

## 청소년기 연령에 따른 뉴로피드백 훈련의 효과 연구

변윤언<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경기대학교 청소년학과

### The Effect of Neurofeedback Training on Age differences groups in Adolescence

Youn-Eon Byun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Youth Science, Kyonggi University

**요약** 본 연구는 뉴로피드백 훈련이 청소년기 초·중·고의 학교급별 연령에 따라 그 효과가 어떻게 나타나는지를 검증할 목적으로 이루어졌다. 경기도에 거주하는 청소년 90명 가운데 실험군 45명, 비교군 45명을 대상으로 실험하였다. 기간은 2009년 11월부터 2010년 3월까지, 20~25회기의 뉴로피드백 훈련을 주2~3회, 매회 20~50분씩 받도록 하였다. 훈련 전후의 데이터는 SPSS 12.0으로 통계처리 하였고, 연구목적에 맞게 t-test로 연령에 따라 실험군과 비교군의 집단 간 효과 차이를 검증하였다. 연구결과, 뉴로피드백 훈련의 효과가 연령에 따라 뇌 발달 특성을 반영하고 있었음을 확인하였으며 뇌기능의 향상은 중학교급에서 가장 효과가 높았다. 청소년기의 학습에 영향을 주는 주의지수, 활성화지수, 항스레스지수에서 유의미한 효과를 확인할 수 있었다.

**Abstract** The purpose of this study was to verify the effect of Neurofeedback training on adolescence groups that are different in Age. The experiment was carried out with 90 students who living in Kyonggi-do. From Nov. 2009 to Mar. 2010, each were under training about 20-25 times, 2-3 times a week, during 20 to 50 minutes, was conducted by limiting training. Statistical data collected were processed with the SPSS 12.0. For the purposes of t-test showed that differences in the effects of age. The result, the effects of Neurofeedback training on age difference groups were reflected characteristics of brain's development in adolescence. The most effective showed in middle school students. Also, Significant effects of Neurofeedback training that were confirmed in attention quotient, Activation quotient, Stress resistance quotient.

**Key Words** : Neurofeedback training, Different in age, Attention quotient, Activation quotient, Stress resistance quotient, Emotion quotient.

## 1. 서론

### 1.1 연구목적

청소년기 연령범주를 어떻게 볼 것인가에 대해 여전히 학자마다 의견이 다르며 국가마다 정하는 바가 크게 다르다. 한국사회에서 대중적으로 인식하는 청소년기는 만 13세~18세정도이며 청소년기본법에서 정하는 법률적 범주는 9세~24세에 해당한다. 이 기간의 청소년들은 연령에 따라 신체적인 차이도 두드러지게 나타난다. 초등학교 6학년인 13세의 청소년은 아동에 가깝지만 고등학교 2학년인 18세의 청소년은 성인에 가깝다.

초등학생에서 중학생으로, 다시 고등학생으로 학교급이 바뀔 때마다 청소년의 경험은 다르다. 뇌과학에서는 청소년기의 변화를 뇌 속에서 작업되는 결과라고 설명하고 있는데 이러한 유전적인 요소와 환경적인 요소에 의해 변화와 적응을 거듭하며 성인으로의 이행을 준비하고 있다. 최근 뇌과학자들은 청소년의 뇌를 임상적으로 스캔하면서 연령에 따라 나타나는 뇌의 변화를 하나 둘 보고하고 있는 추세에 있다.

이 연구는 '청소년기'라고 부르는 코호트(Cohort) 안에서 서로 다른 청소년기를 살아가는 초·중·고 청소년을 뇌과학적 측면에서 이해하려는 목적으로 이루어졌다. 뇌의

\*교신저자 : 변윤언(shinejx@hanmail.net)

접수일 11년 05월 24일

수정일 11년 04월 20일

게재확정일 11년 06월 09일

전기신호인 뇌파(EEG)를 통해 연령에 따른 청소년기 뇌의 특성을 살펴보고 연령에 따라 뉴로피드백 훈련의 효과가 어떻게 나타나는지 알아보려고 한다.

