

시공간 작업기억 수행능력에 따른 안정상태에서의 뇌파 특성 연구

정철우^{1*}, 이협의¹, 위현욱¹, 최남숙¹, 박병운¹
¹서울불교대학원대학교 뇌과학 전공

Study on the Characteristics of EEG in Resting State on Visuo-Spatial Working Memory Performance

Chul-Woo Jung^{1*}, Hyeob-Eui Lee¹, Hyun-Wook Wi¹, Nam-Sook Choi¹, Pyong-Woon Park¹

¹Dept. of Neuroscience, Seoul University of Buddhism

요약 본 연구의 목적은 표준화된 종합주의력검사(CAT)의 소검사인 시공간 작업기억력 검사를 통해 얻어진 실험대상자의 안정상태 뇌파 특성차이로 시공간 작업기억력 수행능력을 예측할 수 있는 지를 알아보고자 하는 것이다. 실험 대상자는 2014년 12월 1개월 동안 학업 성취도와 무관한 31명의 일반적인 중학생 중 시공간 작업기억력 검사 후 순방향과 역방향 공간폭 결과에서 표준편차를 벗어난 7명과 6명이 선별되었고, 선별된 대상자를 각각 작업기억력 우수 집단(EWM)과 저하 집단(PWM)으로 구성하였다. 뇌파 측정과 뇌파 밴드별 상호 연관성을 통한 뇌기능 지수의 하위요소를 알아보기 위해 뇌기능분석 프로그램을 사용하였고 집단 간 차이 검증을 위한 통계 처리는 Mann-Whitney Test로 하였다. 연구 결과는 첫째, 순방향 작업기억력 검사 결과 EWM과 PWM 집단 간 고베타파 활성화에서 좌뇌와 우뇌 모두 유의미한 차이를 보였고 저베타파 활성화에서는 우뇌에서만 유의미한 차이가 나타났다. 둘째, 세타파와 알파파 활성화는 통계적 유의수준에는 도달하지 못했다. 결론적으로 시공간 작업기억 수행능력과 안정 상태에서 고베타파와 저베타파 활성화와 상관관계가 있음을 보여주며 특히 시공간 작업기억 수행능력과 우뇌의 정신적 활동 및 사고능력과는 상관관계를 보여 주었다. 시공간 작업기억 수행능력을 안정 상태에서도 베타파의 활성도를 통해 예측할 수 있다는 점이 본 연구가 갖는 의의이다. 향후 뇌파의 활성도가 작업기억력 평가 도구와 근거자료로써 활용될 수 있기를 기대한다.

Abstract The purpose of this study is to predict visual-spatial working memory performance through the characteristics of an electroencephalogram (EEG) in the resting state. The 31 study participants, middle school students with various to academic performance, were underwent visual-spatial working memory test in the Comprehensive Attention Test (CAT) on December in 2014. Each 7 and 6 participants were divided into an Excellent Working Memory (EWM) group and Poor Working Memory (PWM) group depending on the forward/backward working memory scores. The EEG measurements and analysis of the data from a Brain Function Tester were performed by the two groups. A Mann-Whitney Test was used to examine the statistical differences between them. The activation of high beta (β H) at the Fp1 and Fp2 sites in the left and right hemisphere, and that of the low beta (β L) in the right hemisphere in the EWM group was significantly higher than that in the PWM group. In conclusion, there is a correlation between the visual-spatial working memory performance and the activation of β H and β L in the resting state and a close correlation that of β L in the right hemisphere in terms of mental activity and faculty. Therefore, the visual-spatial working memory performance can be predicted by the activation of β H and β L in the resting state. The activation of EEG can be applied as an assessment tool and provide basis data for visual-spatial working memory performance.

Keywords : BQ Analysis, CAT, DMN, EEG, Resting State, Visuo-Spatial Working Memory

*Corresponding Author : Chul-Woo Jung (Seoul University of Buddhism)

Tel: +82-10-2583-8095 email: mynp@hanmail.net

Received January 26, 2016

Revised March 9, 2016

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

1. 서론

작업기억은 정보의 일시적인 저장과 활용을 위한 일시적인 시스템을 의미한다[1]. 1974년에 Baddeley와 Hitch는 작업기억의 주요 영역을 언어영역, 시공간영역, 중앙 집행영역의 세가지로 구분하였다[2]. 이후 Baddeley는 에피소드적 영역을 추가하여 모두 4가지 영역으로 구분하였다[3].

신경학적으로, 대뇌반구에서의 작업기억 기능은 전두선조영역, 전운동영역, 두정엽 그리고 측두엽에 이르는 광범위한 뇌의 영역을 포함하는 신경네트워크에서의 활동성에 의존한다고 알려져 있다[4]. 특히 최근에는 fMRI와 뇌파연구에 의해 시공간 정보를 저장하는 양은 두정엽의 활동성과 관련이 있다고 보고되었고[5][6], 시공간 작업기억력 과제 중에 측정된 fMRI연구에서는 9~13세 아동보다 14~18세에 해당하는 청소년의 상전두부(superior frontal)와 두정내(intraparietal) 피질에서의 활동성이 더 높게 나온 것으로 확인되었다[7]. 또한 높은 작업기억 용량을 가진 인간은 작업기억을 효율적으로 처리하기 위해 관련 없는 정보를 저장할 가능성이 낮다고 보고 하였다[8].

