

뉴로피드백 훈련이 회상기억과 재인기억에 미치는 효과*

Effects of Self-Regulated Neurofeedback Training on Recall and Recognition

양혜련** · 이재식***†

Hye-Ryeon Yang** · Jaesik Lee***†

부산대학교 인지과학 협동과정**

Department of Cognitive Science, Pusan National University**

부산대학교 심리학과, 인지과학 협동과정***

Department of Psychology, Department of Cognitive Science, Pusan National University***

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the effects of self-regulated neurofeedback training on elementary school students' recall and recognition performance. For this purpose, the participants were randomly allocated to control condition where no training was provided or training condition where participants were trained in 4 self-regulated neurofeedback training sessions. As the dependent measures, correct free recall rates and correct recognition rates were analyzed. The results showed that overall scores of recall and recognition were enhanced by the administration of the training itself, and as the training sessions advanced. In particular, the effect of the training seemed to induce more positive effect on the both memory tasks when the task difficulty (manipulated by increasing the number of target words) was increased. These results implied that self-regulated neurofeedback training can induce increased recollection ability for words by enhancing attentional process.

Keywords : Self-regulated neurofeedback training, recall, recognition, task difficulty

요약

본 연구의 목적은 초등학교 학생들을 대상으로 뇌파 자기-조절 뉴로피드백 훈련이 회상기억과 재인기억에 미치는 효과를 검토하는 것이다. 이를 위해 36명의 초등학교 학생들을 자기-조절 4 회기의 뉴로피드백 훈련을 받는 훈련집단과 이러한 처치가 제공되지 않은 통제집단으로 각각 18명씩 무선할당한 후에, 각 회기에 따라 회상기억과 재인기억 수행의 변화를 관찰하여 분석하였다. 그 결과 회상기억과 재인기억 모두 자기-조절 뉴로피드백 훈련집단이 통제집단에 비해 더 우수한 수행을 보였을 뿐만 아니라 훈련회기가 증가함에 따라 두 가지 수행치 모두 향상되는 것이 관찰되었다. 특히 기억해야 하는 표적단어의 수로 조작한 과제 난이도가 증가할수록 훈련 효과도 더 증가하였다. 본 연구의 결과는 자기-조절 뉴로피드백 훈련이 피훈련자의 주의력을 향상시켜 주요 인지과정 중 하나인 단어 기억 수행을 향상시키는데 도움이 될 수 있다는 것을 시사한다.

주제어 : 자기-조절 뉴로피드백 훈련, 회상기억, 재인기억, 과제 난이도

* 본 논문은 제1저자의 석사학위 논문 중 일부임

† 교신저자 : 이재식(부산대학교 심리학과)

E-mail : jslee100@pusan.ac.kr

TEL : 051-510-2131

FAX : 051-581-1457

1. 서론

뉴로피드백(neurofeedback)은 자신의 뇌파 변화를 직접 눈으로 보면서 필요한 뇌파를 조절하여 뇌신경 섬유조직의 네트워크를 발달시키고 정보교환을 활성화시키는 기술이다(박병운, 2002). 뉴로피드백은 뇌파를 측정하여 이 신호를 관찰자(혹은 피훈련자)에게 피드백함으로써 뇌와 신체의 항상성을 유지하는 자기조절 능력을 향상시키고자 개발되었다. 본 연구에서는 뉴로피드백을 ‘자신의 현재 뇌파 상태에 대한 정보를 시각적/청각적으로 제시해줌으로써 필요한 뇌파를 스스로 조절하여 목표하는 상태에 이르도록 조절하게 하는 기법’이라고 정의하고자 한다. 뉴로피드백 훈련 효과는 학습 분야를 비롯한 건강, 명상, 스포츠, 그리고 업무 능력의 향상 등 각 분야에서 효과가 있음이 증명되고 있다.

뉴로피드백을 포함한 다양한 형태의 뇌파 측정 및 응용을 위해 대뇌 표피에서 측정되는 뇌파는 매우 다양하다. 요즘처럼 컴퓨터를 사용한 분석법이 개발되기 이전에는 뇌파 파형을 주로 시각적인 방법으로 분석하였다. 전통적으로 이러한 뇌파 활동은 파형의 모양, 주파수, 진폭(강도) 그리고 특정 주파수의 지속시간 등을 기초로 분류되었다.

여러 뇌파 유형 중 가장 많이 측정되고 중요하게 다루어지는 뇌파에는 델타파, 세타파, 베타파 및 알파파가 포함된다. 델타파는 최고 100~200 μ V의 큰 진폭과 0.5~3.5Hz 정도의 적은 주파수를 보이는 파형으로 정상인이 깊은 수면을 하고 있을 때 대개 나타난다. 세타파의 주파수는 4~7Hz 정도이고 진폭은 20~100 μ V 까지 다양하지만, 대략 30 μ V 이하로 나타난다. 세타파는 정상적인 수면상태에서 주로 발생된다. 일반적으로 눈을 뜬 상태로 이완되어 있는 사람의 뇌파는 대략 3/4 정도 알파파를 보이고, 눈을 감고 이완하면 알파파가 더 증가한다. 알파파는 30~50 μ V의 높은 진폭과 8~12Hz의 적은 주파수를 보이는 뇌파 파형으로 특정 의식 수준과 관련되어 있는 것으로 여겨진다. 베타파는 2~20 μ V의 진폭과 13~30Hz 정도의 주파수를 보이는 불규칙적인 파형으로 정신적인 활동이나 신체적 운동에 의해 발생된다. 또한 베타파는 불안과 같은 긴장 상태와도 관련이 있으며, 청각, 촉각, 그리고 정서적 자극에 의해서도 영향을 받는다.

전통적으로 뇌파에 대한 연구는 뇌활동 영역에 따라 차별적으로 출현하는 뇌파가 다르다는 사실과, 특

정 활동(예를 들어, 인지적 활동이나 신체적 활동)에 따라 주된 활동을 보이는 뇌파가 다르다는 것에 주로 초점을 맞추어 이루어졌다(e. g., Kourtzi & Kanwisher, 2000). 이와 유사한 맥락에서 뇌파를 통한 피드백을 주된 훈련 방법으로 사용하는 뉴로피드백 훈련도 특정 뇌파에 대한 훈련이 인간의 인지 기능 중 어느 측면에 차별적으로 효과를 갖는지 밝히기 위한 목적으로 많이 수행되었다.

Vernon 등(2003)은 정상인을 대상으로 8주간 뉴로피드백 훈련을 시행한 결과 4~7Hz의 주파수를 갖는 델타파에 대한 강화는 회상기억 능력을 향상시킨 반면, 12~15Hz의 주파수를 갖는 감각운동 리듬(sensorimotor rhythm: SMR) 활동에 대한 강화는 주의 처리에 긍정적 효과가 있음을 발견하였다. 이들의 연구는 세타파가 작업기억 능력과 밀접한 관련이 있다는 기존 연구들(e. g., von Stein & Sarnthein, 2000)에 기초한 것이다. 그러나 다른 연구들은 작업기억을 포함한 인지적 처리 과정에 알파파가 더 중요한 변인이 될 수 있다는 것을 보여준 바 있다(e. g., Krause et al., 2000). 또한 대상의 여러 측면들을 통합적으로 묶어 처리하는데 요구되는 감마파(38~42Hz)와 학습에 요구되는 베타파(10~30Hz)의 활동에 대해 뉴로피드백 훈련을 실시한 Keizer, Verment 및 Hommel(2010)의 연구에서는 감마파에 대한 훈련이 단기 기억의 회상수행을 증가시키는 반면, 베타파에 대한 훈련은 대상에 대한 친숙성과 관련되는 장기 기억에서의 인출에 차별적인 효과를 갖는다는 것을 발견하였다.

