인 사고능력이 요구되게 기획 하였다.[10][11] 그리고 모든 훈련게임은 사물의 형태 및 색 인지능력, 공간인지능력, 논리적이고 순차적인 공간배열능력 그리고 소리와 음을 사물과 함께 인식하고 구별하는 능력, 단기 기억능력 등 총체적이고 전반적인 사고능력이 요구되고 또한 향상시킬 수 있도록 설계하였다. 이러한 능력은 뇌의 좌반구와 우반구가 조화로운 협응 시 수행 가능한 일이다. 뿐만 아니라 소리와 음 그리고 해당하는 사물의 형태와 색깔을 인지한 후 기억하고 그리고 그것의 위치관계를 파악한 후 순차적으로 손을 정교하게 움직여 배열하는 작업은 후두엽 두정엽 측두엽 전두엽 등 뇌 전체를 자극하고 활용해야만 수행 가능한 일이기도 하다. 고로 본 훈련게임은 동시적이고 다양한 뇌 자극의 제공을 근간으로 하여 훈련자의 뇌 전체에

걸쳐 광범위한 연합신경회로가 형성 그리고 활성화될 수 있도록 제작하였다.

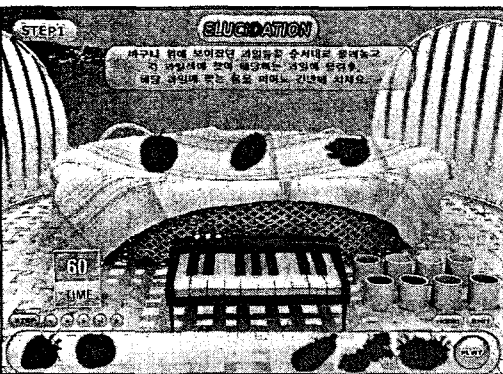
훈련 A



훈련 B



훈련 C



4 뇌파 분석

두뇌 훈련 프로그램 수행 전후의 뇌파 변화를 알아보기 위해서 사전 사후 모두 2분간 뇌파를 측정하였고 피검자의 초기 안정 상태를 고려한 집파(artifact)를 제거하기 위하여 후반 1분간의 뇌파만을 분석하였다. 측정된 뇌파 데이터 모두 1초간의 epoch으로 나누어 FFT(Fast Fourier Transformation)을 실

시하였고 주파수 분해능(resolution)은 1Hz 간격으로 하였다. 뇌파는 주파수 대역별로 delta(0.5~4Hz), theta(4~8Hz), alpha(8~12Hz), low beta(12~15Hz), high beta(15~30Hz)로 구분하였고, 각 대역별 FFT 값을 합산하고 평균을 취함으로써 대표 값을 구하였다. 이러한 주파수 평균 값들은 제곱의 형태를 취하여 에너지 상태를 의미하는 전력 값(voltage power)으로 변환하였다. 전력 값(voltage power)은 피검자 마다 그 값이 모두 달라서 피검자간의 비교에는 적합하지 않기 때문에 상대적인 전력 값(relative power)을 계산하여 사용하였다. 상대적인 전력 값은 전체 주파수의 전력 값들 중에서 해당 주파수 대역이 차지하는 비율로서 백분율(%)로 표시된다. 뇌파 분석의 변수로서는 정신적, 신체적 이완 상태에서 그 발현 특성이 우수하다고 알려진(α) 상대적 알파파(alpha wave)[14] 전력 값(relative power)을 이완 상태를 검증하는 지수로 사용하였고, 좌우뇌 균형 도는 대칭성(symmetry)[15][16]을 구하여 분석하였다. 대칭성을 구하는 방법으로는 양반구간 동시성(interhemispheric coherence)[12][13]을 사용하는 방법이 있다. 동시성은 0과 1사이의 값으로 정규화(normalized)된 값을 가지며 0일 경우에는 두 신호 사이의 주파수 성분 사이에 상관관계가 전혀 없는 것이고 1의 값을 가지면 완전히 관련이 있음을 의미한다. 집중된 상태에서는 low beta 영역의 전압 값 증가가 알려진 사실이므로 이것으로 집중도를 측정하고, 전두엽 활성화는 생각 계산 등의 정신 활동 시에 그 전압 값이 증가하는 것으로 알려진 high beta 값을 사용하였다.