### 1.2 이론적 배경

Lenroot와 Giedd(2006)는 사춘기 초기에 전두엽에서 회백질이 폭발적으로 증가하는 것을 발견하였다[1]. 이것은 Sowell(1999)이 전두엽에서 회백질이 두드러지게 감소하는 것을 확인한 것과 같은 맥락의 연구였다[2]. 전두엽의 회백질은 12세~20세 사이에 평균 7~10%감소하고 소뇌 영역에서의 감소는 50%에 이른다고 보고하였다. 이것은 아동이 성장하면서 뇌의 뒤쪽부터 전두엽쪽으로 발달하는 것을 보여주는 것이다.

Thomson(2000)은 뇌 속 깊은 곳에 자리를 잡고 운동을 조절하는 미상핵(caudate)이라는 구조의 경우, 만 8세 무렵부터 만 11세까지는 20%의 회백질이 제거되고 만 13세를 전후하여서는 막대한 양의 조직을 상실하면서 원숙해진다는 사실을 발견하였다[3]. 그러나 한 가지 주목해야 할 것은 일반적으로 청소년기라고 부르는 기간에도 이러한 변화의 정도에 차이가 있다는 것이다. 이렇게 시냅스의 전정으로 사라지는 회백질은 결과적으로 시냅스의 연결부에서 분비되는 신경전달물질의 양에 영향을 주게 되고 이때 방출되는 글루타민산염(glutamate)이 감소하면서 흥분성 시냅스와 억제성 시냅스의 비율이 4:1까지 낮아지게 된다[4]. 이는 홀(Hall, S.)이 말했던 질풍노도의 청소년이 어느새 침착한 청소년의 모습으로 바뀌게 되는 과정에서 나타나는 변화인 것이다. 이 연구는 청소년기의 뇌가 얼마나 역동적으로 변화하고 있는지를 알 수 있게 한다.

성인들은 인간의 복잡한 감정을 이해하려고 할 때, 또는 복잡한 의사소통의 뉘앙스를 이해하려고 할 때 전두엽을 사용한다. 그러나 두려움이라는 중요한 신호를 보여주었을 때 fMRI에 나타난 청소년들의 뇌에서는 전두엽이 아닌, 편도핵(amygdala)에서 반응을 보였으며 감정을 처리할 때도 두려움을 분노라는 감정으로 표현하는 경우가 많이 있었고 상대의 표정을 잘못 읽고 혼란에 빠지기도 한다[5]. 이에 대해 사춘기가 시작되는 만 11~12세가 되면 감정 파악의 속도가 20%정도 떨어지며 18세가 되어야 정상수준을 회복하는데 이는 청소년기의 뇌에서 리모델링이 일어나는 동안 전두엽 회로가 상대적으로 비효율적으로 변한다는 것을 발견하였다[6]. 이러한 발견은 청소년기의 뇌가 성인의 뇌와는 다르게 세상을 바라보고 반영할 가능성에 대해서도 시사하고 있다.

Cabeza(2002)는 연구에서 성인 가운데서도 나이가 들어갈수록 우수한 두뇌 수행력을 보이는 집단에서 전두엽

대뇌피질의 활동이 대칭적으로 나타난다고 보고하였다[7]. 이것은 과제를 수행하는 과정에서 초기청소년들과 후기청소년들 가운데 좌우뇌 대칭성과 동시성을 활용하는 정도가 후기청소년들에게서 높은 패턴을 보여줄 수 있음을 기대할 수 있다. 연령이 높아질수록 인지적인 과제를 수행할 때 뇌의 비대칭성이 감소하기 때문에 후기 청소년으로 갈수록 균형이 더 좋아질 수 있기 때문이다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구설계

뉴로피드백 훈련의 연령에 따른 효과성을 검증하기 위해 표 2과 같이 실험을 설계를 하였다. 훈련 전에 뇌기능 분석프로그램(이하 BQ Test)으로 뇌기능을 측정하였고 학교급별 청소년 모두 20~25회기의 뉴로피드백 훈련을 하였다. 사후의 뇌기능을 측정한 후 전체 데이터는 SPSS 12.0로 변환하여 t-test로 통계처리 하였다.

