

반복동작에 따른 EEG의 훈련 효과

A Research on Training Effect of EEG according to Repetitive Movement of a Hand

김영주* · 황민철** · 우진철†

Youngjoo Kim* · Mincheol Whang** · Jincheol Woo†

상명대학교 컴퓨터 과학과†

Division of Computer Science, Sangmyung University, Seoul

상명대학교 디지털미디어학부**

Division of Digital Media Technology, Sangmyung University, Seoul

Abstract : This study is to find training effect on EEG(Electroencephalography) and EMG(electromyogram) evoked by repetitive movement of a hand. Five university students participated in this study and were asked to perform repetitive movement of right hand for 5 seconds with rest for 10 seconds. They repeated the movement for 48 minutes and for 5 days.

EEG and EMG were measured according to every movement. Coherence between EEG and EMG and power spectrum of EEG were analyzed and were tried to observe their changes within a day and between days of the repetitive movement. Training effect according the time of the movement was significantly found in mu and beta frequencies in EEG. However, training effect was not significant between the days of the movement and also, not in coherence between EEG and EMG.

Key words : electroencephalogram, electromyogram, training effect

요약 : 본 연구에서는 반복적인 동작 행위에 따른 뇌파의 훈련효과를 규명하고자 한다. 훈련 효과를 검증하기 위해 반복적인 동작시의 뇌파 출현량 및 EMG와 EEG의 coherence의 변화를 분석하였다. 피 실험자는 5명으로 실험 시간은 총 48분이며, 반복 일에 대한 훈련 효과를 살펴보기 위해 5일간 진행 하였다. 반복적인 동작은 손을 오므렸다 폈다 하는 행위로, 5초간의 동작실행과 10초간의 휴식시간 으로 나눠 실험하였다. 동작 유무와 반복 일에 따른 뮤파와 베타파량의 차이를 살펴 본 결과, 반복 시간에 따라 뮤파 및 베타파량이 증가되는 경향이 있었다. 그러나 5일 동안의 반복 일에 따른 훈련 효과는 보이지 않았다. 또한 EMG와 EEG의 coherence는 반복 시간과 반복 일에 대한 훈련 효과를 확인할 수 없었다.

† 교신저자 : 우진철(상명대학교 컴퓨터 과학과)

E-mail : mcun@naver.com

TEL : 02-2287-5473

FAX : 02-2287-5474

1. 서론

인간과 컴퓨터와의 기존의 의사소통 방법은 키보드나 마우스 등을 통한 별도의 입력장치를 이용하는 방법이었으나 최근 별도의 입력장치를 이용하지 않고도 다양한 생체신호를 통한 입력을 활용하게 되었다. 관련 연구로 EMG를 입력 값으로 활용하여 근육 움직임에 따라 오른쪽 클릭, 왼쪽 클릭 등을 구별할 수 있는 패턴정의를 통해 가상의 키보드를 제어 가능한 연구를 진행하였다[5]. 또한 별도의 입력 장치 없이 뇌파로 사지마비 환자에게 부착된 로봇 팔을 사용하여 인공수족을 조정하거나 컴퓨터의 마우스를 움직이도록 하여 마우스의 방향을 위, 아래로 제어하기도 하였다[14,18]. 생체신호 중에서도 뇌파는 언어나 신체의 동작을 거치지 않고 직접 컴퓨터와 연결 할 수 있는 요소로, 인간의 의도를 컴퓨터가 직접 인식 할 수 있다. 그로 인해 차세대 인터페이스 및 기존의 입력장치로는 의사소통이 불편한 사용자들을 위한 복지형 인터페이스가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