5. 실험 결과 및 해석

실험을 시작하기에 앞서 사전에 뇌파를 측정하여 모두 비슷한 상대 전력 값을 가지거나 좌우뇌파의 편차가 10%를 넘지 않는 사람들을 대상으로 대조군과 실험 군을 설정하였다. (표1, 표2) 연구에서 사용된 멀티미디어 두뇌 훈련 프로그램은 두뇌의 특정한 기능, 예를 들어 긴장 이완 집중력 향상, 두뇌 활성 등을 향상 시키는 것을 목적으로 기획, 제작되었다. 이러한 기능들이 효과가 있는지를 검증하기 위하여 대조군의 경우 일정한 시간 간격을 두고서 2회에 걸쳐서 뇌파를 측정하였고, 3개의 각 훈련 모드에 있어서는 훈련 전과 훈련 후에 실제로 뇌파를 측정하고 그 각각에 대해서 그림1, 그림2, 그림3, 그림4, 그림5, 그림6, 그림7, 그림8, 그림9, 그림10, 그림11, 그림12 와 같이 좌우뇌 별로 FFT 알고리즘을 통하여 주파수 대역별로 나누었다. 사전과 사후 각각 1분을 측정하였으므로 1초의 간격으로 60개의 epoch을 만들어서 FFT를 계산한 후에 평균을 취하여 대표 값으로 정하였다.

각 훈련 모드 별로 훈련 전과 훈련 후에 실제로 훈련과 관련이 있다고 알려진 주파수 대역에서 유의한 변화가 발생하는지를 실험하였다.

<표 1> 훈련 전 대조군과 실험군의 좌우뇌파 주파수 밴드별 평균

(단위%)

대조군	좌뇌	Delta	Theta	Alpha	Beta1	Beta2
		Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
A	좌뇌	31.44	26.27	13.29	6.83	2.53
	우뇌	32.15	23.5	9.68	5.75	2.51
B	좌뇌	41.5	14.66	9.28	3.88	1.35
	우뇌	42.58	12.34	9.45	4.15	1.48
C	좌뇌	40.12	14.66	9.54	4.65	1.86
	우뇌	41.34	14.81	8.42	4.23	1.42
C	좌뇌	37.28	23.40	9.73	4.75	1.61
	우뇌	38.48	22.04	9.00	4.70	1.67

<표 2> 훈련 후 대조군과 실험군의 좌우뇌파 주파수 밴드별 평균

(단위%)

대조군	좌뇌	Delta	Theta	Alpha	Beta1	Beta2
		Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
A	좌뇌	32.21	26.76	13.8	6.42	2.52
	우뇌	32.15	24.5	10.55	5.71	2.51
B	좌뇌	37.82	17.54	7.98	3.68	1.27
	우뇌	37.65	17.79	8.17	3.73	1.33
C	좌뇌	34.19	13.45	11.33	6.23	2.31
	우뇌	34.36	12.11	9.66	4.92	1.53
C	좌뇌	23.67	11.76	10.25	6.45	2.10
	우뇌	23.54	10.55	10.76	6.56	2.21

<표 3> 대조군과 실험군의 훈련 전후 좌우뇌파 주파수 밴드별 동시성 (coherence)

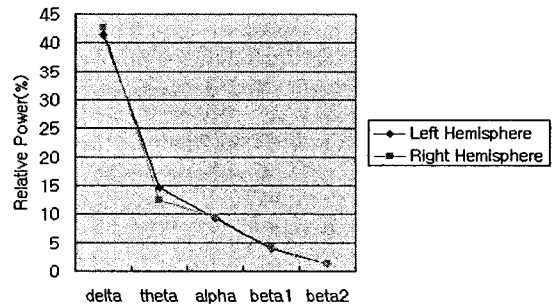
(단위%)