이러한 작업기억을 평가하기 위해 인지심리학자들이 고안한 최근의 도구들은 AWMA(Automated Working Memory Assessment), WMRS(The Working Memory Rating Scale)등이 있다[9]. 하지만 지필 검사나 컴퓨터 기반으로 판별하는 경우 수준에 따른 다양한 과제를 제공해야하기 때문에 모든 학습자에게 적용하기 어려운 점 등의 제한점들이 있다[10]. 그리고 작업기억과 주의력은 높은 상관관계를 갖는데 특히 분할주의력은 좀 더 많은 인지적 부하를 일으켜 검사 시에 작업기억 부하가 크게 증가하는 것으로 알려져 있다[11]. 이를 이용하여 국내에서 시공간 작업기억에 대한 인지적 부하의 정도를 컴퓨터 기반으로 검사하여 주의력 용량을 평가하기 위해 종합주의력검사(Comprehensive Attention Test: CAT) 도구가 개발되어 표준화되었고 작업기억을 정량적으로 평가할 수 있게 되었다[12].

한편, 작업기억과 뇌파(EEG)와의 연관성을 보여주는 많은 선행연구들이 진행되어져 왔다. 학업성취도에 있어 작업기억과 뇌파의 상관관계 연구[13]와 작업기억 부하에 따른 뇌파의 특성에 관한 연구[14], 그리고 작업기억 과제 수행동안 전두중상부의 뇌파의 활동에 관한 연구

[15]를 들 수 있다. 또한 학업 성취도에서 성적이 우수한 학생들과 우수하지 않은 학생들의 뇌파 특성에 대한 연구[16]를 통해 최근에는 뇌파를 인지능력과 학업 성취도에 대한 평가 도구로써도 그 활용 가능성을 제시하고 있다.

그러나 작업기억력과 뇌파와의 연관성을 보여주는 많은 연구들이 있으나 표준화된 작업기억력 평가 도구의 정량적 결과와 그에 따른 뇌파의 특성에 관한 국내 연구는 미미한 실정이다. 특히 언어적 작업기억력의 변별도 구로써 뇌파를 활용한 연구에서 안정 상태에서는 뇌파 특성을 이용할 수 없다는 연구 결과[9]도 있지만 최근 안정 상태에서의 뇌의 특성 연구로 디폴트 모드 네트워크(Default Mode Network, DMN) 개념이 소개되었고[17], 인지 뇌과학 분야에서도 중요한 연구 주제가 되고 있다[18]. DMN에서는 작업기억력과 같은 주의를 요구하는 인지과제를 수행할 때 뇌의 활동성이 저하되고 오히려 안정 상태에서는 활성화되는데 중심전두영역들(medial frontal regions), 후대상피질(posterior cingulate cortex, PCC), 양측하전두피질(bilateral inferior frontal cortices), 하두정피질(inferior parietal cortices), 중심측두피질(middle temporal cortices)과 소뇌(cerebellum)를 포함하는 영역으로 알려져 있다[17]. 작업기억과 관련된 뇌의 주요 영역들 중에서 특히 전전두엽을 중심으로 한 안정 상태에서의 뇌파 특성에 대한 연구는 미미하다.

따라서 본 연구는 시공간 작업기억력 검사를 통해 얻어진 작업기억력 우수 집단과 저하 집단을 전전두엽 Fp1과 Fp2 지점에서 뇌파를 측정하고 뇌 기능을 분석하여 안정 상태에서 얻어진 뇌파의 활성 차이로 인해 시공간 작업기억력을 예측할 수 있는 지를 알아보는 것이 목적이다.

2. 연구 방법

2.1 최종분석 대상

본 연구는 2014년 12월 B광역시 소재의 OO학원에 재원중인 신체건강하고 인지적, 정서적으로 이상이 없는 일반적인 중학생을 대상으로 실시되었다. 대상자는 법적 보호자와 함께 연구에 대한 설명을 들은 후 자발적인 참여를 희망하면서 보호자의 동의를 받은 총 31명을 선정

하였고 학년, 성별, 학업성취도는 구분하지 않았다. 전체 대상자에 대한 성별과 연령에 따른 분포는 [Table 1]과 같다.

Table 1. Distribution of the Subjects

Male	Female	Total	Age	
			M	SD
20	11	31	14.5	0.71

또한 본 연구는 본교의 생명윤리위원회 승인을 받아 진행하였다(승인번호 제2700412AN01-2014-12-HR-004-02).

2.2 연구 절차

최종분석 대상자의 시공간 작업기억 수행능력을 파악하기 위해 CAT의 순방향과 역방향에 대한 작업기억력 검사를 먼저 실시하였다. 검사 결과를 바탕으로 순방향 공간폭(Forward Memory Span, FMS)과 역방향 공간폭(Backward Memory Span, BMS)의 결과로 실험 집단을 분류하였고 이때 기준은 전체 대상자 검사결과 값의 평균(M)을 100, 표준편차(SD)를 15라고 가정하고 피검자의 검사 결과값이 이 기준에 맞게 환산하면 Attention Quotient*(AQ*: 주의력 지수) 값이 산출된다. AQ*값이 76이하(1.6 SD이상)인 경우를 저하, 76초과 85 이하(1.0 SD이상 1.6 SD미만)인 경우를 경계, 85초과(1.0 SD미만)인 경우를 정상으로 하는데[19], 본 실험에서는 작업기억력 우수집단(Excellent Working Memory: EWM)과 작업기억력 저하집단(Poor Working Memory: PWM)을 $AQ^* \pm 1.0$ SD를 초과하는 대상자를 최종분석 대상으로 분류하였다.

또한 최종분석 대상자를 대상으로 뇌파의 측정과 뇌파 밴드별 상호연관성을 통한 뇌기능 지수의 하위요소를 알아보기 위해 ‘파낙토스’에서 개발한 뇌기능 분석(BQ Tester) 프로그램을 사용하였다[20].