[표 1] 연구를 위한 실험설계

[Table 1] Designed for the study

	훈련 전 측정	훈련횟수	훈련 후 측정
실험군	T <sub>1</sub>	20~25회	T <sub>2</sub>
비교군	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>

### 2.1 연구대상 및 절차

경기도에 거주하는 초·중·고의 학교급별 실험군과 비교군 청소년 각 45명씩, 총 90명을 대상으로 이루어졌다 표 1. 2009년 11월부터 2010년 3월까지 주 2~3회씩, 각 회기당 20분~50분간 훈련하도록 하였다.

[표 2] 실험대상

[Table 2] Experimental samples

학교급별	초등학교	중학교	고등학교
실험군(N=45)	15	15	15
비교군(N=45)	15	15	15
계(N=90)	30	30	30

### 2.3 연구도구

(재)한국정신과학연구소에 개발된 뇌기능분석프로그램인 BQ-Test를 사용하였고 측정 및 훈련도구는 (주)브레인테크의 2-채널시스템 프로그램인 뉴로하모니M을 사용하였다. 뉴로하모니M은 미국 Grass Neurodata Amplifier System과 비교하였을 때 좌우 알파파, 베타파, 세타파 값에 대한 상관계수가 .916(P<.001)으로 신뢰도와

타당도를 검증받은 바 있다[8].

### 2.4 뇌기능지수의 의미

이 연구에서는 뇌기능분석(BQ Test)의 주요지수인 8개 모두를 분석하여 각 학교급별에 나타난 연령별 차이를 분석하고자 하였다. 기초율동지수(Basic Rhythm Quotient)는 뇌의 안정성을 나타내는 지수이며 자기조절지수(Self-Regulation Quotient)는 휴식, 주의력, 집중력의 세 가지 상태를 자율조절하는 능력을 평가한다. 주의지수(Attention Quotient)는  $\theta$  파와 SMR의 비율과 연령에 따라 뇌 각성 정도를 판단한 것이며, 활성화지수(Activation Quotient)는 뇌의 정신적 활동과 사고능력 및 행동성향을 판단한다. 정서지수(Emotional Quotient)는 정서적 안정, 불안정상태를, 항스트레스지수(Stress Resistance Quotient)는 육체적, 정신적 피로도를 나타내며 높을수록 좋다. 좌우뇌균형지수(Correlation Quotient)는 좌뇌와 우뇌의 균형을 본다. 뇌지수(Brain Quotient)는 앞에서 설명한 모든 지수들을 기반으로 뇌의 기능을 종합, 평가하는 지수이다[9].

## 3. 연구결과

### 3.1 실험집단의 동질성 검증

이 연구에 참여한 초중고의 학교급별 실험군 45명, 비교군 45명의 집단 간 독립표본  $t$ -검증을 실시한 결과 표 3에서처럼 각 변수에 대한 집단 간의 차이가  $P(\geq .05)$ 로써 집단 간에 차이에 대해 영가설을 채택하였다.

[표 3] 실험집단의 동질성 검증 결과

[Table 3] t-test results of the differences between the groups

변수	실험군 M±SD	비교군 M±SD	t	P
기초율동지수	좌 76.74±10.35 우 74.80±10.16	76.22±9.63 76.15±8.13	0.246 -0.695	0.806 0.489
자기조절지수	72.11±15.13	74.98±19.11	-0.790	0.432
주의지수	좌 46.37±16.18 우 47.00±15.78	52.62±15.08 51.93±15.17	-1.895 -1.511	0.061 0.134
활성지수	좌 54.72±14.16 우 55.32±13.05	59.52±14.22 59.00±14.25	-1.601 -1.279	0.113 0.204
정서지수	79.70±5.07	81.21±4.33	-1.521	0.132
항스트레스지수	좌 68.49±11.22 우 68.62±10.09	70.53±11.44 68.33±13.65	-0.854 0.114	0.395 0.909
좌우뇌균형	75.06±12.92	77.36±9.36	-0.968	0.336
뇌지수	65.36±7.12	67.99±6.55	-1.823	0.072