뉴로피드백 훈련이 적극적으로 활용되는 영역 중 하나는 스포츠 분야로서 이에 대한 연구들은 주로 뉴로피드백 훈련이 경기력 향상에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 하였다. 예를 들어, 정청희, 홍길동 및 황진(2004)은 뇌파 바이오피드백 기기를 활용한 9주간의 주의집중 훈련 프로그램이 양궁 경기 수행력과 집중력에 긍정적인 효과를 가져 온다는 것을 관찰하였고, 김재훈과 설정덕(2003)은 남자 대학생 30명을 대상으로 뇌파조절을 통한 집중력과 심상이 골프퍼팅 수행학습에 미치는 효과를 연구하였다.

뉴로피드백 훈련에 따른 우울증이나 주의력 결핍 장애의 개선 효과도 많이 보고되었다. 김현택, 이지하 및 최승원(2007)에 의하면 최근 EEG를 이용한 바이오피드백, 즉 뉴로피드백이 심리학 및 의학계에서 큰 관심을 받고 있다고 언급하였고, 국제 신경조절학회(International Society for Neurofeedback Training)에서는

간질, 주의력 결핍 및 과잉행동 장애, 뇌 손상, 불안 장애, 중독 관련 장애, 만성 피로증후군, 통증, 우울증 등 다양한 심리 장애 영역에서 뉴로피드백 치료 효과가 관찰될 수 있음을 보고하였다.

Tansey(1991)는 15명의 주의집중 결핍 아동과 학습 장애 아동이 뉴로피드백 훈련을 통해 아동용 웨슬러 지능검사(Wechsler Intelligence Scales for Children: WISC-R) 점수가 향상된다는 것을 밝혔고, 마찬가지로 Othmer와 Othmer(1992)의 연구에서도 17명의 주의집중 결핍·과잉 운동장애 아동과 학습장애 아동의 뇌파 중 15~18Hz 대역을 상승시키는 반면 4~7Hz 대역을 감소시키는 뉴로피드백 프로토콜을 적용한 결과, 적용 이전에 비해 적용 이후에 WISC-R의 각 항목에서 점수가 향상되는 결과를 얻었다. 또한 Linden, Habib 및 Radojevic(1996)도 주의력 결핍과 학습장애를 갖고 있는 5~15세의 약물 비사용 아동 18명에게 16~29Hz 대역은 증가시키는 반면, 4~8Hz 대역은 감소시키는 뉴로피드백 프로그램을 적용한 결과 WISC-R 점수를 향상시킬 수 있었다. 그리고 Thompson과 Thompson(1998)은 세타파 감소와 베타파 증가 프로토콜을 이용한 뉴로피드백 훈련과 함께 초인지(meta cognition) 방략 프로그램을 5~17세의 아동 98명에게 적용한 결과, 평균 WISC-R 점수가 12점 정도 더 향상되었다고 보고하였다.

문화진(2002)은 뉴로피드백 원리와는 조금 다른 뇌파 유도 장치를 통해 뇌파를 조절하였을 때 단기 기억 능력에 어떠한 변화가 있는지 연구하였다. 이 연구에서는 알파파와 세타파를 인위적으로 유도하는 뇌파유도기를 통해 뇌파를 조절한 후 숫자 외우기 검사, 숫자 거꾸로 외우기 검사, 무의미철자 검사, Raven 도형 검사를 실시하여 실험집단과 통제집단간 점수의 차이를 비교하였는데, 그 결과 통제집단은 4개의 소검사 중 숫자 외우기 검사 1개에서만 유의한 차이를 보인 반면, 뇌파 조절 처지가 가해진 실험집단은 그렇지 않은 통제집단에 비해 4개의 소검사 모두 유의한 차이를 보여 뇌파 조절을 통해 단기 기억력이 향상될 수 있음을 검증하였다. 이영희(2003)는 알파파 유발 이완 훈련이 뇌성마비 학생의 주의 집중과 기억에 미치는 효과를 고찰하였다. 이 연구에서는 예비검사와 사전검사(주의 집중 수행 과제, 한국판 기억 평가 검사) 이후, 처치 프로그램(알파파 유발 이완 프로그램)을 주3회 20분씩 총 15회 실시하였다. 훈련 이후 사후검사를 사전검사와 동일하게 실시한 후, 알파파 유발 프

로그램 실시를 마친 날부터 40일 이후의 기억 파지 검사를 실시하였다. 그 결과 단기 기억, 언어 기억, 시각 기억에서 모두 처치집단의 수행이 더 우수하였다.

위에서 개관된 바와 같이 뉴로피드백 훈련이 갖는 효과는 인지 혹은 학습 능력에서 장애를 갖고 있는 사람들을 주요 연구대상으로 많이 수행되었다. 특히 정상인을 대상으로 한 뉴로피드백 훈련에서도 연구들에 따라 어떠한 뇌파가(그리고 어떤 수준의 뇌파 진폭이) 특정 인지 기능과 관련되어 있는지에 대해서는 연구들에 따라 일관적으로 관찰되지 않고 있다. 예를 들어, 동일하게 작업기억을 다룬 연구들이라 할지라도 연구들에 따라 세타파(Vernon 등, 2003) 혹은 알파파(e. g., Krause et al., 2000)가 다른 뇌파들에 비해 작업 기억과 상대적으로 더 많이 관련되어 있다고 보고하고 있다.

본 연구에서는 지금까지 상대적으로 많이 다루어지지 않았던 능동적 뇌파-조절 뉴로피드백 훈련이 정상 아동의 기억 능력에 어떠한 효과를 갖는지 경험적으로 검토하고자 한다. 특히 위에서 기술한 바와 같이 연구자들에 따라 단기적 기억 수행과 관련되는 뇌파에 대해 상이한 결과가 보고되고 있는데, 본 연구에서는 뉴로피드백을 통한 알파파 강화에 초점을 맞추어 알파파 강화가 피훈련자의 회상기억이나 재인기억에 어떠한 효과를 갖는지 검토하고자 한다. 또한 뉴로피드백 훈련을 통해 뇌파에 대한 자기-조절이 가능한 능동적 훈련집단에 비해 모든 훈련 환경은 동일하지만(뉴로피드백을 자체는 제공하지 않는 대신) 특정 과제에 주의집중 하도록 지시하거나 심신을 이완하도록 강조한 통제집단 사이에 어떠한 차이가 있는지 관찰함으로써 뉴로피드백 훈련이 다른 훈련 양상에 비해 얼마나 차별적인 효과를 갖는지 검토하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 실험참가자

부산광역시 소재한 초등학교의 4학년생 36명(남학생 21명, 여학생 15명)을 표집하여 통제집단과 훈련집단에 각각 18명씩 무선으로 할당하였다. 표 1은 본 실험에 참가한 실험참가자의 분포이다. 이들의 연령은 11세 혹은 12세였다.

표 1. 본 연구의 실험참가자 분포(단위: 명)

성별	훈련집단	통제집단	합 계
남	10	11	21
여	8	7	15
합 계	18	18	36

2.2. 뇌파 측정 및 훈련 도구

본 연구에서는 (재)한국정신과학연구소에서 개발한 Neurofeedback System(Braintech Corp., Korea)을 이용해 훈련을 실시하였다. 뇌파를 이용한 바이오피드백인 뉴로피드백 시스템은 뇌파를 유도한 상태에 대한 피드백을 제공함으로써 사용자 스스로 자신의 뇌파 상태를 조절할 수 있도록 한 장치이다. 뉴로피드백 시스템은 잘 알려져 있는 뇌파 측정기인 Grass System (USA)과의 좌·우 뇌파, 알파, 베타, 세타 값에 대한 상관계수가 .916($p < .001$)으로 나타나 신뢰도가 입증된 바 있다(김용진 등, 2000). 뉴로피드백 시스템은 센서가 부착된 헤드밴드를 전두엽 영역에 착용하고, 이를 통해 얻어지는 뇌파를 통해 사용자 스스로 컴퓨터를 제어하여 주의집중력이나 긴장이완을 훈련하도록 도와주는 시스템이다.