대조군	1차	Delta	Theta	Alpha	Beta1	Beta2
		0.85	0.67	0.75	0.79	0.72
A	2차	0.86	0.72	0.79	0.81	0.72
	훈련전	0.75	0.53	0.54	0.45	0.48
B	훈련후	0.99	0.88	0.85	0.77	0.81
	훈련전	0.79	0.65	0.55	0.49	0.48
C	훈련후	0.96	0.86	0.85	0.57	0.57
	훈련전	0.94	0.66	0.64	0.67	0.86
C	훈련후	0.96	0.69	0.89	0.97	0.96

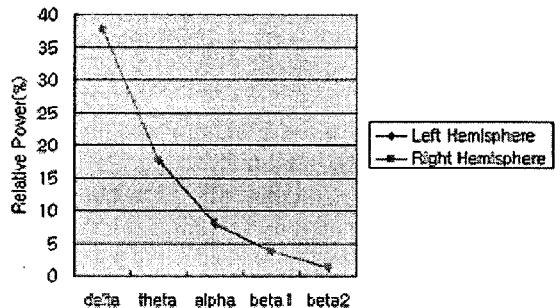
1. 훈련 모드 A

긴장 이완의 훈련 효과를 보기 위해서 훈련 A의 훈련 전과 훈련 후의 theta파를 비교해 보았다. 훈련 전후의 실험 군에서의 좌 전전두엽에서는 표1, 표2, 그림 3과 같이 288%의 차이($t = 3.65, p < 0.025$)를 보였고, 우전두엽에서는 5.45%의 차이($t=2.85, p < 0.05$)를 보였다. 대조군에 있어서는 좌전두엽에서는 0.49%의 차이와 우전두엽에서는 1%의 차이를 보였다. 따라서 실험 군과 대조군에서 변화량의 차이를 비교해 보면 그림 4와 같이 좌 전두엽에서는 239%의 차이($t = 2.54, p < 0.05$)를 보이고 우 전전두엽에서는 4.45% ($t = 4.73, p < 0.005$)의 상대 전력 값(Relative power)의 평균의 차이를 보인다. 표3, 그림 5와 같이 theta파의 동시성의 변화를 보면 실험 전후에는 0.35 정도가 증가하였고 대조군에서는 0.05 정도가 증가하여 훈련 1에 의해 theta파의 동시성이 증가함을 알 수 있다.

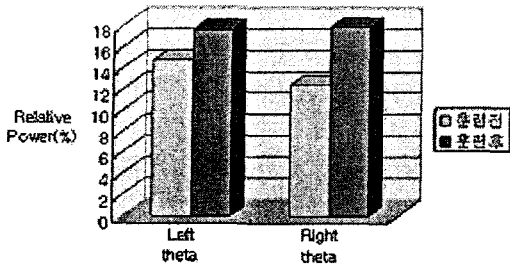
<그림 1> 훈련 A의 실험군의 훈련 전 뇌파 평균



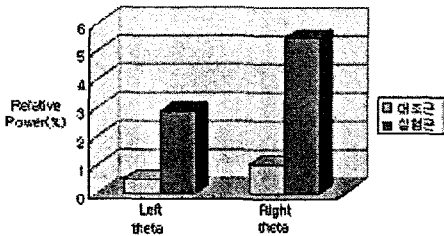
<그림 2> 훈련 A의 실험군의 훈련 후 뇌파 평균



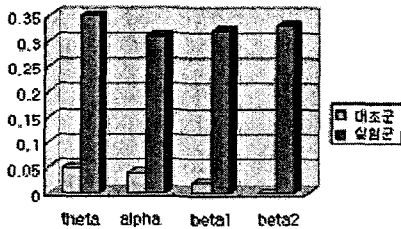
<그림 3> 훈련 A의 실험군의 훈련 전후 theta파 증가량 변화 (Left theta: $p < 0.025$, Right theta: $p < 0.05$)