\* $P(\leq .05)$

### 3.2 초등학교 집단 간의 차이검증

[표 4] 초등학교의 집단 간 차이검증 결과

[Table 4] t-test results of elementary school groups

변수	실험군				비교군			
	훈련 전 M±SD	훈련 후 M±SD	t	P	훈련 전 M±SD	훈련 후 M±SD	t	P
기초율동지수	좌 80.24±11.63 우 73.51±12.34	74.53±9.88 77.08±11.00	2.119 -0.940	0.052 0.363	74.38±10.58 77.38±10.47	70.63±11.44 76.96±9.12	1.279 0.147	0.222 0.885
자기조절지수	71.10±12.39	81.51±9.06	-2.218	0.044*	70.26±17.02	72.29±14.22	-0.452	0.658
주의지수	좌 52.79±10.30 우 53.31±7.52	60.54±9.75 62.19±8.27	-2.907 -3.173	0.011* 0.007*	61.15±9.49 60.10±11.67	54.03±8.84 56.37±6.79	2.722 1.165	0.017 0.263
활성지수	좌 60.78±6.47 우 61.68±7.06	66.75±9.72 66.90±7.88	-2.389 -2.820	0.032* 0.014*	69.18±10.02 68.19±11.08	59.92±9.99 60.23±10.23	3.491 2.684	0.004 0.018
정서지수	81.54±3.46	83.53±2.85	-1.930	0.074	83.44±3.29	81.41±3.84	2.026	0.062
항스트레스지수	좌 69.86±13.94 우 70.94±7.58	77.37±8.05 77.52±6.84	-2.143 -2.271	0.050* 0.039*	71.50±10.15 67.58±15.35	74.69±8.97 76.09±6.97	-0.859 -1.851	0.405 0.085
좌우뇌균형	74.39±12.63	72.15±7.87	0.617	0.547	78.63±10.17	76.88±11.95	0.523	0.609
뇌지수	68.19±3.47	72.73±3.68	-3.632	0.003*	71.07±4.84	69.04±4.67	1.391	0.186

\* $P(\leq .05)$

표 4의 결과에서, 초등학교 실험군에서는 자기조절지수, 주의지수 좌우, 활성화지수 좌우, 항스트레스지수 좌우, 뇌지수에서 신뢰도  $P(\leq .05)$ 의 유의미한 결과를 보여주었다. 그러나 비교군에서는 어떠한 유의미한 변화도 발견되지 않았으며 오히려 실험기간 동안 주의지수와 활성화지수가 떨어져 있는 것을 볼 수 있었다.

실험군의 경우 기초율동지수 좌우  $P=.052$ , .363, 정서지수  $P=.074$ , 좌우뇌균형  $P=.0547$ 로써 유의미한 결과가 나타나지 않았다. 그러나 자기조절지수의 경우  $t$ 값이 -2.218,  $P=.044^*$ , 주의지수는 좌우  $t$ 값이 -2.907, -3.173,  $P=.011^*$ , .007\*로써 유의미한 결과가 나타났으며 활성화지

수의 경우 좌우  $t$ 값이  $-2.389, -2.820, P=.032^*, .014^*$ 로 나타나 역시 유의미한 결과를 보여 주었다. 항스트레스지수의 경우 좌우  $t$ 값이  $-2.143, -2.272, P=.050^*, .039^*$ 로 유의미한 결과가 나타났으며 종합지수인 뇌지수의 경우  $t$ 값이  $-3.632, P=.003^*$ 로 나타나 유의미한 결과를 보여 주었다.