2.3 연구 도구

2.3.1 종합주의력검사

(Comprehensive Attention Test, CAT)

CAT는 다양한 주의력과 작업기억력을 객관적으로 평가하기 위한 전산화 검사 도구로 국내에서 처음으로 개발되었으며, 임상 및 연구 목적으로 사용할 수 있는 4세부터 15세까지 남녀 표준화 자료를 마련한 연속수행

검사(Continuous Performance Test, CTP) 방법이다[12]. CAT는 단순선택주의력(시각), 단순선택주의력(청각), 억제지속주의력, 간접선택주의력, 분할주의력, 시공간 작업기억력 등의 6가지 소검사로 구성되어 있다. 아동의 연령에 따라 3~6가지 소검사가 시행되는데[19], 본 연구에서는 연구 목적과 부합하는 시공간 작업기억력 검사를 시행하였다.

2.3.2 뇌파 측정기

본 연구는 뇌파 측정을 위해 ‘파낙토스’의 2 Channel 뇌파 측정기(Neuroharmony M, Panaxtos Corp. Korea)를 이용하였다. 뇌파 신호처리는 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)분석을 통한 주파수별 진폭의 세기를 구하였다. 진폭의 세기는 전압(μV)으로 나타내어 활성도(activity)값으로 사용되었다. 이 뇌파 측정기는 비침습형 헤드밴드를 사용함으로써 측정자 친화적인 도구이다. 또한 두피상 전극 부착 위치를 나타내는 국제 10-20 시스템 기준에 의해 정해진 전전두엽의 Fp1과 Fp2에서 좌우 뇌파를 동시에 측정하도록 설계되었다. 금도금한 건성 전극을 헤드밴드 형태로 부착하여 Fp1과 Fp2를 활성(Active)전극으로, Fpz를 접지(Ground)전극으로 그리고 컷볼을 기준(Reference)전극으로 사용하였다. 이 뇌파 측정기는 미국에서 신뢰도와 타당도가 입증되어 의료용으로 가장 많이 사용되고 있는 Grass Neurodata Amplifier System과 비교하여 좌우 알파파, 베타파, 그리고 세타파 값에 대한 상관계수가 .916($p < .001$)으로 나타나 신뢰성이 입증된 바 있다[21][22].

2.3.3 뇌파의 주파수 대역과 특성

뇌파는 대뇌피질의 신경 세포군에서 발생한 뇌전기활동의 총화(summation)를 체외로 도출하고, 이를 증폭해서 전위를 증폭으로 시간을 횡축으로 해서 두피상에서 기록한 것이며[23], 본 연구에 사용된 뇌파의 파장대는 세타파(θ , 4~7Hz), 알파파(α , 8~12Hz), SMR(12~15Hz), 저베타파(βL , 13~20Hz), 고베타파(βH , 21~30Hz)이다. 각 뇌파의 특성을 살펴보면 세타파는 수면 상태, 뇌기능저하, 창의성, 통찰력, 깊은 몰입상태, 기억력 등의 깊은 내면의식을 나타내며, 알파파는 마음의 평화로움 등의 안정과 이완 상태이며, SMR은 주의각성 상태, 저베타파는 안정된 사고를 기반으로 하는 집중 상태로써 분석적, 외부 지향적이며 고베타파는 인지적 처리과정에서 일어나는 불안, 걱정, 잡념, 지나친 생각, 과잉

각성, 스트레스 상태를 나타낸다[20][24]. 뇌파의 주파수 대역과 특성은 [Table 2]와 같다.

Table 2. Frequency band and Characteristics of Brain Wave

Brain Wave	Frequencyband (Hz)	Characteristics
Theta(θ)	4 ~ 7	sleep, fog, creativity, insight, deep state
Alpha(α)	8 ~ 12	relaxation, peacefulness
SMR	12 ~ 15	mental alertness, physical relaxation
Low Beta(β L)	13 ~ 20	activation, thinking, sustained attention, focusing
High Beta(β H)	21 ~ 30	hyperalertness, stress, anxiety

2.3.4 뇌기능 지수

본 연구에서는 주로 주파수계열 스펙트럼 분석법을 이용하여 상호 연관성에 의한 서파화 및 속파화 정도를 파악하여, 기존의 밴드별 독립 분석법이 서파화나 속파화 정도 등을 정확히 분석하지 못하는 단점을 보완하였는데 이는 단순히 시계열 분석만 하거나 파워스펙트럼에만 의존하는 기존의 분석법보다 다양한 정보를 제공하기 때문이다. 이와 같은 분석법을 “뇌기능 분석(BQ Tester)”라고 하였으며, 8가지 뇌기능 지수 형태로 뇌의 상태를 정량화하였다[25][26]. 그러므로 뇌 지수는 종합적으로 뇌의 기능을 보고자 하는 노력에서 나온 틀로써 기존의 방법들보다 밴드별 상호 연관성에 따라 뇌의 기능을 세분화하여 분석 평가할 수 있는 유용한 지표가 될 수 있는 방법이다. 또한 폐안과 개안시의 뇌파를 비교분석함으로써 기초울동의 주파수를 파악하고 뉴로피드백(Neurofeedback)에 의한 뇌의 자기조절정도(Degree of Self-Regulation)를 측정함으로써 뇌의 동적 상태(Dynamic State)를 측정하여 분석하였다[27]. 본 연구에서는 뇌 기능 지수의 하위요소를 통해 그 하위요소들이 의미하는 뇌파 값을 추출하여 사용하였다. 본 연구에서 사용된 뇌기능 지수와 하위요소에 해당하는 뇌파 및 특징은 [Table 3]과 [Table 4]와 같다[25][28][29].