예를 들어, 거울을 보고 잘못된 자세나 표정을 스스로 교정할 수 있는 것과 마찬가지로, 이 시스템을 통해 자신의 뇌파 상태를 직접 관찰, 유도, 혹은 수정함으로써 주의집중력을 높이고 긴장을 이완시키는 등의 훈련을 할 수 있는 것이다. 본 연구에서 사용된 뉴로피드백 훈련 모드(mode)는 휴식, 주의력, 집중력이었고, 주요 주파수 대역은 알파파가 8~12Hz, 감각-운동 리듬(Sensory Motor Rhythm: SMR)이 13~15Hz, 그리고 저베타파는 16~20Hz이었다. 헤드밴드에 부착된 전극은 금으로 도금된 고체 전극으로 4cm 간격으로 고정 배치된 FP1, FPz, FP2의 3개 채널을 통하여 전전두엽으로부터의 뇌파를 피드백한다. 기준전극(reference electrode)으로 좌측 귓볼에 부착하였다.

2.3. 뉴로피드백 훈련 프로그램

본 실험의 훈련집단에 포함된 실험참가자들은 화면 손가락 구부리기, 활쏘기, 그리고 행성 맞추기 등과 같은 게임 방식의 자기-조절 뉴로피드백 훈련을 받았다. 그림 1은 이러한 훈련 프로그램의 훈련 화면을 예시한 것이다. 각 훈련 프로그램의 시행 절차는 아래와

같다.

2.3.1. 손가락 구부리기

손가락 구부리기 훈련(그림 1a)을 다음과 같은 방식으로 진행되었다. 먼저 실험참가자가 ‘시작’ 버튼을 누르면 그림 1a와 같은 화면이 제시된다. 화면의 왼쪽 중앙에 폭탄 모양은 시간을 의미하며 훈련 1회에 소요되는 시간은 2분이다. 게임이 진행되면 긴장을 풀고 편안하게 이완된 상태로 화면을 주시한다. 측정된 뇌파가 훈련을 위한 적정 수준이 되면 ‘빠’ 하는 청각 신호와 함께 손가락 영상이 구부러지며 움직이기 시작한다. 만약 훈련 조건을 만족하지 않으면 벨소리가 발생하지 않고 동시에 구부러지던 손가락이 다시 펼쳐지게 된다. 훈련에 의해 수행이 향상됨에 따라 청각 신호가 연속적이고 빈번하게 제공되고 점차 손가락 영상이 완전하게 구부러지게 된다. 이렇게 완성된 형태가 일정 시간 유지되면 점수가 올라가게 되는데, 손가락 구부리기를 완료한 빈도만큼 화면 왼쪽 상단에 손가락의 개수가 증가되도록 함으로써 점수가 표시된다. 실험참가자들의 과제는 가능한 빠르게 점수를 높이는 것이다.

2.3.2. 활쏘기

활쏘기 프로그램의 1회 훈련에 소요되는 시간은 2분이다. 화면(그림 1b)의 상단에 표시된 활 모양의 표시가 2분 동안 사용 가능한 활의 수를 나타내며 총 15

- 1) 뉴로피드백 훈련에서 적정 수준의 뇌파는 본 실험에 사용된 뇌파측정기가 알파파, 베타파, 세타파 및 델타파의 상대적 주파수(frequency)와 강도(intensity)를 측정하여 자동적으로 결정한다. 본 연구에서는 학습에 효율적이라고 알려진 알파파가 강화되도록 하는 뉴로피드백 훈련을 시행하였는데, 본 연구에서 사용된 뉴로피드백 시스템은 델타, 세타 및 베타파의 강도는 억제되는 반면 알파파의 강도가 증가하였을 때(뇌파 패턴이 훈련을 위한 적정 수준에 이르렀을 때) 피험자에게 청각 신호를 통해 피드백을 제공한다. 즉, 각 뇌파 밴드별(알파파, 베타파, 세타파 및 델타파)로 강도에 대한 임계치가 정해지는데, 베타파, 세타파 및 델타파가 임계치를 넘어서지 않은 상태에서 알파파가 임계치를 넘어섰을 때 피드백을 제공하는 것이다. 이 때 주어지는 임계치는 피험자의 훈련 과정과 수준에 따라 자동적으로 조절되도록 프로그램되어 있다. 또한 훈련을 거듭할수록 임계치의 수준이 높아지도록 설정되어 있기 때문에 피험자가 알파파 강화 모드를 계속 유지할 때는 임계치 수준을 더 높여 훈련이 진행되는 반면, 알파파 강화 모드를 지속적으로 유지하지 못할 때는 임계치의 수준을 다시 낮추어 훈련이 진행되도록 되어 있다.

개가 주어진다. 만약 2분 동안 활을 모두 사용하지 못하더라도 시간이 종료되면 게임이 중단되며, 반대로 2분이 되지 않았더라도 주어진 활을 다 사용하게 되어도 게임이 중단된다. 따라서 피훈련자들은 시간과 활의 수를 조절하여야 한다. 게임이 진행되면 마우스에 손을 얹은 채 긴장을 풀고 편안하게 화면을 주시한다. 피훈련자의 주된 과제는 화살(마우스 포인터)을 화면의 과녁 영상 중앙에 위치시키는 것이다.

피훈련자가 활쏘기 수행을 준비한 상태에서 훈련에 요구되는 피훈련자의 뇌파 패턴이 적정 수준에 이르게 되면 벨소리가 제시되고, 이 때 피훈련자가 마우스의 왼쪽 버튼을 클릭하면 화살이 과녁에 꽂히게 된다. 피훈련자의 뇌파가 훈련 조건에 부합할수록 화살이 과녁의 중앙 쪽으로 맞게 되지만, 만약 그러한 뇌파 패턴을 일정 시간 동안 유지하지 못하면 화살이 과녁 밖으로 빗나가게 된다. 화살을 과녁에 많이 맞힐수록 활쏘기 수행 점수가 올라간다.

2.3.3. 행성 맞추기

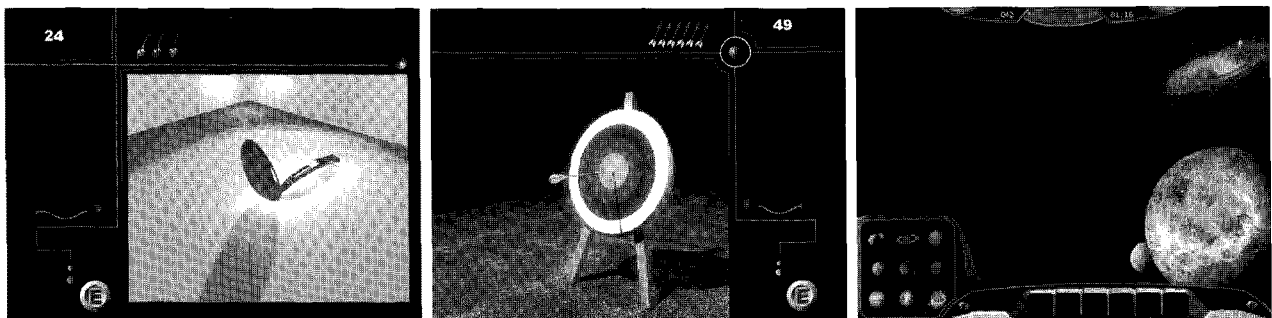
행성 훈련의 화면(그림 1c)은 왼쪽 하단에 행성의 종류를 그림으로 나타낸 행성판, 중앙 하단에 피훈련자들이 기억해야 하는 행성의 수를 나타내는 네모 박스, 화면 중앙에 행성이 나타나는 공간, 왼쪽 상단에 수행 점수, 그리고 오른쪽 상단에 소요시간이 제시되도록 구성되어 있다. 행성 맞추기 훈련을 시작하면 이 완료 상태로 편안히 하고 화면을 주시한다. 이때 뇌파가 적정수준에 이르러 훈련 조건에 부합되면 ‘삐’ 소리와 함께 행성이 하나씩 제시되는데 행성이 모두 나타날 때까지 기다렸다가 나온 행성의 순서대로 왼쪽 하단의 행성판에 있는 해당 행성들을 마우스로 클릭

한다. 만일 행성들을 순서대로 모두 맞히면 그 다음에는 행성 하나가 더 추가되어 제시되고, 제시된 행성들 중 하나라도 맞히지 못하면 이전 수행과 동일한 수의 행성이 다시 제시된다. 행성 맞추기는 수행 향상에 따라 총 9개의 행성까지 제시된다.