### 3.3 중학교 집단 간의 차이검증

표 5의 결과에서 나타난 바와 같이, 중학교 뉴로피드백 실험군에서는 자기조절지수, 주의지수 좌우, 활성화지수 좌우, 정서지수, 항스트레스지수 좌우, 뇌지수에서 신뢰도  $P(\leq .05)$ 의 유의미한 결과를 보여주었다. 그러나 비교군에서는 유의미한 변화가 발견되지 않았다.

중학교 실험군의 경우 기초운동지수 좌우  $P=.251, .683$ , 좌우뇌균형  $P=.744$ 로서 유의미한 결과가 나타나지 않았다. 그러나 자기조절지수의 경우  $t$ 값이  $-2.779, P=.015^*$ , 주의지수의 경우 좌우  $t$ 값이  $-4.584, -3.210, P=.000^*, .006^*$ 로서 명확하게 유의미한 결과가 나타났으며 활성화지수의 경우 좌우  $t$ 값이  $-3.289, -2.724, P=.005^*, .016^*$ 로 나타나 유의미한 결과를 보여 주었다. 정서지수의 경우  $t$ 값이  $-2.356, P=.034^*$ , 항스트레스지수의 경우 좌우  $t$ 값이  $-2.780, -2.343, P=.015^*, .034^*$ 로 유의미한 결과가 나타났으며 종합지수인 뇌지수는  $t$ 값이  $-4.152, P=.001^*$ 로서 유의미한 결과를 보여 주었다.

### 3.4 고등학교 집단 간의 차이검증

표 6의 결과에 나타난 바와 같이, 고등학교 뉴로피드백 실험군에서는 주의지수 좌우, 활성화지수 좌, 정서지수, 뇌지수에서 신뢰도  $P(\leq .05)$ 의 유의미한 결과를 보여주었다. 그러나 비교군에서는 어떠한 유의미한 변화도 나타나지 않았다.

고등학교 실험군의 경우 기초운동지수 좌우  $P=.969, .701$ , 자기조절지수  $P=.666$ , 활성화지수 우  $P=.190$ , 항스트레스지수 좌우  $P=.069^*, .053^*$ , 좌우뇌균형  $P=.476$ 으로서 유의미한 결과가 나타나지 않았다. 그러나 주의지수의 경우 좌우  $t$ 값이  $-3.150, -3.042, P=.007^*, .009^*$ 로서 명확하게 유의미한 결과가 나타났으며 활성화지수의 경우 좌에서  $t$ 값이  $-2.483, P=.026^*$ 으로 나타나 유의미한 결과를 보여 주었다. 정서지수의 경우  $t$ 값이  $-2.393, P=.031^*$ , 종합지수인 뇌지수는  $t$ 값이  $-4.152, P=.001^*$ 로서 유의미한 결과를 보여 주었다.