Table 3. The Characteristic of Brain Quotient

Analysis Quotient	Characteristic
ATQ (Attention Quotient)	State of the Brain Arousal
ACQ (Activity Quotient)	Activity of the Brain

Table 4. The Characteristic of Subtype for BQ

BQ	Subtype of BQ	Characteristic	Brain Wave
ATQ	Attention Ratio(L [*])	State of the Brain Arousal	Theta [*] (θ), SMR
	Attention Ratio(R [*])		
	Distraction(L [*])	Anxiety, Distraction, Mental Tension	High Beta (β H)
	Distraction(R [*])		
ACQ	Absolute Power(L [*])	Mental Activation, Thinking Faculty	Low Beta (β L)
	Absolute Power(R [*])		
	Relative Power(L [*])	Mental Stability	Alpha(α ,CE [*])
	Relative Power(R [*])		

L^{*}: Left, R^{*}: Right, CE^{*}: Closed Eye,
Theta^{*}: Absolute Power(mV) = (Theta/SMR) x Low Beta

2.4 자료 분석 방법

본 연구의 수집된 자료는 통계처리용 데이터 코딩(data coding)과정을 거쳐, SPSS(Statistical Package for Social Science) V. 21.0 통계 패키지 프로그램을 이용하여 분석하였다.

두 집단 간의 CAT 주의력 지수와 뇌파에 대한 차이 검증은 정규성을 만족시키기에는 대상자의 수가 충분하지 않아 통계학적 유의성을 살펴보기 위해 비모수적 방법인 Mann-Whitney Test로 분석하였다. 모든 자료에 대하여 평균과 표준편차를 산출하였고 자료의 통계적 유의 수준은 * $p < .05$, ** $p < .01$ 로 설정하였다.

3. 연구 결과

3.1 작업기억력 검사 결과

31명의 연구대상자에서 최종분석 대상 집단으로 분류하기 위해서 CAT 시공간 작업기억 검사결과를 평균 100점 기준으로 정규분포화한 공간폭에 대한 환산점수인 AQ^{*}(주의력 지수)로 나타내었다[19]. 연구대상자 전체의 순방향과 역방향에 대한 검사 결과 순방향 검사 결과는 평균 101.7점, 역방향 검사 결과 평균은 96.8점으로 나타났으며, 대상자를 분류하기 위해 주의력 지수값이 경계와 저하에 해당하는 평균값±1.0 SD를 초과한 인원은 각각 7명과 6명으로 나타나 최종분석 대상으로 선정되었으며 [Table 5]와 [Table 6]과 같다.

Table 5. Statistical Value of the Subjects (n=31)

	AQ*	M(SD)
Forward Memory Span(FMS)		101.7(16.9)
Backward Memory Span(BMS)		96.8(14.3)

Table 6. Number Distribution of the Subjects

	n<M± 1.0SD	M+1.0SD<M +1.6SD	M-1.0SD<M- 1.6SD	n>M± 1.6SD	Total
FMS	18	7	6	0	31
BMS	18	7	6	0	31

또한 Mann-Whitney Test로 검증한 결과 순방향 (FMS)검사와 역방향(BMS) 검사에서 두 집단 모두 $p<.01$ 로 타당하게 분류되었음을 알 수 있으며 [Table 7] 과 같다.

Table 7. Results of Visuo-Spatial Working Memory

	Group	n=	M±SD	Age	z	p
FMS	EWM	7	124.9(4.6)	14.5(1.0)	-3.046	.002**
	PWM	6	79.7(7.4)	14.8(0.7)		
BMS	EWM	7	114.3(5.1)	14.6(0.6)	-3.021	.003**
	PWM	6	74.8(3.4)	15.0(0.8)		

** $p<.01$

3.2 뇌기능 분석 지수의 뇌파분석 결과

[Table 8]은 안정된 상태에서 실험집단의 뇌파를 측정하여 순방향 작업기억력 검사에서의 EWM과 PWM 집단간 뇌파의 차이를 분석한 결과이다. 뇌기능분석(BQ Tester) 프로그램은 안정시 개안(Open Eye)과 폐안(Closed Eye) 시의 뇌파를 시계열로 측정하고 뇌기능 지수를 통해 활성화된 뇌파의 상태를 볼 수 있는 도구이며 [Fig 1]은 본 실험에서 알아보고자 하는 EWM과 PWM 집단간의 순방향에서 활성화된 뇌파의 차이 그래프이다. 분석 결과 정신적인 불안, 긴장, 산만의 정도를 나타내는 고베타파(θ 파)에서 좌뇌와 우뇌 모두 유의미한 차이를 보였다($p<.05$). 또한 정신적 활동과 사고능력 등의 뇌의 활성정도를 나타내는 저베타파(β L파)는 우뇌에서만 유의미한 차이를 보였다($p<.05$). 그러나 좌뇌 세타파, 우뇌 세타파, 우뇌 저베타파, 좌뇌 알파파와 우뇌 알파파는 비록 유의수준에는 도달하지 못했지만 PWM에 비해 EWM 집단의 뇌파 활성도가 높은 경향을 보였다. 이는 생체신호를 종속변수로 비교한다는 점에서 적은 수치상

의 차이도 무시할 수 없다고 사료된다. 순방향 작업기억력 검사에서 분석한 뇌파 결과 모두 안정시 PWM 집단에 비해 EWM 집단의 뇌파 활성도가 높은 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Table 8. Forward Results of Brain Quotient

Type of BQ	Subtype of BQ	Brain Wave*	M(SD)		z	p
			EWM	PWM		
ATQ	A-R(L)	θ	20.8 (14.56)	14.0 (4.53)	-.714	.475
			22.5 (18.52)	13.1 (3.18)		
	D(L)	β H	1.1 (.51)	.6 (.32)	-2.143	.046*
			1.3 (.92)	.6 (.27)		
ACQ	A-P(L)	β L	5.0 (1.88)	3.6 (1.39)	-1.286	.199
			5.6 (2.77)	3.3 (1.21)		
	R-P(L)	α	6.8 (3.32)	5.1 (1.00)	-.857	.391
			7.3 (3.65)	5.1 (1.20)		