<그림 4> 훈련 A의 대조군과 실험군의 theta파 증가량 변화 (Left theta: $p < 0.025$, Right theta: $p < 0.05$)



<그림 5> 훈련 A의 대조군과 실험군의 Coherence 차이의 변화



2. 훈련 모드 B

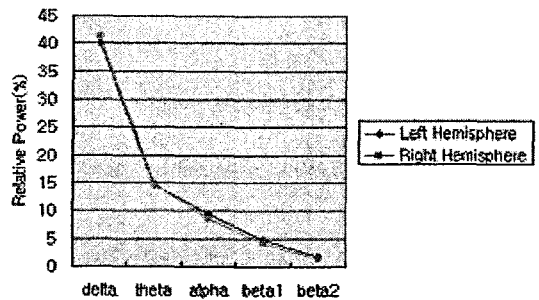
훈련 후 집중력의 차이를 보기위해 그림 8과 같이 일과파를 비교하였다. 훈련 전후의 실험 군에서의 좌 전전두엽에서는 표 1, 표 2와 같이 1.79%의 차이($t = 2.24, p < 0.05$)를 보였고 우 전전두엽에서는 1.24%의 차이($t=2.15, p < 0.05$)를 보였다. 대조군에 있어서는 좌 전전두엽에서는 0.51%의 차이와 우 전전두엽에서는 0.87%의 차이를 보였다. 실험 군과 대조군에서 변화량의 차이는 그림 9와 같이 좌 전전두엽에서는 1.28% ($t=2.78, p < 0.025$), 우 전전두엽에서는 0.37% ($t=2.24, p < 0.05$)의 유의성 있는 변화가 있음을 알 수 있다. 표 1, 표 2에 의하면 beta1(low beta) 영역에서도 증가량이 있어서 분석해 본 결과 그림 8과 같이 좌 전전두엽에서는 1.58% ($t=2.81, p < 0.01$), 우 전전두엽에서는 0.69%의 증가가 있었다. 대조군에 있어서는 beta1의 차이는 그림 9와 같이 좌

전전두엽에서는 0.41%의 감소와 우 전전두엽에서는 0.04%의 증가를 나타냈다

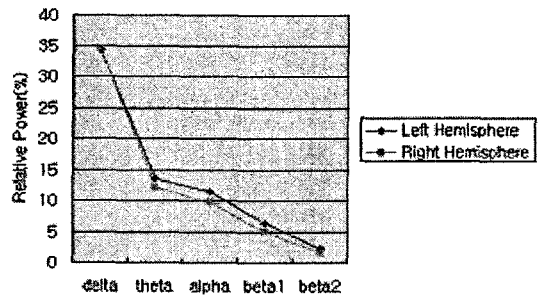
beta1에 대한 대조군과 실험군의 변화량의 차이는 그림 9와 같이 좌 전전두엽에서는 1.99% ($t=2.48, p < 0.05$), 우 전전두엽에서는 0.73% ($t=2.17, p < 0.05$)의 차이가 있었다.

표3, 그림 10과 같이 alpha파의 동시성의 변화를 보면 훈련 전후에는 0.3 정도가 증가하였고 대조군에서는 0.04 정도가 증가하여 훈련 B에 의해 alpha파의 동시성이 증가함을 알 수 있다.