뇌파를 통한 인터페이스는 자발뇌파(EEG), 유발뇌파(ERP) 및 피질뇌파(ECoG)등 다양한 방법으로 측정하여 적용하고 있다. 그 중에서 동작과 관련된 뇌파 성분을 이용한 BCI는 가장 광범위하게 연구되어 왔다[19]. BCI 초기부터 뇌파의 자발적 EEG 신호의 특성을 이용하여 뮤파와 베타파 등을 조절하는 훈련을 해왔으며[2,6], 동작 수행 시에 사지의 대측 운동피질의 활성화로 인해[9] 뇌파 특성을 잘 확인할 수 있는 장점을 가지고 있어 움직임과 연관 지어 BCI 시스템에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 동작과 직접 관련된 ERD(event related desynchronization)와 ERS(event related desynchronization)를 통해 손과 발 등이 간단한 동작을 취하거나, 생각하는 동안의 뇌파를 측정하여, 방향을 구분하거나 동작 부위를 구분하는 훈련을 진행하기도 하였다. 훈련 결과 뇌파 훈련 후 초반보다 명령 구분 성공률을 80%까지 향상됨이 확인

되었다[14,15]. 따라서, 동작 수행시 감각운동피질을 통해 동작과 관련한 뇌파 특성의 정확성은 훈련에 따라 증가됨을 알 수 있다. Wolpaw(2002)는 뇌파를 통한 마우스 커서를 상하, 좌우 원하는 방향으로 제어할 수 있도록 훈련하여, 1차원의 경우 90%, 2차원의 경우 65%의 정확성을 나타내었다[18,19]. 그러므로 뇌파 훈련이 계속될수록 자동적인 피드백(biofeedback)에 의해 집중만으로도 뇌파는 조정됨을 알 수 있다. 그 밖에도 56개의 채널에서 필터링을 거친 30개의 EEG 채널을 통해 50회의 반복 과정을 통하여 물리적인 움직임 없는 휴식과 손동작에서 개인마다 차이를 발견할 수 있었으며, 정신적 훈련을 통해 각 개인별 32~92%까지 뇌파 분류의 정확성을 높일 수 있었다[3]. 이러한 훈련 과정은 뇌파 훈련을 통해 동작과 관련한 뇌파 변수를 향상시킴을 보인다. 또한 특정한 뇌파 성분인 알파나 델타의 훈련을 통하여 심신의 안정을 유도하는 뉴로피드백(Neurofeedback)훈련으로 병의 진단 및 치료 활용에 뇌파 훈련이 사용되고 있다[11,13]. 자폐증을 지닌 경우 일반인보다 지나친 뮤파의 출현량을 볼 수 있는데 자폐증 어린이의 뉴로피드백 훈련 후 뮤파(8-13Hz)의 파워 및 채널간의 coherence의 감소를 보였으며, 주의력은 증가되었다[16]. 또한 알파와 세타의 뉴로피드백 훈련은 이완상태를 유지시켜 주어 알콜 중독자나 약물중독에 도움을 주거나 일반인에게는 음악적 감성을 증가시켜주기도 한다. 이러한 연구들은 훈련 시간이 증가될수록 세타/알파 비율의 증가를 확인 할 수 있었으나, 훈련으로 인한 성격 변화는 확인할 수 없었다[17]. 또한 베타영역의 주파수 대역별 훈련에서는 SMR(sensorimotor rhythm: 12- 15Hz) 경우는 주의 집중 시에, 15-18Hz 대역의 베타파가 긴장과 밀접한 것으로 보고되었다[7]. 그러므로 주의 집중 훈련을 통해 뇌파 활성화 정도에 따른 주파수 대역별 차이가 있음을 알 수 있었다. 그러나 동작의 반복 훈련을 통한 EEG의 변화와 반복 훈련에 의한 EMG와 EEG의 coherence의 변화에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 반복 동작에

대한 EEG의 주파수 대역별 훈련효과 및 EMG와 EEG에 대한 coherence 훈련효과를 분석 하고자 하였다.

2. 연구 방법

동작으로 유발된 뇌파의 반복 동작에 대한 훈련 효과를 분석하기 위해 같은 동작의 반복 훈련에 따른 EEG의 출현량과 EEG와 EMG와의 coherence 변수의 변화에 차이가 있음을 가설로 설정하여, 통계적 검정을 하고자 한다.