[표 5] 중학교의 집단 간 차이검증 결과

[Table 5] t-test results of middle school groups

변수	실험군				비교군				
	훈련 전 M±SD	훈련 후 M±SD	t	P	훈련 전 M±SD	훈련 후 M±SD	t	P	
기초 운동 지수	좌	77.23±1 0.08	74.06±8 .53	1.196	0.251	80.06±7 .50	76.12±9 .62	1.356	0.197
	우	78.03±8 .38	78.88±7 .67	-0.416	0.683	76.22±6 .79	75.97±9 .51	0.114	0.911
자기 조절	70.52±1 8.81	84.75±1 5.07	-2.779	<b>0.015*</b>	77.27±1 9.61	71.85±1 7.62	0.717	0.485	
주의 지수	좌	51.81±1 3.31	62.45±1 0.72	-4.584	<b>0.000*</b>	59.27±1 0.57	56.19±1 0.69	1.576	0.137
	우	53.96±1 3.92	62.53±1 0.47	-3.210	<b>0.006*</b>	58.97±1 0.39	55.48±1 1.53	2.123	0.052
활성 지수	좌	57.91±1 1.45	64.13±9 .20	-3.289	<b>0.005*</b>	64.32±1 0.10	57.07±6 87	4.365	0.001
우	58.72±1 0.75	63.67±9 .00	-2.724	<b>0.016*</b>	63.76±8 .78	56.09±6 .57	5.190	0.000	
정서 지수	81.88±4 .72	83.97±3 .00	-2.356	<b>0.034*</b>	83.31±2 .68	82.12±3 .41	1.588	0.135	
항스 트레 스지 수	좌	69.56±1 0.58	79.16±8 .67	-2.780	<b>0.015*</b>	73.76±8 .98	75.93±9 .16	-0.751	0.465
	우	70.37±1 1.06	78.70±8 .89	-2.343	<b>0.034*</b>	73.01±1 0.77	74.47±9 .56	-0.509	0.619
좌우 균형	76.93±1 0.52	75.77±8 .77	0.333	0.744	74.53±9 .03	75.71±7 .74	-0.389	0.703	
뇌지 수	67.90±6 .67	73.46±4 .69	-4.152	<b>0.001*</b>	71.32±4 .67	68.82±4 .09	2.821	0.014	

\* $P(\leq .05)$

[표 6] 고등학교의 집단 간 차이검증 결과

[Table 6] t-test results of high school groups

변수	실험군				비교군				
	훈련 전 M±SD	훈련 후 M±SD	t	P	훈련 전 M±SD	훈련 후 M±SD	t	P	
기초 운동 지수	좌	72.75± 8.34	72.88± 9.93	-0.039	0.969	74.23± 9.97	70.51± 9.69	1.169	0.262
	우	72.88± 9.23	73.98± 10.08	-0.391	0.701	74.85± 6.96	70.82± 12.63	1.043	0.314
자기 조절 지수	74.72± 14.16	77.51± 23.19	-0.441	0.666	77.42± 20.92	74.52± 19.10	0.372	0.715	
주의 지수	좌	34.52± 17.70	44.07± 18.21	-3.150	<b>0.007*</b>	37.44± 11.86	28.33± 15.58	2.154	0.049
	우	33.72± 15.77	41.16± 15.36	-3.042	<b>0.009*</b>	36.71± 10.32	29.23± 13.53	2.350	0.034

활성 지수	좌	45.49± 17.77	52.51± 12.72	-2.48 3	<b>0.026</b> *	45.05 ±9.19	37.56 ±9.27	2.338	0.03 5
	우	45.55± 14.55	49.11± 8.68	-1.37 8	0.190	45.06± 10.73	38.46 ±9.24	2.316	0.03 6
정서 지수	좌	75.70± 4.55	78.01± 5.21	-2.39 3	<b>0.031</b> *	76.89± 3.28	73.43± 4.99	2.440	0.02 9
	우	66.05± 8.94	71.02± 11.02	-1.96 6	0.069	66.33 ±14.01	59.15 ±21.79	1.154	0.26 8
항스 트레 스지 수	좌	64.53± 10.64	69.92± 9.31	-2.11 2	0.053	64.39 ±13.90	60.55 ±18.54	0.633	0.53 7
	우	73.86± 15.75	76.90± 10.00	-0.73 2	0.476	78.92 ±8.79	76.98 ±10.90	0.692	0.50 0
좌우 뇌 균형	좌	59.98± 7.49	64.28± 7.16	-3.02 4	<b>0.009</b> *	61.57 ±4.85	56.32 ±7.34	2.429	0.02 9
	우								

\*  $P(\leq .05)$

#### 4. 결론

뉴로피드백 훈련이 연령에 따라 어떤 효과를 보여주고 있는지 이 연구의 결과를 종합하면 표 7과 같다. 변수로 보았던 8개의 지수 가운데 초등학교의 경우에는 자기조절지수, 주의지수, 활성지수, 항스트레스지수, 뇌지수의 총 5개에서 유의미한 효과가 나타났다. 중학교는 자기조절지수, 주의지수, 활성지수, 정서지수, 항스트레스지수, 뇌지수의 6개에서 의미있는 효과를 보여주었다. 고등학교에서는 주의지수, 활성지수 좌, 정서지수, 뇌지수의 4개에서 효과를 보여주었다. 이러한 결과를 바탕으로 연령에 따른 뉴로피드백의 효과를 다음과 같이 논의할 수 있다.