* $p<.05$, Brain Wave*: mV

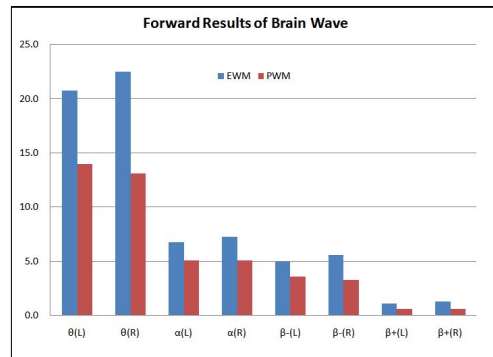


Fig. 1. Forward Results of Brain Wave

[Table 9]는 안정된 상태에서 실험집단의 뇌파를 측정하여 역방향 작업기억력 검사에서의 EWM과 PWM 집단간 뇌파의 차이를 분석한 결과이며 [Fig 2]는 본 실험에서 알아보고자 하는 EWM과 PWM 집단간의 역방향에서 활성화된 뇌파의 차이 그래프이다. 분석결과 통계상의 유의미한 차이가 없음을 알 수 있다.

Table 9. Backward Results of Brain Quotient

Type of BQ	Subtype of BQ	Brain Wave*	M(SD)		z	p
			EWM	PWM		
ATQ	A-R(L)	θ	16.5 (6.00)	16.0 (5.89)	-.571	.568
			16.6 (5.89)	14.6 (7.86)		
	D(L)	βH	1.3 (.69)	1.1 (1.14)	-.714	.475
			1.3 (.80)	.8 (.62)		
ACQ	A-P(L)	βL	4.5 (1.70)	4.7 (2.74)	-.286	.775
			5.0 (2.08)	4.1 (2.12)		
	R-P(L)	α	5.7 (3.02)	5.5 (1.42)	-.571	.568
			6.7 (3.97)	5.6 (1.71)		

Brain Wave*: mV

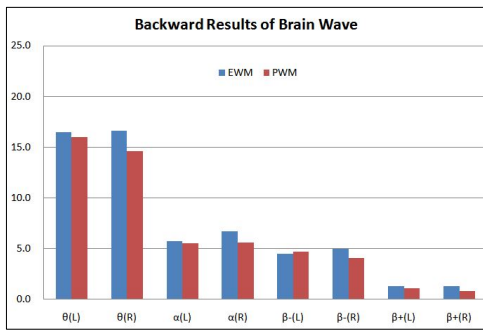


Fig. 2. Backward Results of Brain Wave

4. 고찰

본 연구 결과에 따른 논의는 다음과 같다.

첫째, 순방향 작업기억력 검사 결과 안정 상태에서 EWM과 PWM 집단 간의 고베타파에서 좌뇌와 우뇌 모두 유의미한 차이를 보였다. 이는 과거 김순화 등[9]의 뇌파를 이용한 작업기억 결손 학습자의 판별 연구에서 눈을 감고 안정 상태에서는 모든 과장대의 뇌파를 변별을 위한 도구로 사용할 수 없다는 선행연구 결과에서 발견되지 않았던 결과이다. 그러나 본 연구에서는 개안(Open-Eye, OE)과 안정 상태에서 고베타파의 활성도 차이가 나타났으며, 이를 통해 EWM 집단은 PWM 집단에 비해 전전두엽에서의 고베타파 활성도를 의미하는 정신적 활동성이 높다는 것을 알 수 있다. 즉, 고베타의 뇌파

특성[24]인 인지적 처리과정에서 일어나는 정신적 긴장, 불안이나 산만, 지나친 생각, 과잉 각성의 형태로 나타날 수 있다는 것을 알 수 있다.

둘째, 순방향 작업기억력 검사 결과 안정 상태에서 EWM과 PWM 집단 간의 저베타파에서는 우뇌 영역에서만 유의미한 차이가 나타났다. 이는 안정 상태에서 EWM 집단은 PWM에 비해 전전두엽에서의 우뇌 저베타파 활성도가 높으며 정신적 활동과 사고능력이 높다는 것을 의미한다. 또한 우뇌의 저베타파 활성은 심상(心想) 작용의 활성화와 관련이 있다는 김용진 등[30]의 연구 결과와 일치하며 EWM 집단이 안정시에도 우뇌의 활성도가 PWM 집단보다 우세할 것이다. 즉, 우뇌의 활성도를 통해 좌뇌의 언어적 작업 기억력보다 시공간 작업 기억력이 높을 가능성을 시사하며 본 연구가 언어적 작업 기억력보다 시공간적 작업기억력을 검사한 결과와 일치한다.

셋째, 순방향 작업기억력 검사 결과 안정 상태에서 EWM과 PWM 집단 간의 알파파와 세타파는 통계적으로 유의수준에는 도달하지 못하였다. 그러나 작업기억력에 미치는 뇌의 전기적 활동성에서 알파파와 세타파 대역이 중요하다는 선행연구[31]에 의하면 생체신호를 종속변수로 비교한다는 점에서 적은 수치상의 차이도 무시할 수 없다고 사료된다. 안정 상태에서 폐안(CE)시 알파파는 뇌의 발달, 노화 그리고 안정도를 의미[25]하는데 EWM집단(L: 6.8, R: 7.3)이 PWM집단(L: 5.1, R: 5.1)에 비해 알파파 활성도가 높으며 이는 알파파 활동성의 동기화가 단순히 피질의 비활동성을 의미하는 것뿐만 아니라 Baddeley와 Hitch[2]가 주장한 작업 기억력과 중앙 집행 처리기능의 개념과 유사한 뇌 영역의 선택적인 억제상태로 내부 하향식(internal top-down) 처리방식의 신호를 반영한다는 최근의 연구[32]와 일치한다. 또한 EWM 집단이 인지 부하가 걸리지 않는 편안한 안정 상태이면서 특히 뇌의 안정도가 PWM집단에 비해 높아 육체적, 정신적 스트레스에 대해 대처 능력이 우수하여 학습이나 업무의 효율성이 증대할 것이다.