2.4. 회상기억과 재인기억 검사

본 연구에서 회상기억과 재인기억 측정을 위한 검사지 및 답안지는 연세 말뭉치 1에서 빈도 100~150 사이의 2음절 단어 462개를 추출하여, 이 중에서 부정적 의미의 단어나 이중적 의미를 지닌 단어를 제외하고 나머지 단어들을 실험자극으로 선택하여 사전검사 단계를 포함한 훈련회기와 회상/재인과제 수행에 따라 무선적으로 할당하여 사용하였다. 회상검사와 재인검사에서 각 표적 단어들은 컴퓨터 스크린에 1초에 1개의 속도로 제시하였다. 회상검사에서는 제시되었던 단어를 제시된 순서와 상관없이 기억나는 대로 답안지에 적도록 하였고, 재인검사에서는 이전에 제시되었던 단어수와 동일한 수의 방해자극 단어들을 검사지에 함께 제시하고 매 훈련회기별로 이전에 제시되었던 단어에는 ‘○’ 표, 제시되지 않았던 단어에는 ‘×’ 표 하도록 지시하였다.

회기 3부터 회기 4에서의 회상기억과 재인기억 검사방식은 앞의 1~2회기와 동일하였지만, 제시되는 단어를 12개에서 18개로 늘려 단어 기억에 대한 부담을 증가시켰다. 회기 3부터 제시 단어의 수를 늘린 것은 뉴로피드백 훈련을 실시한 집단의 경우 2회기까지 12개의 제시단어 중 11개 이상을 정확하게 재인하여 일종의 천장효과가 관찰되었고, 이로 인해 뉴로피드백 훈련회기에 따른 재인기억 수행에서의 향상 여부



(a) 손가락 구부리기

(b) 활쏘기

(c) 행성 맞추기

그림 1. 본 실험에 사용된 자기-조절 뉴로피드백 훈련 프로그램의 예시들

를 제대로 측정할 수 없었기 때문이다. 따라서 뉴로피드백 훈련 효과를 좀 더 민감하게 평가하기 위해 실험참가자들의 기억 부담을 증가시킬 필요가 있었고, 이에 대한 한 가지 방법으로 실험참가자들이 기억해야 하는 전체 단어의 항목수를 증가시켰다.

특히, 표적단어의 수를 증가시킴으로써 실험참가자들이 기억해야 하는 항목수가 증가하였기 때문에 이를 통해 실험참가자들의 기억 부담 수준도 증가하였을 것이다. 따라서 기억부담 수준에 따라 뉴로피드백 훈련의 효과가 차별적으로 관찰될 수 있는지도 검토할 수 있을 것이다. 그리고 회상과제 수행의 경우에는 재인과제 수행과는 달리 천장효과가 관찰되지 않았지만, 실험참가자들이 회기별로 회상과제와 재인과제를 동일한 과제난이도 조건에서 수행하도록 하기 위해 두 유형의 기억 과제 모두에서 회기 3부터는 18개의 단어를 제시하였다.

2.5. 실험 절차

본 훈련이 시작되기 이전에 실험참가자들이 뉴로피드백 시스템에 익숙해지도록 하기 위한 연습 훈련 단계를 거쳤다. 이 단계에서는 본 실험에서 사용하지 않은 “색칠하기” 훈련 프로그램을 이용하였는데, 이 훈련 프로그램은 위에서 기술된 다른 훈련 프로그램과 유사한 방식으로 피훈련자의 뇌파가 적정 수준에 도달할수록 화면에 제시된 도형에 색이 더 많이 칠해지도록 구성되어 있다. 이러한 연습 훈련 단계에서 훈련 집단의 실험참가자들에게는 (본 훈련 단계에서와 동일하게) 뉴로피드백이 실제로 제공되어 스스로의 뇌파 조절에 의해 색칠하기 수행이 변화되도록 하였다.

반면, 통제집단의 실험참가자들은 훈련집단과 동일한 방식으로 연습 훈련을 하기는 하지만, 뉴로피드백 시스템에서 피드백을 제공하는 와이어를 제거하여 실제로 관찰되는 훈련 화면은 훈련집단과 동일하지만 자기 조절된 뇌파가 시스템으로 입력되지 않아 즉각적인 뉴로피드백이 제공되지 않도록 하였다. 그 대신 통제집단은 편안한 상태에서 새소리나 물소리 등을 포함한 “자연의 소리”를 듣도록 하고 여기에 집중할수록 수행이 좋아진다고 지시하였다. 연습 훈련 단계에서 색칠하기 훈련 프로그램에 대한 훈련이 종료되면 실험자는 본 훈련 단계에서 사용될 세 가지의 훈련 프로그램들의 수행 방법에 대해 차례대로 설명하였고, 훈련 절차와 관련된 질문이 있을 경우 이에 대

해 답해 주었다. 그리고 실험참가자들이 충분히 모든 훈련 유형들에 대해 충분히 이해한다고 판단될 경우 본 훈련을 시작하였다.

본 훈련에서도 두 집단 모두에게 매 훈련회기 동안 세 가지의 동일한 뉴로피드백 훈련 화면을 제공하였고, 위에서 기술된 바와 같이 훈련집단에게는 즉각적인 뉴로피드백을 제공한 반면, 통제집단에게는 “자연의 소리”에 집중하도록 하였다. 통제집단에 적용된 이러한 절차에서는 통제집단의 실험참가자들이 제시되는 소리를 단지 수동적으로 감상하는 것에 그치지 않도록 주의하였다. 즉, 통제집단의 실험참가자들에게는 “자연의 소리”에 대해 집중하고, 심신을 이완한다면 세 가지 유형의 뉴로피드백 훈련 프로그램에서 모두 수행이 좋아질 것이라고 강조하였다(물론 실제로는 그렇지 않다!). 뉴로피드백 훈련 프로그램에서의 수행은 훈련집단의 경우 실제로 자기-조절된 뇌파를 통해 변화된 화면으로 나타내지는 반면, 통제집단의 수행은 이러한 피드백없이 무선적으로 변화되는 화면으로 제시되었다. 모든 집단에 대해 훈련이 시작되기 이전에 회상기억과 재인기억 능력에 대한 사전검사를 먼저 실시하였다. 그리고 각각의 훈련회기가 종료된 후 회상기억과 재인기억 검사를 실시하였다. 훈련은 주 2회에 걸쳐 모두 4회기에 걸쳐 이루어졌으며, 매 회기의 훈련 시간은 30분이었다.