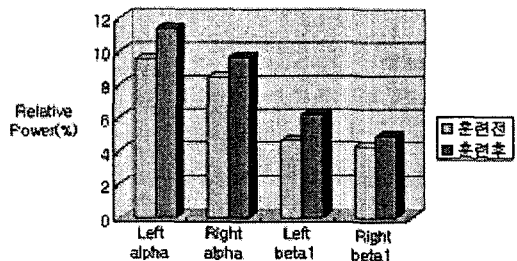
<그림 6> 훈련 B의 실험군의 훈련 전 뇌파 평균



<그림 7> 훈련 B의 실험군의 훈련 후 뇌파 평균

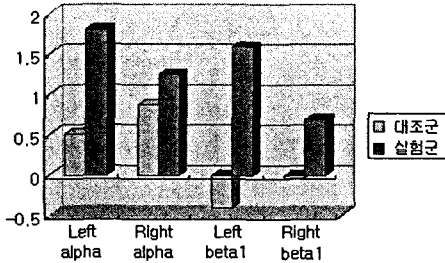


<그림 8> 훈련 B의 실험군의 훈련 전후 alpha파, beta1파 증가량 변화 ($p < 0.05$)

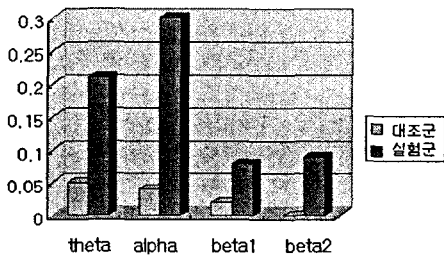


<그림 9> 훈련 B의 대조군과 실험군의 alpha파, beta1파 증가량 변화

(Left alpha: $p < 0.025$, others: $p < 0.05$)



<그림 10> 훈련 B의 대조군과 실험군의 Coherence 차이의 변화



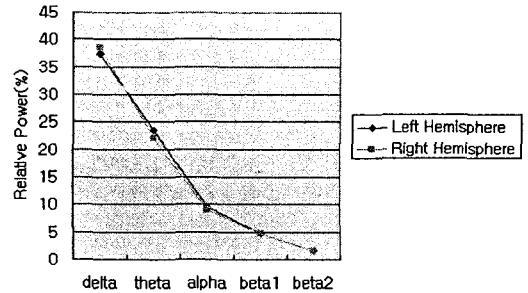
3. 훈련 모드 C

훈련 전후의 실험군의 좌 전전두엽에서는 beta1(low beta)의 변화는 표1, 표2, 그림 13과 같이 1.7%의 차이($t = 2.33$, $p < 0.05$)를 보였고, 우 전전두엽에서는 1.86%의 차이($t=2.55$, $p < 0.05$)를 보였다. 대조군에 있어서는 좌 전전두엽에서는 0.41%의 감소와 우 전전두엽에서는 0.04%감소를 나타냈다. 실험군과 대조군의 변화량의 차이는 그림 14와 같이 좌 전전두엽의 경우 2.11($t = 2.48$, $p < 0.05$)의 증가를 보였고 우 전전두엽에서는 1.9($t = 2.2$, $p < 0.05$)의 증가를 보였다.

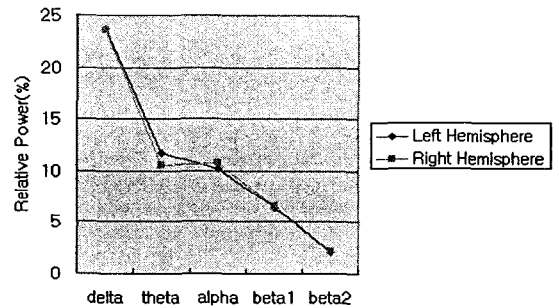
Beta2(high beta)의 좌 전전두엽에서는 0.49%($t=2.81$, $p < 0.01$), 우 전전두엽에서는 0.53%의 증가가 있었다. 표1, 표2, 그림13 대조군에서는 좌전두엽에서는 0.01감소 우전두엽에서는 변화가 없었다. 실험군과 대조군의 변화량의 차이는 그림 14와 같이 좌 전전두엽의 경우 0.5 ($t = 2.61$, $p < 0.05$), 우 전전두엽의 경우 0.53 ($t=2.68$, $p < 0.05$)의 차이가 있었다.