한편 안정 상태에서의 세타파는 EWM집단(L: 20.8, R: 22.5)이 PWM집단(L: 14.0, R: 13.1)에 비해 높은 활성도를 보인다. 이는 알파파와 마찬가지로 통계적인 유의수준에 도달하진 못했지만 세타파 동기화가 작업 기억과 같은 특이적 처리 과정을 하는 동안 최적 상태의 신경학적 조건 제공과 같은 통로 역할을 한다는 선행연구

[33]의 결과와 일치한다는 점에서 의의가 있다. 또한 각 성시 몰입상태를 의미하는 세타파는 안정상태에서 특히 전두부영역의 DMN 활동성의 지표로 이용되는데 안정시 EWM집단의 세타파 활성도가 높다는 것은 인지적 활동이 상대적으로 미약하다는 것을 의미한다[34].

넷째, 역방향 작업기억력 검사 결과는 집단간 뇌파 활성 차이가 없었다. 이는 순방향과 역방향 작업기억력 검사 결과의 주의력지수 평균값 차이를 보면 FMS의 101.7 점에 비해 BMS의 96.8점으로 역방향 작업기억력 검사 수행능력이 4.9점 낮은 상태이며 역방향 작업기억력 검사 과제가 인지적 부하가 높다는 것을 의미한다.

연구의 제한점으로 이 연구는 다음과 같은 한계가 있다.

첫째, 본 연구를 일반화시키기에는 실험대상자의 수가 31명에서 선별된 13명의 소규모로써 이를 일반화하기에는 그 한계가 있다.

둘째, Fp1과 Fp2 두 지점에서 뇌파를 측정함으로써 상호비교하기에 한계가 있다. 작업기억력과 관계있는 전두부를 포함한 뇌의 다양한 영역에서 뇌파를 측정하고 분석하는 후속연구를 기대한다.

셋째, 본 연구의 결과는 작업기억력 예측에만 한정되어 있다. 이러한 예측뿐만 아니라 시공간 작업기억력을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 더욱 필요하다. 아동 청소년기 인지능력 발달에 작업기억력은 중요한 영향을 미치며 특히 주의력결핍 과잉행동장애(ADHD)를 가지고 있는 아동 청소년은 작업기억력이 상대적으로 저하되어 있지만 작업기억력 향상 훈련을 통해서 전두엽의 중앙집행기능 향상과 ADHD 증상을 개선할 수 있다고 보고[35][36]되고 있다. 또한 최근에는 비약물 요법이면서 뇌파를 자기 조절하여 뇌 기능을 향상시키는 뉴로피드백(neurofeedback) 훈련에 대한 관심이 증대되고 있고 이러한 원리를 이용한 작업기억력 증진 훈련에 대한 연구가 보고 되고 있다[37]. 효과적인 작업기억력 훈련을 적용하고 그에 따른 뇌파의 특성을 분석하는 후속연구를 기대한다.

5. 결론

본 연구 결과에 따른 결론과 제언은 다음과 같다.

안정시 좌뇌와 우뇌의 고베타파 활성도는 작업기억력 과제 수행능력과 상관관계가 있으며 특히 우뇌의 저베타

파 활성도는 시공간 작업기억력이 위치한 곳이 우반구 영역임을 고려할 때 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 또한 통계적인 유의미 수준에는 도달하지 못했지만 알파파와 세타파의 집단간의 활성도 차이 역시 시공간 작업기억력과 상관관계가 있을 것으로 추론할 수 있어 안정 상태에서 얻어진 뇌파의 활성 차이로 인해 시공간 작업기억력을 예측하는데 활용할 수 있을 것이다.

본 연구의 결과가 시공간 작업기억력과 안정 상태의 뇌파 특성과 상관관계를 연구했다는 점에서 연구의 의의가 있으며 특히, 아동 청소년의 시공간 작업기억력과 관련된 전전두엽과 두정엽의 기능적 뇌 발달 상태도 뇌파의 활성도로 예측할 수 있으며 뇌파를 측정하는 직접적인 방식으로 신경생물학적 특성을 정량화하여 이해하는데 도움이 되고 시간과 비용면에서도 효율적일 것이다. 향후 뇌파의 활성도가 작업기억력 평가 도구와 근거자료로써 활용될 수 있기를 기대한다.

References

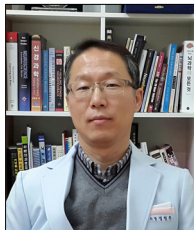
- [1] Baddeley, A., "Working Memory: looking back and looking forward", *Nature Neuroscience*, 4, pp. 829-839, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nrn1201>
- [2] Baddeley, A. D. & Hitch, G., "Working Memory", In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, 8, pp. 47-89, New York: Academic Press, 1974.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60452-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60452-1)
- [3] Baddeley, A., "The episodic buffer: a new component of working memory", *Trends in Cognitive Science*, 4, pp. 417-423, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- [4] Linden, D. E. J., "The Working Memory Networks of the Human Brain", *Neuroscientist*, 13, pp. 257-267, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1073858406298480>
- [5] Todd, J.,J. & Marois, R., "Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex". *Nature* 428, pp. 751-754. 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature02466>
- [6] Vogel, E.K. & Machizawa, M.G. "Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity", *Nature* 428, pp. 748-751, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature02447>
- [7] Torkel Klingberg, Hans Forssberg, and Helena Westerberg., "Increased Brain Activity in Frontal and Parietal Cortex Underlies the Development of visuospatial Working Memory Capacity during Childhood", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(1), pp. 1-10, 2002.