2.6. 자료처리 및 분석

본 연구의 가장 주된 목적은 뉴로피드백 훈련 여부에 따른 뉴로피드백 자기-조절 훈련을 받은 집단(훈련 집단)과 그렇지 않은 집단(통제집단) 사이에 훈련회기에 제시된 단어 자극들에 대한 회상 수행과 재인 수행에서의 차이를 검증하는 것이다. 이를 위해 회상 점수와 재인 점수를 백분율로 변환하여 각 회기에 따라 어떠한 차이가 있는지 반복측정 변량분석을 실시하였다.

본 연구에서 사전 검사부터 회기 2까지는 회상 과제와 재인 과제 각각 12개의 표적 단어들이 제시된 반면, 회기 3과 회기 4에서는 자극의 난이도를 높이고, 뉴로피드백 자기-조절 훈련 효과를 좀 더 민감하게 측정하기 위하여 표적 단어의 개수를 12개에서 18개로 증가시켰다. 회기 1과 2에서 표적 자극의 개수가 12개이기 때문에 12개의 방해자극 단어수를 포함하면 기억 수행율을 계산하는데 분모값은 24가 되고 마찬가지로

가지로 회기 3과 4에서는 분모값이 36이 된다. 다시 말해 정확하게 기억한 단어 수의 비율을 계산하는데 회기에 따라 다른 기준이 사용된다는 것이다. 따라서 백분율로 변환한 기억 수행의 정도를 평가하는데 이 수치들은 절대적 크기보다는 상대적 차이를 주로 살펴봐야 할 것이다.

또한 훈련 실시 이전에 사전검사 회기동안 통제집단과 훈련집단 사이에 회상수행과 재인수행 능력에서 모두 동질적이라는 것을 확인해야 할 필요가 있었다. 이를 확인하기 위해 훈련이 시작되기 이전에 측정된 회상 수행과 재인 수행에 대한 사전검사 점수들에 대해 독립집단 t-검증을 실시하였다. 그 결과, 회상율의 경우 통제집단은 37.8%, 훈련집단은 42.2%로 이 두 집단 사이의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다 [$t(34) = 1.17, p = .251$]. 마찬가지로 재인율의 경우에도 통제집단은 72.97%, 훈련집단은 74.4%로 이 두 집단 사이의 차이도 통계적으로 유의하지 않았다 [$t(34) = .53, p = .601$] 따라서 훈련 이전의 통제집단과 훈련집단의 회상 및 재인 능력은 동질적으로 통제되었다고 할 수 있다.

3. 실험 결과

본 실험 결과의 분석은 크게 (1) 세 가지 뉴로피드백 훈련 프로그램에 대한 수행 자체의 분석(즉, 뉴로피드백 훈련에서 요구하는 과제에 대한 수행이 훈련 회기에 따라 달라지는가)과 (2) 두 가지의 기억검사 수행에 대한 분석(즉, 훈련회기에 따라 실험참가자의 회상과제 수행과 재인과제 수행에서 차이가 있는가)으로 구분된다. 앞서서도 기술하였듯이 본 연구의 관심은 뉴로피드백 자기-조정 훈련이 진행됨에 따라 기억수행이 달라지는지의 여부를 관찰하는 것이다. 만일 기억과제에서 변화가 뉴로피드백 훈련에 의한 것이라면 뉴로피드백 훈련 프로그램에서 요구된 세 가지의 과제들(순가락 구부리기, 활쏘기, 행성 맞추기)에서의 수행도 훈련에 따라 달라져야 하기 때문이다. 따라서 기억과제에 대한 수행분석 이전에 뉴로피드백 훈련 프로그램에서의 수행 결과를 먼저 분석하고 훈련회기에 따라 뉴로피드백 훈련 프로그램에서의 수행이 향상되는지 확인하였다.

본 실험에서 사전검사와 회기 1, 그리고 회기 2에서는 12개의 표적단어들이 제시된 반면, 회기 3과 회기 4에서는 18개의 표적단어가 제시되었기 때문에 전체

제시 단어 수(사전검사, 회기 1 및 회기 2 = 24개; 회기 3과 회기 4 = 36개)와 기억된 표적 단어 수의 비율로 계산한 정확회상률과 정확재인율은 표적 단어가 12개 제시된 조건(사전검사 단계, 회기 1, 그리고 회기 2)과 표적단어가 18개 제시된 조건(회기 3과 회기 4)을 분리하여 분석하였다(그러나 사전검사 단계와 훈련회기에 따른 기억 수행의 전체적 변화 추이를 살펴 보기 위해 그림 3에서는 두 가지의 표적단어 수 조건에서의 기억 수행을 모두 표기하였다). 세 가지 뉴로피드백 훈련 프로그램 유형에 대한 수행 자체의 분석 결과는 표 2와 그림 2에, 그리고 두 가지의 기억검사 수행에 대한 분석 결과는 표 3과 그림 3에 요약되어 있다.

3.1. 뉴로피드백 훈련 프로그램 과제 수행

표 2와 그림 2는 본 실험에서 사용된 세 가지의 뉴로피드백 훈련 프로그램에서의 훈련집단에 속한 실험 참가자들의 과제 수행을 결과를 요약한 것이다. 먼저 뉴로피드백 훈련 프로그램 수행 결과에 대한 변량분석 결과, 훈련회기의 주효과 [$F(3, 51) = 8.99, MSe = 389.42, p < .001$]와, 훈련회기와 훈련 유형 사이의 상호작용 효과 [$F(6, 102) = 80.54, MSe = 149.50, p < .001$]가 통계적으로 모두 유의하였다. 그리고 훈련 유형에 따른 수행은 통계적 유의수준에 근접하는 수준에서 차이가 있었다 [$F(2, 34) = 3.10, MSe = 126.95, p = .058$].

이러한 결과는 뉴로피드백 훈련 프로그램에 제공하는 세 가지 훈련 유형이 난이도에서 차이가 있고, 각 훈련 유형에 대한 수행의 변화가 훈련회기에 따라 일정하지 않다는 것을 시사한다. 그러나 본 실험의 목적

표 2. 훈련 회기별 뉴로피드백 훈련 프로그램 과제 수행에 대한 결과의 요약

훈련 회기	순가락 구부리기	활쏘기	행성 맞추기
회기 1	47.1 (12.8)	60.0 (21.2)	28.2 (15.9)
회기 2	60.9 (10.3)	75.8 (16.6)	43.2 (14.4)
회기 3	71.6 (10.4)	86.1 (12.0)	54.3 (19.2)
회기 4	89.3 (11.7)	96.4 (4.0)	77.8 (23.4)

() 안은 표준편차임. N=18(훈련집단)

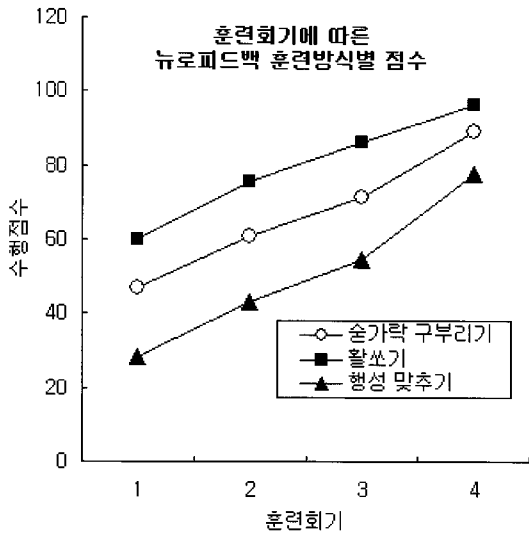


그림 2. 훈련여부 및 훈련회기에 따른 뉴로피드백 훈련 수행에서의 변화

에 비추어보면 이러한 결과들 보다 더 중요한 것은 훈련회기가 증가함에 따라 모든 뉴로피드백 훈련 프로그램 유형에서의 수행점수가 증가하였다는 점이다. 이것은 훈련회기의 증가에 따라 뉴로피드백을 통해서 스스로 뇌파를 조절하는 피훈련자들의 능력이 더 증가하였다는 것을 시사한다.