첫째, 뉴로피드백 훈련의 효과가 학교급별 연령에 따라 나타나는 뇌발달의 시기적 특징을 그대로 반영하고 있었다. 우리나라의 11세~13세인 초등학교급, 14세~16세인 중학교급에서 가장 많은 지수의 향상과 더불어 SMR의 활동인 주의지수, 낮은  $\beta$ 의 활동인 활성지수에서 뚜렷한 변화가 있었는데 이는 Thomson(2000)의 만13세를 전후하여서 미상핵이 원숙해진다는 연구, Lenroot와 Giedd(2006)의 사춘기초기 전두엽에서 회백질이 폭발적으로 증가한다는 연구 등 청소년기 뇌발달의 논의를 확인하는 것이었다. 그것은 청소년기에는 나타나는 뇌발달의 폭발적인 변화가 뇌기능의 활성정도를 보여주는 데 중요한 역할을 하는 주의지수와 활성지수의 변화를 통해 설명될 수 있는 것이기 때문이다.

[표 7] 연령에 따른 뉴로피드백 훈련 효과

[Table 7] Result of Neurofeedback training effect

변수	초등학교		중학교		고등학교	
	t	P	t	P	t	P
기 초 좌	2.119	0.052	1.196	0.251	-0.039	0.969
올 동 우	-0.940	0.363	-0.416	0.683	-0.391	0.701
자 기 조절	-2.218	0.044*	-2.779	0.015*	-0.441	0.666
주 의 좌	-2.907	0.011*	-4.584	0.000*	-3.150	0.007*
지 수 우	-3.173	0.007*	-3.210	0.006*	-3.042	0.009*
활 성 좌	-2.389	0.032*	-3.289	0.005*	-2.483	0.026*
지 수 우	-2.820	0.014*	-2.724	0.016*	-1.378	0.190
정 서 지수	-1.930	0.074	-2.356	0.034*	-2.393	0.031*
항 스 좌	-2.143	0.050*	-2.780	0.015*	-1.966	0.069
트 레 스 지 수 우	-2.271	0.039*	-2.343	0.034*	-2.112	0.053
좌우 균형	0.617	0.547	0.333	0.744	-0.732	0.476
뇌 지 수	-3.632	0.003*	-4.152	0.001*	-3.024	0.009*

\* $P(\leq .05)$

또한 중학교급, 고등학교급에서는 정서지수에서의 효과성이 확인되었는데 이것 역시 Cabeza(2002)의 연구에서 나이가 들어갈수록 우수한 두뇌 수행력을 보이는 집단의 전두엽 대뇌피질 활동이 대칭적으로 나타난다는 보고를 간접적으로 확인할 수 있는 것이었다. 연령이 높은 학교급별 집단에서 대뇌피질의 활동이 높아지면서 나타나는 안정된 뇌발달이 정서지수의 향상에 반영된 것으로 생각해 볼 수 있기 때문이다. 그러나 좌우뇌균형지수와 같은 대칭성까지 유의미한 결과로 이어지지는 못했다. 그것은 청소년기의 좌우뇌 비대칭의 경우 발달과정에 있는 이 시기 아이들의 특징처럼 나타나는 경향이 있기 때문이다. 둘째, 뉴로피드백 훈련이 청소년기의 뇌발달을 지원하는데 뚜렷한 효과가 있음을 알 수 있었다. 이 연구에서 뇌기능분석을 위해 사용한 8개의 영역별 지수 가운데 6개에서 의미를 보여준 중학교급의 변화는 제 2의 탄생기라고 할 만큼 변화무쌍한 중학생들의 뇌발달을 보여주었다. 그러나 비교군에서는 어떠한 유의미한 변화가 나타나지 않았으며 어떤 경우에는 뇌기능이 오히려 떨어져 있었는데 이는 몇 개월간의 규칙적인 뉴로피드백 훈련이 청소년기 뇌기능의 향상을 도모하는 데 효과가 있음을 보여주는 것이었다.