표3, 그림 15와 같이 beta1파의 동시성의 변화를 보면 훈련 후가 훈련 전보다 0.3 증가하였고 대조군에서는 0.02가 증가하였고, beta2파에 있어서는 훈련전보다 훈련 후에 0.1 증가하였고 대조군에서는 변화가 없었다.

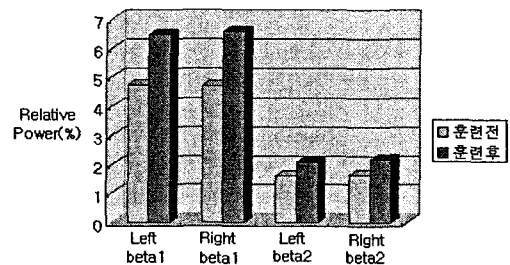
<그림 11> 훈련 C의 실험군의 훈련 전 뇌파 평균



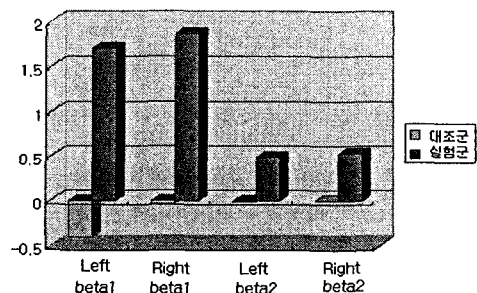
<그림 12> 훈련 C의 실험군의 훈련 후 뇌파 평균



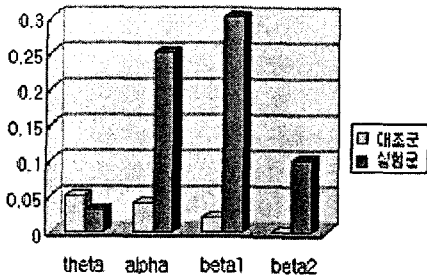
<그림 13> 훈련 C의 실험군의 훈련 전후 beta1, beta2의 증가량 변화 ($p < 0.05$)



<그림 14> 훈련 C의 대조군과 실험군의 beta1, beta2의 증가량 변화 ($p < 0.05$)



<그림 15> 훈련 C의 대조군과 실험군의 Coherence 차이의 변화



6. 고찰

본 연구는 기능성영상과 음악을 조합한 멀티미디어 콘텐츠 그리고 사용자의 참여를 유도하고 고도의 주의, 집중력을 요구하는 게임 형식의 두뇌 훈련 프로그램이 실제로 목표로 하는 두뇌 기능의 향상에 어느 정도의 효과를 나타내는지 알아 보는 것이 목적이다.

실험군은 긴장이완 집중력 향상, 두뇌 활성화의 목표를 가지고 제작된 컴퓨터용 멀티미디어 콘텐츠로 훈련하게 하였고, 대조군은 훈련을 하지 않고 단지 휴식만 취하게 한 후 사전과 사후의 뇌파 값을 비교해 보았다. 긴장 이완의 경우 알파파의 증가 혹은 세타파가 증가됨이 알려져 있으나 본 연구에서 사용된 훈련 A의 경우 명상에 가까운 보다 깊은 이완 상태를 목표로 하기 때문에 세타파의 증가 여부를 훈련 효과의 지표로 삼았다. 실험 결과 좌우 전 전두엽에 있어서 모두 세타파의 유의한 증가가 있었고 동시성에 있어서는 모든 주파수 성분에서 현저하게 증가하였다. 동시성이란 주파수 성분이 얼마나 일치하는가를 나타내는 정도로 A 훈련을 가지고 훈련을 했을 때 명상 혹은 깊은 이완의 효과뿐만 아니라 좌우 뇌의 균형 즉 synchrony에도 효과가 있음이 나타났다.[17] 이것은 명상 효과와도 관련한 것으로 훈련 A에 의해서 몸과 마음이 이완되고 좌우 뇌가 균형적인 조화[18]를 이룰 수 있음을 나타낸다.