3.2. 회상기억 검사

먼저 회상과제 수행을 위해 12개의 표적단어와 12개의 방해자극 단어가 제시되었던 사전검사, 회기 1 및 회기 2에서 관찰된 표적단어의 정확회상률에 대해

훈련회기와 훈련 여부를 독립변인으로 반복측정 변량 분석을 실시하였다. 그 결과 훈련여부의 주효과 $[F(1, 34) = 8.09, MSe = 332.83, p < .01]$ 와 훈련회기의 주효과 $[F(2, 68) = 9.58, MSe = 69.76, p < .001]$, 그리고 훈련여부와 훈련회기 사이의 상호작용 효과 $[F(2, 68) = 3.13, MSe = 126.95, p < .05]$ 가 모두 통계적으로 유의하였다. 훈련여부와 훈련회기 사이의 상호작용 효과를 좀 더 구체적으로 살펴보기 위해 각 회기별로 정확회상률에 대해 독립집단 t-검증을 실시한 결과, 사전검사를 제외하고 $[t(34) = -1.67, ns]$, 회기 1 $[t(34) = -2.70, p < .05]$ 과 회기 2 $[t(34) = -3.14, p < .01]$ 에서 모두 통제집단에 비해 훈련집단의 정확회상률이 더 높았다.

위와 마찬가지로 방식으로 18개의 표적단어들이 제시된 회기들에 대해서도 반복측정 변량분석을 실시한 결과, 훈련여부의 주효과 $[F(1, 34) = 46.84, MSe = 166.59, p < .010]$ 와 훈련회기의 주효과 $[F(1, 34) = 15.84, MSe = 45.38, p < .001]$ 는 통계적으로 유의하였으나, 훈련여부와 훈련회기 사이의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않았다 $[F(1, 34) = .77, MSe = 45.38, ns]$.

이러한 결과는 뉴로피드백 훈련을 받은 훈련집단이 그렇지 않은 통제집단에 비해 표적단어의 수와 상관 없이 일관적으로 더 높은 정확회상률을 보인다는 것을 시사한다. 특히 훈련회기 1, 2와 훈련회기 3, 4에서 관찰되는 훈련집단과 통제집단 사이의 정확회상률 차이를 비교해보면 훈련회기 1과 2에서는 두 집단 사이에 대략 10%의 차이가 있지만, 회기3과 4에서의 이러한 차이는 대략 20% 정도로 거의 두 배 정도 격차가

표 3. 훈련회기에 따른 집단별 정확회상률과 정확재인율

표적 단어수	훈련회기	정확회상률				정확재인율			
		통제집단 (N=18)	훈련집단 (N=18)	t	p	통제집단 (N=18)	훈련집단 (N=18)	t	p
12개	사전검사	37.8 (11.0)	42.2 (11.9)	-1.67	.251	73.0 (9.3)	74.4 (7.3)	-.532	.598
	회기 1	38.9 (13.4)	50.5 (12.3)	-2.70	.011	80.6 (15.1)	92.1 (8.8)	-2.80	.008
	회기 2	41.7 (12.8)	55.6 (13.7)	-3.14	.003	78.7 (12.8)	93.5 (12.3)	-2.58	.014
18개	회기 3	20.4 (7.1)	39.8 (11.9)	-5.93	<.001	65.4 (13.5)	84.9 (14.4)	-4.18	<.001
	회기 4	25.3 (7.0)	47.5 (13.1)	-6.21	<.001	69.4 (13.1)	92.3 (6.4)	-6.66	<.001

()는 표준편차임; 표적단어수: 사전검사, 회기 1, 2 = 12개; 회기 3, 4 = 18개.

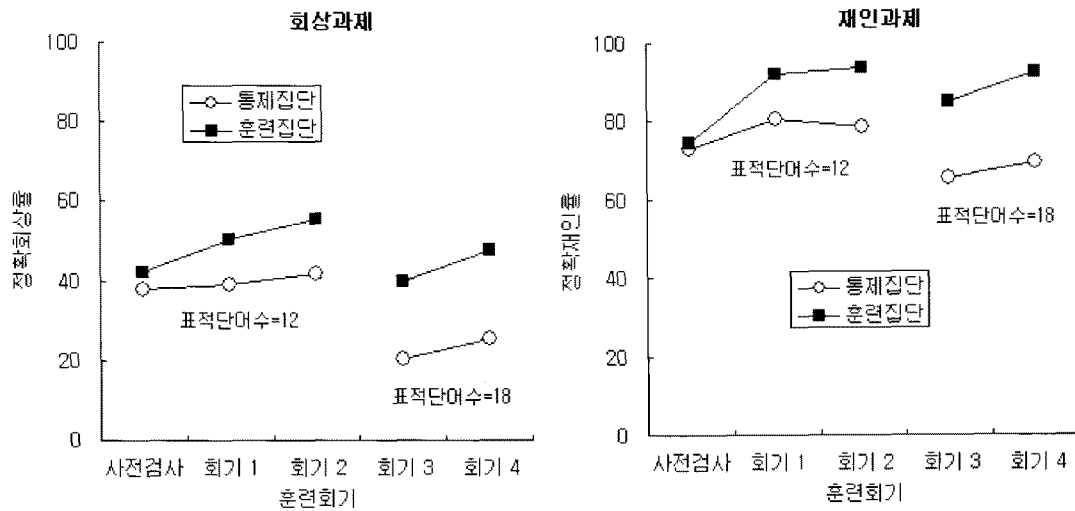


그림 3. 훈련여부 및 훈련회기에 따른 회상과제 수행과 재인과제 수행에서의 변화

있었다. 훈련회기 3과 4에서는 이전 훈련회기들에 비해 표적단어의 수가 더 증가하였고 이 때문에 실험참가자들의 기억부담 수준이 더 높아질 수 있다는 것을 감안하면, 이러한 결과는 뉴로피드백 자기-조절 훈련의 차별적 효과성을 고려할 때 과제상황의 난이도가 중요한 요인이 될 수 있음을 시사한다. 이에 대해서는 논의부분에서 다시 논의될 것이다.

정확회상률의 비교에서 또 한 가지 주목되는 부분은 회기3과 4에서는 회기에 따라 통제집단에서도 기억수행에 어느 정도 향상이 관찰된다는 점이다. 즉, 회기 4에서의 정확회상률은 회기 3에 비해 훈련집단과 통제집단 모두에서 유의하게 더 높았다[각각 $t(17) = -2.90, p < .05$; $t(17) = -2.84, p < .05$]. 훈련집단이 회기의 증가에 따라 정확회상률이 더 높아진다는 것은 뉴로피드백 자기-조절 훈련에 의한 효과에 기인한 것으로 추론할 수 있지만, 이러한 뉴로피드백이 제공되지 않았던 통제집단의 경우는 이 효과로는 설명되지 않는다. 그러나 통제집단의 경우에도 (뉴로피드백 자체는 제공하지 않는 대신) 세 가지 유형의 뉴로피드백 훈련에 대해 더 좋은 수행을 보이기 위해서는 “자연의 소리”에 대해 집중해야 한다고 지시했기 때문에 이러한 지시자체가 기억 수행에 어느 정도 긍정적인 영향을 미쳤을 수도 있다. 물론 연습효과와 같은 또 다른 요인도 정확회상률의 수행에 영향을 미쳤을 가능성도 배제할 수 없다.