특히, 이 연구에서 나타난 주의지수, 활성지수, 항스트레스지수의 향상은 이 시기의 학습과 관련하여 시사하는 바가 매우 크다. 주의지수의 향상은 학습을 방해하는 세타파의 감소를 유도하고 청소년기 학습능력 및 효율을

높이는 데 기여하는 척도이다. 활성지수의 향상은 알파파와 저베타파의 활성을 유도해 줌으로써 정보처리능력과 효율을 높이는 데 도움을 준다. 항스트레스지수의 향상은 델타파 및 고베타파와 같은 높은 진폭의 뇌파를 조절하여 두뇌의 에너지 효율을 높여주고 스트레스의 저항력을 향상시키며 일상에서의 생활태도를 주도적으로 개선해 줄 수 있다. 실험군에 나타난 이러한 지수들의 향상은 청소년기에 건강과 학습을 지원하는 중요한 도구로서 평가받기에 의미가 있을 것으로 보인다.

연구결과를 통해 뉴로피드백 시스템을 통한 두뇌훈련이 청소년기의 건강한 뇌, 효율적인 학습을 지원할 수 있는 의미있는 교육방법이 될 수 있다고 하겠다. 덧붙여 실험에서 제공한 20~25회의 시간적 규칙성이 뇌발달을 가능하게 했으리라는 의견에 대해서는 향후 연구의 과제로 삼고자 한다.

## References

- [1] Lenroot, R. K., Giedd, J. N. Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30, 718-729, 2006.
- [2] Sowell, E. R., Thompson, P. M., Holmes, C. J., Jemigan, T. I., Toga, A. W. In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature Neuroscience*, 2(10), 859-861, 1999.
- [3] Thomson, P. M., Giedd, J. M., Wood, R. P., McDonald, D., Evans, A. C., Toga, A. W. Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor map. *Nature*, 404, 2000.
- [4] Robbins, J. "A Symphony in the Brain: The Evolution of the New Brain Wave Biofeedback", New York: Grove Press, 2008.
- [5] Strauch, B., *The Primal Teen*. Brockman, Inc. pp. 108-113, 2003.
- [6] McGiven, R. F., Andersen, J., Byrd, D., Mutter, K. L., Reilly, J. Cognitive efficiency on a match to sample task decreases at the onset of puberty in children. *Brain and cognition*, 50, 73-89, 2002.
- [7] Cabeza, R., Aderson, N. D., Locantore, J. K., McIntosh, A. R. Aging Gracefully: Compensatory Brain Activity in High- Performing Older Adults. *NeuroImage*, 17, 1394-1402, 2002.

- [8] Y. J. Kim, "Development of Brain Circulation Learning Model Based on EEG Analysis of Learning Activities". Seoul National University, 2000.
- [9] P. W. Park, "An introductory textbook of Neurofeedback" Seoul : Korea Society of Jungshin Science. 2005.

변 윤 언(Youn-Eon Byun)

[정회원]



- 2004년 8월 : 경기대학교 교육학 석사
- 2009년 2월 ; 경기대학교 청소년학 박사
- 2010년 8월 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유 뇌과학 박사
- 2008년 10월 ~ 2010년 8월 : 경기대학교 사회과학연구소 상임연구원
- 2009년 11월 ~ 현재 : (사)한국양생회 이사
- 2007년 9월 ~ 현재 : 경기대학교 외래교수
- 2011년 6월 ~ 현재 : (사)피해자지원협회 피해자상담사 자격관리위원

<관심분야>

한국어머니의 자녀교육, 뇌과학의 교육적 실천