- DOI: <http://dx.doi.org/10.1162/089892902317205276>
- [8] Vogel, E.K., McCollough, A.W. & Machizawa, M.G., "Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory", *Nature*, 438, pp. 500-503, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature04171>
- [9] S. H. Song, & K. S. Song., "EEG based Learner working memory impairment detection", *Asian Journal of Education*, 9(4), pp. 69-89, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15753/aje.2008.9.4.004>
- [10] S. W. Kwon, M. J. Kang, D. H. Shin, & Y. J. Kwon, "Development of an EEG Based Discriminant-Scale for Scientifically Gifted Students in Elementary School", *The Korean Society of Elementary Science Education*, 25(5), pp. 556-566, 2007.
- [11] Craik FI, Govoni R, Naveh-Benjamin M, & Anderson ND., "The Effects of Divided Attention on Encoding and Retrieval Processes in human memory", *J Exp Psychol Gen.* 125, pp. 159-180, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1037/0096-3445.125.2.159>
- [12] H. I. Yoo, J. S. Lee, S. H. Kang, E. H. Park, J. S. Jung, B. N Kim., S. W. Son, T. W. Park, B. S Kim., & Y. S. Lee, "Standardization of the Comprehensive Attention Test for the Korean Children and Adolescents", *J Kor Acad Child Adolesc Psychiatry*, 20, pp. 68-75, 2009.
- [13] Dalim M, Gloraia A, Bernardo F, Alonso A., "Relationship of working memory and EEG to academic performance: A study among high school students", *Int J Neurosci*, 117(6), pp. 869-882, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207450600910077>
- [14] Jed A. Meltzer, Hitten P. Zaveri, Irina I. Goncharova, Marcello M. Distasio, Xenophon Papademetris, Susan S. Spencer, Dennis D. Spencer and R. Todd Constable., "Effects of Working Memory Load on Oscillatory Power in Human Intracranial EEG", *Cerebral Cortex*, 18, pp. 1843-1855, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/cercor/bhm213>
- [15] Julie Onton, Arnaud Delorme, & Scott Makeig., "Frontal midline EEG dynamics during working memory", *Neuroimage*, 27, pp. 341-356, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.04.014>
- [16] J. S. Yadav, Rajesh Kumar, M. N. Tripathi, S. Kaur, A. S. Srivastava, H. K. Singh., "EEG Study in Excellent and Poor Achiever Students", *Delhi Psychiatry Journal*, 13(2), pp. 300-305, 2010.
- [17] Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., gusnard, D. A., Shulman, G. L., "A default mode of brain function", *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A* 98, pp. 676-682, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- [18] Gennady G. Knyazev, Jaroslav Y. Slobodskoj-Plusnin, Andrey V. Bocharov, Liudmila V. Pylkova., "The default mode network and EEG alpha oscillations: An independent component analysis", *Brain Research*, 1402, pp. 67-79, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2011.05.052>
- [19] J. M. Seo, J. S. Lee, S. Y. Kim, & H. W. Kim., "Diagnostic Significance of Comprehensive Attention Test in Children and Adolescents with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder", *J Korean Acad Child Adolesc Psychiatry*, 22, pp. 246-252, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5765/jkacap.2011.22.4.246>
- [20] P. W. Park., "Interpretation Method of EEG", *Korea Research Institute of Jungshin Science*, 2005.
- [21] H. J. Lee., E. H. Park., C. B. Park., & H. T. Kim., "The Effect of EEG-Biofeedback on the ERP and Performance of Visuo-Spatial Task", *Korean Psychological Association Annual Conference Program & Abstract*, 0, pp. 158-159, 2000.
- [22] Myeong-Oh Ryu, Seon-Gyu Yi, & Ki-Ja Bak, "A study on the Brain function specialty based on the Maladaptive Soldier by Brain waves analysis", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 15(4), pp. 1916-1922, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.4.1916>
- [23] D. S. Kim, C. O. Choi, "Electroencephalogram", Seoul: Korean Medical Book, Publishing Company, 2001.
- [24] J. N. Demos, "Getting Started with Neurofeedback", W. W. Norton & Company, New York, pp. 112-121, 2004.
- [25] P. W. Park, "Introduction of Neurofeedback", *Korea Research Institute of Jungshin Science*, 2005.
- [26] Giyong-Im, Hee-Rae Park, Nam-Sook Choi, & Pyong-Woon Park., "A Study of Correlation between Big 5 Personality Traits and SRQ of Brain Quotient", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 16(6), pp. 3760-3768, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.3760>
- [27] K. J. Bak, P. W. Park, S. K. Ahn, "A Study on the effects of prefrontal lobe neurofeedback training on the correlation of children by timeseries linear analysis", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 10(7), pp. 1673-1679, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.7.1673>
- [28] Hee-Rae Park, Pyong-Woon Park, Gi-woon Song, & Gi-yong Lim, "Socio-Economic Effects on Brain Functions and Symptoms of Child Behavior Problems", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 16(1), pp. 462-470, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.462>
- [29] Yun-Keum Kim, Seon-Gyu Yi, & Ki-Ja Bak, "The effect of Dance as a Healing Art influential to Elderly Women's Brain Function", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 15(5), pp. 2655-2661, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.5.2655>
- [30] Y. J. Kim, H. H. Kim, J. K. Park, H. K. Chae, K. M. Kang, S. H. Cho, Y. K. Min, N. K. Chang., "The Evaluations of the Functional State of the Brain by Brain Wave Measure during Problem "Journal. of Biology Education, Seoul National University", *Korea Research Institute of Jungshin Science*, 28(3), pp. 291-301, *International Journal of Psychophysiology*, 2000.
- [31] Klimesch, W. "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis," *Brain Research Reviews*, 29, pp. 169-195, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- [32] N. Jausovec & K. Jausovec, "Working Memory Training: Improving intelligence-Changing brain

activity”, *Brain and Cognition*, 79, pp. 96-106, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.007>