3.3. 재인기억 검사

정확재인율에 대한 분석 결과도 위에서 기술한 정확회상률과 매우 동일한 방식으로 분석하였는데, 그 결과도 정확회상률과 유사한 형태를 보였다. 먼저 사전검사, 회기 1 및 회기 2에서 관찰된 표적단어의 정확재인율이 훈련회기와 훈련여부에 따라 어떠한 한 차이를 보이는지 반복측정 변량분석을 실시한 결과, 훈련여부의 주효과 [$F(1, 34) = 7.40, MSe = 314.80, p < .01$]와 훈련회기의 주효과 [$F(2, 68) = 18.80, MSe = 102.75, p < .001$], 그리고 훈련여부와 훈련회기 사이의 상호작용 효과 [$F(2, 68) = 4.25, MSe = 102.75, p < .05$]가 모두 통계적으로 유의하였다. 각 회기별로 정확회상률에 대해 독립집단 t -검증을 실시한 결과, 사전검사를 제외하고 [$t(34) = -.53, ns$]. 회기 1 [$t(34) = -2.80, p < .01$]과 회기 2 [$t(34) = -2.58, p < .05$]에서 모두 통제집단에 비해 훈련집단의 정확회상률이 더 높았다.

18개의 표적단어들이 제시된 회기들에 대한 반복측정 변량분석을 실시한 결과도 앞에서 기술된 정확회상률과 매우 유사한 패턴을 보였다. 즉, 여기에서도 통계적으로 유의한 훈련여부의 주효과 [$F(1, 34) = 34.27, MSe = 234.56, p < .001$]와 훈련회기의 주효과 [$F(1, 34) = 8.86, MSe = 65.99, p < .01$]가 관찰된 반면, 훈련여부와 훈련회기 사이의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않았다 [$F(1, 34) = .79, MSe = 65.99, ns$]. 이러한 결과는 뉴로피드백 훈련을 받은 훈련집단이 그렇지 않은 통제집단에 비해 표적단어의 수와 상관없이 일관적으로 더 높은 정확회상률을 보인다는 것을 시사

한다. 또한 훈련집단과 통제집단 사이의 정확재인율에서의 차이도 훈련회기 1, 2에 비해 훈련회기 3, 4에서 더 크게 증가하였다. 정확회상률의 경우 통제집단에서도 회기 3에 비해 회기 4에서 유의하게 증가한 기억수행이 관찰되었으나 정확재인율의 분석에서는 이에 대한 유의한 차이가 발견되지 않았다 [$t(17) = -2.05, ns$].

4. 논의

뉴로피드백 훈련이 적절한 뇌파가 수행의 타이밍에 맞게 그리고 상황에 부합하게 표출될 수 있도록 피훈련자 스스로 뇌파를 조절하는 훈련이라는 것과, Hebb(2002)이 언급한 바와 같이 “적절한 수준의 뇌파가 나올 때 학습 능력이 촉진된다”는 두 가지의 측면을 결합하여 고려해 보면, 자기-조절 방식의 뉴로피드백 훈련이 학습 효과를 평가하기 위해 많이 측정되는 회상기억이나 재인지역에도 영향을 미칠 것이라는 것이 본 연구의 기본적 생각이다. 이를 검증하기 위해 뉴로피드백 자기-조절 훈련을 실시한 훈련집단과 뉴로피드백없이 청각적 자극에 주의를 집중하도록 지시한 통제집단에 대해 4회기에 걸쳐 훈련을 실시하였다. 이들의 기초적 기억 능력을 측정하기 위한 사전 기억 검사를 훈련 시작 이전에 실시한 이후 모두 4회기에 걸쳐 매 회기가 종료된 직후 회상기억과 재인지역 검사를 실시한 후 각각의 점수 변화를 분석하였다.

본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 회상기억 검사에서의 회기별 정확회상률에 대한 분석 결과, 훈련여부의 주효과, 훈련회기의 주효과, 그리고 훈련여부와 훈련회기 사이의 상호작용 효과 모두 통계적으로 유의하였다. 즉, 훈련집단은 통제집단보다 정확회상률이 높았고, 회기가 증가함에 따라 정확회상률도 높아지는 경향을 보였다. 특히, 회기가 증가할수록 통제집단의 정확회상률과 훈련집단의 정확회상률 사이에 격차가 커졌다. 둘째, 재인지역 검사의 분석 결과도 회상기억 검사와 유사한 패턴을 보였다. 즉, 훈련집단은 통제집단보다 전반적인 정확재인율이 높았고, 회기에 따라 정확재인율도 증가하였으며, 또한 회기가 증가할수록 훈련집단과 통제집단의 정확재인율에서 차이가 더 커지는 경향이 관찰되었다.

이 두 가지 결과를 종합적으로 검토하면 몇 가지 주목되는 부분이 있다. 첫째, 정확재인율에 대한 결과에서 훈련집단의 경우 표적 단어수가 12개 제시됨으

로써 과제수행 난이도가 상대적으로 더 낮았던 회기 1과 회기 2의 경우 훈련회기가 진행됨에 따라 훈련집단의 재인률에서 향상의 정도가 크지 않은 것으로 보이는데, 이것은 일종의 천장효과일 것으로 보인다(즉, 12개의 표적단어에 대한 재인 과제가 비교적 쉬워 실험참가자들의 훈련회기에 따른 재인률의 향상에 한계가 있었을 것이다). 그러나 표적 단어의 수를 증가시킴으로써 과제의 난이도를 높이면, 이러한 천장효과가 사라져 회기 3에 비해 회기 4의 재인률에서 향상이 관찰되었다.

둘째, 회기에 따라 통제집단과 훈련집단 사이의 정확회상률과 정확재인율의 격차가 더 커졌다. 즉, 통제집단은 기억 부담이 증가하여도 회상기억과 재인지역에서 큰 차이가 없이 비교적 일정한 수준의 수행을 보인 반면, 훈련집단은 회상이나 재인을 위한 기억 부담이 증가하여도 꾸준한 기억에서의 향상을 보여 훈련회기가 진행됨에 따라 통제집단과 훈련집단 사이의 격차가 커지는 것이 관찰되었다. 훈련집단과 통제집단에 따라 자기-조절적 뉴로피드백의 제공 유무에만 차이가 있다는 점을 감안하면 본 연구의 결과들은 회상기억과 재인지역 수행에서 자기-조절 뉴로피드백 훈련이 효과적임을 시사하고 있다.

특히 앞서서도 기술되었듯이, 회기 1과 2에 비해 회기 3과 4에서 두 집단 사이의 회상을 격차가 더 커진 것으로 보이는데, 이것은 뉴로피드백 훈련 자기-조절의 훈련이 갖는 효과성에 중요한 시사점을 준다. 회기 3과 4에서는 기억해야 하는 표적단어 수가 18개로 이전 훈련회기들의 12개 조건에 비해 6개 더 많아졌는데, 이것은 실험참가자들의 기억부담을 더 증가시켰을 것이다. 특히 회기 1과 회기 2 조건에서 훈련여부와 훈련회기 사이의 유의한 상호작용 효과가 관찰되었다는 것은 훈련회기가 진행됨에 따라 훈련집단의 회상률과 통제집단의 회상률 사이의 격차가 더 커진다는 것을 시사한다. 비록 표적자극이 18개로 증가한 회기 3 이후에는 전반적인 회상률이 저하되는 것으로 보이지만, 이것은 전체 표적단어의 수가 증가함으로써 회상한 전체 단어의 빈도는 높았음에도 불구하고 회상률을 계산하기 위한 공식에서 분모값이 더 증가하였기 때문에 얻어진 결과이다. 표적 단어의 수가 증가함으로써 회상 과제의 난이도가 높아졌을 경우 뉴로피드백 자기-조절 훈련의 효과가 더 분명해지는 것으로 보인다.