훈련 B의 경우 집중력 향상을 위한 훈련 모드였다. 집중력이란 외부에서 들어오는 정보를 중에서 자기에게 필요한 정보만을 끌어내고 나머지는 차단시킬 수 있는 능력을 말한다. 또한 그러한 능력을 얼마큼 오랜 시간 유지할 수 있는가 하는 것도 집중력의 범주에 속하는 능력이다. 보통 집중이 잘 되는 상태에서는 알파파의 전압 값의 상승과 출현 빈도의 증가가 보고되었다. 또한 low beta(beta1)의 상승과도 밀접한 관계가 있다.

본 논문에서 실험한 결과 알파파에 있어서는 좌우뇌 모두 유의성 있는 증가를 보였고 low beta에 있어서는 좌뇌만이 유의성 있는 증가를 보였다. 좌뇌와 우뇌에 있어서는 좌뇌의 변

화량이 더 컸으며, 또한 좌뇌에 있어서는 low beta의 증가가 알파의 증가보다 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 이것은 사용자 인터페이스 방식의 훈련 B의 경우 우뇌 보다는 좌뇌의 기능을 향상시키는 효과를 보인다고 말할 수 있겠다. 동시성을 보면 대조군에 비해서 theta, alpha, low beta, high beta 영역 모두가 증가되었다.[19] 동시성이 증가할 때 집중력이 향상된다는 보고가 있으므로 타당한 결과라 하겠다. 훈련 C의 경우 두뇌를 활성화 시키는 훈련 모드이다. 두뇌의 활성화란 서파 보다는 low beta파 이상의 속파 성분의 출현 비율이 높아짐을 의미한다.

실험 군에서의 low beta(beta1, 12~15Hz)의 훈련 전과 훈련 후의 변화는 유의성이 있는 증가를 보였고 반면에 대조군에서의 low beta파는 오히려 줄어드는 결과를 보였다. 이는 대조군의 피험자들은 훈련 대신에 휴식을 취하였기 때문에 속파 성분이 줄어들었다고 볼 수 있고 그 외의 큰 의미는 없다고 볼 수 있다.

High beta(beta2, 15~30Hz) 성분은 훈련 후에 좌 전두엽에서만 유의성 있는 증가를 보였고 우 전두엽에서도 증가는 하였지만 $p < 0.05$ 에서는 유의성 있는 결과는 아니었다. 훈련 C의 두뇌 훈련이 우뇌 보다는 좌뇌에 맞추어져 있음을 의미한다고 해석할 수 있다. High beta의 경우 대조군에서는 low beta와 마찬가지로 거의 변화가 없다고 볼 수 있으며 이것은 계산 기억 사고 등의 전두엽 혹은 대뇌 피질의 정신적인 과제 수행 시에 높은 발현 빈도를 보이는 속파의 특성을 그대로 반영하는 것으로 훈련 후에 두뇌가 속파로 활성화됨을 의미한다고 볼 수 있다. 동시성을 보면 훈련 B와 C 모두 대조군에 비해서 실험 군에서 증가하는 결과를 볼 수 있다. 이것은 훈련 B와 C가 훈련하고자 하는 목적은 다를지라도 그것이 효과적인 결과를 얻기 위해서는 좌우 뇌의 동시성이 커져서 어느 한쪽 반구의 뇌만을 편협하게 사용하는 것이 아니라 유연성 있게 양쪽의 뇌를 사용하여야 더욱 효과가 있음을 나타내는 결과라 할 수 있다.