- [33] Sauseng, P., Griesmayr, B., Freunberger, R., & Klimesch, W., “Control mechanisms in working memory: A possible function of EEG theta oscillations”, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, pp. 1015-1022, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.006>
- [34] Rene Scheeringa, Marcel C. M. Bastiaansen, Karl Magnus Petersson, Robert Oostenveld, David G. Norris, Peter Hagoort., “Frontal theta EEG activity correlates negatively with the default mode network in resting state”, *International Journal of Psychophysiology*, 67, pp. 242-251, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2007.05.017>
- [35] Torkel Klingberg, Hans Forssberg, & Helena Westerberg., “Training of Working Memory in Children With ADHD”, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), pp. 781-791, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1076/j.jcen.24.6.781.8395>
- [36] Steven J. Beck., Christine A. Hanson., & Synthia S. Puffenberger., “A Controlled Trial of Working Memory Training for Children and Adolescents with ADHD”, *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 39(6), pp. 825-836, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15374416.2010.517162>
- [37] Shi Xiong, Chen Cheng, Xia Wu, Xiaojuan Guo, Li Yao, & Jiakai Zhang, “Working Memory training using EEG neurofeedback in normal young adults”, *Bio-Medical Materials and Engineering*, 24, pp. 3637-3644, 2014.

정 철 우(Chul-Woo Jung) [정회원]



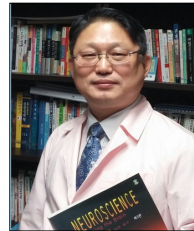
- 1994년 2월 : 부산대학교 섬유공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 뇌과학전공 (뇌과학석사)
- 2016년 2월 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 뇌과학전공 박사과정 수료

- 2005년 3월 ~ 2014년 11월 : 브레인하모니 뉴로피드백 두뇌 교육원 동래교육센터장
- 2007년 11월 ~ 현재 : (재)한국정신과학연구소 뇌교육부 교수
- 2012년 12월 ~ 현재 : 한국뉴로피드백 뇌과학연구소 소장
- 2014년 12월 ~ 현재 : 파낙토스 IBC통합뇌센터 해운대센터 센터장

<관심분야>

뇌과학, 뉴로피드백, 뇌파, 인지과학, 명상

이 협 의(Hyeob-Eui Lee) [정회원]



- 1990년 2월 : 동아대학교 경영학 학사
- 2013년 2월 : 대전대학교 (스포츠 의학 석사)
- 2014년 2월 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 뇌과학전공 박사과정 수료

- 2007년 4월 ~ 현재 : 키통성장비만센터 원장
- 2008년 6월 ~ 현재 : 국민건강체육문화진흥원 사무총장
- 2010년 2월 ~ 현재 : 대한유소년축구연맹 회장
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국비엔에스교육문화진흥원(주) 원장

<관심분야>

뇌과학, 뉴로피드백, 영양학, 중금속, 운동치료, 운동학습

위 현 옥(Hyun-Wook Wi) [정회원]



- 2012년 8월 : 백석대학교 상담대학원 가족상담학과 석사
- 2016년 2월 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 뇌과학전공 박사과정 수료
- 2013년 7월 ~ 현재 : 행복한우리심리상담센터 부소장
- 2015년 6월 ~ 현재 : 부부가족상담부모교육협회 가족상담전문가

<관심분야>

뇌과학, 뉴로피드백, 심리상담, 부부상담

최 남 숙(Nam-Sook Choi) [정회원]



- 1991년 2월 : 숙명여자대학교 작곡과 학사
- 2013년 8월 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 뇌과학전공 (뇌과학석사)
- 2016년 2월 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 뇌과학전공 박사과정 수료

- 2015년 7월 ~ 현재 : (재)한국정신과학연구소 뇌교육부 교수

<관심분야>

뇌과학, 뉴로피드백, 명상, 게슈탈트심리치료

박 병 운(Pyong-Woon Park)

[정회원]



- 1981년 8월 : 연세대학교 물리학과 (이학사)
- 1985년 8월 : 미국 Indiana대학교 물리학과 (물리학 석사)
- 1990년 9월 : 미국 Indiana대학교 물리학과 (물리학 박사)
- 1991년 1월 ~ 1994년 9월 : 한국 전자통신연구소 선임연구원
- 1994년 9월 ~ 1996년 9월 : 한국정신과학연구소 책임연구원
- 1994년 10월 ~ 1998년 12월 : 한국정신과학학회 총무이사
- 1996년 9월 ~ 현재 : 한국정신과학연구소 소장
- 1998년 9월 ~ 2012년 5월 : 브레인테크(주) 대표이사
- 1999년 1월 ~ 2006년 12월 : 한국정신과학학회 이사
- 2000년 6월 ~ 2008년 6월 : 국립치료감호소 자문위원
- 2004년 8월 ~ 2008년 2월 : 서울벤처정보대학원대학교 뇌 과학 전공 겸임교수
- 2008년 3월 ~ 2009년 8월 : 서울불교대학원대학교 뇌과학 전공 주임교수
- 2010년 9월 ~ 2016년 2월 : 서울불교대학원대학교 뇌과학 전공 주임교수
- 2011년 11월 ~ 현재 : (주)파낙토스 대표이사
- 2013년 9월 ~ 2016년 2월 : 서울불교대학원대학교 부총장
- 2014년 1월 ~ 2015년 2월 : 서울불교대학원대학교 총장대행
- 2016년 3월 ~ 현재 : 서울불교대학원대학교 석좌교수

<관심분야>

물리학, 뇌과학, 뇌과, 뉴로피드백, BMI