본 연구는 다음과 같은 시사점을 갖는다. 첫째, 뇌

과를 이용한 자기-조절 뉴로피드백 훈련이 회상기억이나 재인지역을 포함한 인지적 측면에 어떠한 효과를 갖는지에 대해 국내 연구가 아직 부족하다는 점을 감안하면 본 연구에서 사용한 기본적 실험 절차나 실험 결과들이 추후 연구들의 기초적 자료로 활용될 수 있을 것이다. 둘째, 지금까지 국내외를 막론하고 뉴로피드백 훈련이 장애가 있는 사람들을 포함한 특정 집단에 대한 재활 훈련이나 치료의 개념으로 많이 적용되어 왔고, 특히 인위적 뇌파 유도를 통한 피훈련자의 수동적 학습 방식을 주로 채택하여 왔으나 본 연구는 인지적/심리적 장애를 갖고 있지 않는 일반 정상 학습자에게 적용하였을 뿐만 아니라, 피훈련자가 직접 뇌파를 조절하도록 하는 능동적 학습 환경을 제공했다는 점에서 기존 뉴로피드백 훈련 방식과 대비되는 차별성을 갖는다고 할 수 있다. 셋째, 자기-조절 뉴로피드백 훈련의 광범위한 응용 가능성을 고려한다면 추후 이러한 방식의 훈련 방법은 단순한 기억 능력의 범위를 넘어 인지의 기초적 기제라 할 수 있는 주의력이나 집중력 등의 향상에 활용될 수 있을 것이다.

본 연구가 가지는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 연구 대상의 수가 비교적 충분하지 않아 본 연구의 결과를 학생들에게 일반화하여 적용하기에 한계가 있을 것이다. 둘째, 본 연구에서는 2주에 걸쳐 모두 4회기 동안 뉴로피드백 훈련 프로그램을 적용하여 그 효과를 검증하였지만, 4회의 훈련회기는 기존의 관련 연구들과 비교하면 매우 적은 횟수라고 할 수 있다. 비록 본 연구에서 4회기까지의 훈련을 통해서도 뉴로피드백 자기-조절 훈련이 피훈련자들의 회상기억이나 재인지역 수행에 긍정적 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인하였으나 훈련 효과의 시간적 안정성과 자료의 신뢰도를 위해서는 훈련회기를 좀 더 확장하여야 할 것이다.

셋째, 본 연구에서는 과제 난이도가 훈련이 진행되는 도중에 조작되어 이 변인이 갖는 효과를 체계적으로 분석하지 못하였다. 훈련 도중에 표적 단어의 수를 12개에서 18개로 늘림으로써 회상기억이나 재인지역 과제의 난이도를 증가시켰던 이유는 재인지역 과제의 경우회기 1과 회기 2에서 훈련집단의 수행이 일종의 천장효과를 보이는 경향이 있었기 때문이다. 추후 연구에서는 과제 난이도에 따른 자기-조절 뉴로피드백 효과를 검증하는데 과제 난이도 변인을 별개의 변인으로 조작한다면 과제 '난이도' 수준에 따른 뉴로피드백 훈련의 효과를 좀 더 타당하게 검토할 수 있을 것

이다. 특히 본 연구에서는 과제 난이도를 단순히 기억해야 하는 표적 단어의 수로 조작하였지만, 이럴 경우에 실험조건에 따라 비교를 위한 기준이 달라지기 때문에 전체 제시 단어에 대해 기억된 항목수의 비율을 서로 비교하는데 어려움이 있을 것이다. 따라서 추후 연구에서 단어기억에서의 과제 난이도를 조작하기 위해서는 단순히 기억해야 하는 단어의 수를 조작하기 보다는 단어가 갖는 물리적/인지적 속성(예를 들어, 사용빈도나 연상가)을 조작하는 것도 바람직한 방법이 될 수 있을 것이다.

또한 본 연구에서는 알파파의 활동에 대한 뉴로피드백 훈련과 기억 수행 사이의 관련성을 살펴보았지만, 뉴로피드백 훈련이 사람의 인지 기능에 어떠한 효과를 갖는지 검토한 많은 연구들에서 특정 뇌파가 어떠한 인지 기능과 특징적으로 관련되는지 일관적으로 관찰되지 못하였다는 점을 감안하면(예를 들어, 회상기억과 관련된 뇌파 활동에 대해 연구자에 따라 세타파를 강조하기도 하고, 혹은 알파파를 지지하기도 한다), 추후 연구에서는 동일한 실험 상황 맥락에서 특정 뇌파에 대한 뉴로피드백 훈련을 차별적으로 시킨 후 이때 관찰되는 인지 기능의 차이를 검토할 수 있어야 할 것이다.

참고문헌

- 김용진 (2000). 학습 활동의 뇌파분석에 기초한 두뇌순환 학습모형의 개발과 과학학습에의 적용. *서울대학교 대학원. 교육학박사학위논문.*
- 김재훈, 설정덕 (2003). 뇌파조절을 통한 집중력과 심상이 골프피팅 수행학습에 미치는 효과. *한국스포츠심리학회지, 14(3), 355-364.*
- 김현택, 이지하, 최승원 (2007). 심리학 장면에서 바이오피드백의 활용. *2007년도 한국심리학회 연차대회 심포지엄, 경주.*
- 문화진 (2002). 시청각 자극에 의한 뇌파조절이 단기기억력 향상에 미치는 효과. *숙명여자대학교대학원. 교육학석사학위논문.*
- 박병운 (2002). 뉴로피드백 기기를 이용한 초능력 개발. *한국정신과학학회 학술대회 논문집, 17, 134-140.*
- 연세대학교 사전편찬실 (1989). *연세 말뭉치 I.*
- 이영희 (2003). 알파파 유발 이완 훈련이 뇌성마비 학생의 주의 집중과 기억에 미치는 효과. *대구대학교 대학원. 문학박사 학위논문.*

- 정청희, 홍길동, 황진 (2004). 뇌파 바이오피드백 기기를 활용한 집중력 훈련이 양궁 경기 수행력에 미치는 영향. *한국스포츠심리학회지*, 15(1), 37-47.
- Hebb, D. O. (2002). *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. Lawrence Erlbaum, Associates, Inc., Mahwah, N. J.
- Keizer, A. W., Verment, R. S., & Hommel, B. (2010). Enhancing cognitive control through neurofeedback: A role of gamma-band activity in managing episodic retrieval. *NeuroImage*, 49, 3404-3413.
- Krause, C. M., Sillanmaki, L., Koivisto, M., Saarela, C., Haggqvist, A., Laine, M., Hamalainen, H. (2000). The effects of memory load on event-related EEG desynchronization and synchronization. *Clinical Neurophysiology*, 111, 2071-2078.
- Linden, M., Habib, T., & Radojevic, V. (1996). A controlled study of the effects of EEG biofeedback on cognition and behavior of children with attention deficit disorders and learning disabilities. *Biofeedback and Self Regulation*, 21(1), 35-49.
- Othmer, S., & Othmer, S. F. (1992). EEG biofeedback training for hyperactivity, attention deficit disorder, specific learning disability, and other disorders. *Handout EEG spectrum*, 16100 Ventura Blvd., Ste 100, Encino, CA.
- Tansey, M. (1991). Wechsler(WISK-R) changes following treatment of learning disabilities via EEG biofeedback training in a private practice setting. *Australian Journal of Psychology*, 43, 147-153.
- Thompson, L. & Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies; effectiveness in student with ADD. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 23(4), 243-263.
- Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., Gruzelier, J. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47, 75-85.
- von Stein, A., Sarnthein, J. (2000). Different frequencies for different scales of cortical integration from local gamma to long range alphasynchronisation. *International Journal of Psychophysiology*, 38, 301-313.

원고접수 : 10.08.02

수정접수 : 10.12.02

게재확정 : 10.12.08