본 연구에서 얻어진 결과를 보면 멀티미디어를 이용한 두뇌 훈련의 경우 소리나 영상을 단독으로 사용했을 때와는 달리 어느 한 주파수 성분만을 증가 시키는 효과를 보이는 것이 아니라 특정한 목적에 따라서 여러 가지 주파수 성분들을 동시에 변화시키고 좌우 뇌의 동시성을 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 정확하게 멀티미디어 훈련 프로그램의 어느 단계와 요소가 정확하게 좌뇌와 우뇌 중 어느 부분을 어느 정도로 발달시킬 수 있는지는 아직 알 수 없었다. 그것은 각 훈련법을 단계별로 구분하여 그 각각에 대해서 다시 사전 사후 뇌파 분석을 하면 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

Reference

[1] James D. Lane (1998). Binaural Auditory Beats Affect Vigilance Performance and Mood. *Physiology & Behaviour*, Volume 63, Issue 2, January 1998, pp249 252

[2] Harrer, G, Harrer, H.(1977). Music, emotion, and autonomic function. In MacDonald C. and R. A. Henson, *Music and the Brain*. William Heineman Medical Books. pp202 216.

[3] Neil Martin(1998). Human electroencephalographic(EEG) response to olfactory stimulation: Two experiments using the aroma of food. *International J. of Psychophy.*, Volume 30, Issue 3, 1 November,1998, pp287 302.

[4] A. Bamea, A. Rassis (2004). Effects of neurofeedback on hemispheric attention networks. *Brain and Cognition*, In Press, Corrected Proof, Available online 14 November 2004

[5] Bruce J. Fisch(1999).Fisch and Spehlmann's EEG Primer. Elsevier. Pp123 154.

[6] James R. Evans(1999). Introduction to quantitative EEG. Academic Press. pp11 14, 99 100.

[7] Dumemuth, G.(1973). Numerical spectral analysis of the EEG. *Handbook EEG Clin. Neurophysiol.*,5A,Elsevier Scientific Company,pp33 60.

[8] Welch, P.D.(1967). The use of Fast Fourier Transform for the estimation of power spectra:method based on time averaging over short modified periodograms. *IEEE Trans. Audio Electroacoust.*, AU 15,70 73.

[9] Shaw, J.C(1984). Correlation and coherence analysis of the EEG: a selective tutorial review. *Int. J. Psychophysiol.*, 1, 255 266.

[10] Allport, D. A.(1980). Attention and performance. In cognitive psychology, G. Glaxton, ed., London:Routledge and Kegan Paul, pp112 153.

[11] Corbetta, M.(1998). Fronto parietal cortical networks for directing attention and eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural system? *Proc. Nat. Acad. Sci.*95:831 838.

[12] Ford,MR(1986). EEG coherence and power in the discrimination of psychiatric disorders and medication effects. *Biol. Psychiat.*,21,1175 1188.

[13] Levine PH(1976). The coherence spectral array and its application to the study of spatial ordering in the EEG. *Proc San Diego Biomedical System* 15:237 247

[14] Wienecke, G.H.(1980). Normative spectral data on alpha rhythm in adults. *Electroencephalogr. Clin.Neurophysiol.*,49,636 645.

[15] Tucker, D. M.(1984). Asymmetric EEG power and coherence as method actors generated emotions. *Biol. Psychol.*,19,63 75.

[16] Vemer Knott.(2001). EEG power, frequency, asymmetry and coherence in male depression. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, Volume 106, Issue 2, 10 April 2001, pp 123 140.

[17] Dillbeck MC, Bronson E(1981). Short term longitudinal effects of the transcendental meditation technique on EEG power and coherence. *Int. J of Neurosci* 14:147 151

[18] Davidson, R. J.(1979). Frontal versus parietal EEG asymmetry during positive and negative affect. *Psychophysiology*,16,202 203.

[19] Earle, J. B.(1985): The effects of arithmetic task difficulty and performance level on EEG alpha asymmetry. *Neuropsychologia*,23,233 242.

노 헌 준



The Univ. of Oregon 경제학부 졸업
 The Univ. of South Carolina 영상예
 술대학원 졸업
 영산대학교 영상디자인학과 교수
 현 남서울대학교 멀티미디어학과 교
 수