2.1 실험설계

가설 1. 반복 동작시와 휴식시의 주파수 대역별 출현량에는 차이가 있다.

가설 2. 반복 동작시와 휴식시의 EMG와 EEG의 coherence는 차이가 있다.

가설 3. 동작 및 휴식시의 EEG는 반복훈련에 따라 차이가 있다.

본 연구에서는 위의 가설을 증명하기 위해서 종속 변수로는 주파수 대역별 뮤파와 베타파의 출현량, 휴식 대비 동작(활성비), EMG와 EEG의 coherence를 측정하였다. 독립 변수로는 행위(동작, 휴식) 및 반복 수행시간(반복일, 반복 시간)으로 정의하였다. 참여한 피실험자는 5명이며, 20대 중반의 신체 건강한 대학생을 대상으로 하였다. 피실험자에게 LED를 통한 시각 자극에 따른 동작(움직임을 최소화하고 있는 경우, 손을 쥐는 행위를 하는 경우)을 시행하였다. 실험 시간은 5분의 실험시간과 3분의 휴식시간을 포함하여 총 48분으로 구성되며, 실험 시에는 5초의 동작 준비와 5초의 동작 진행, 5초의 휴식시간으로 총 15초간의 동작 및 휴식을 반복하여 실시하였다. 위와 같은 반복 훈련은 5일간 지속

적으로 실시하였다. 피실험자가 바라보는 모니터 전면에는 LED를 제시하였다. LED의 작동은 5초간 지속되며, 피실험자가 화면을 보고 있다가 LED가 점등되었을 때(초록색 불이 들어옴)는 가볍게 손을 쥐는 행위를 취하고 LED가 꺼지게 되면 움직이지 않고 편안한 상태를 유지하는 방식으로 실험이 진행되었다.

뇌파 신호를 처리하기 위해 측정된 방법은 그림 1에서 제시한 바와 같이 국제 10-20 방식에 의하여 C3과 그 주변의 앞뒤 좌우에 2.5cm의 간격을 두고 4개의 전극을 부착하였다. 또한 귓볼과 외이하연점에 접지점(ground)을 설정하였다. EMG는 오른손의 요측수근굴근 상, 하에 EMG 센서를 부착하고 척골 경상돌기에 접지점을 설정하였다.

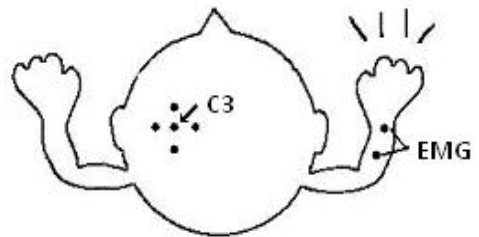


그림 1. EEG 및 EMG 센서 위치

EEG 및 동작의 EMG를 측정하기 위해 Biopac사의 MP100을 이용하여 200Hz의 샘플링(sampling)을 하였다. 데이터의 수집 및 분석을 위해 National Instrument사의 Labview 8.2를 사용하여 구현하였다.

2.2 데이터 분석

뇌파는 집중에 따른 변화가 민감하기 때문에 본 실험에서는 모든 피실험자가 동일한 집중 상태를 가지지 않는 것으로 판단하였다. 따라서 데이터 분석

시 베타파의 변화를 근거로 피실험자가 집중한 영역이라고 판단되는 전체 120회 반복 동작 중에 집중된 상태로 판단되는 40회를 분석하였다.

개인마다 손동작 유무에 따른 EEG를 분석하기 위해 동작에 의해 발생된 EMG의 활성 정도에 따라 동작의 유무를 판단하였다. 노이즈 영향이 최소인 EEG를 위해 ICA(independent component analysis)로 처리하였다. 아래 식 (1)~(4)와 같이 시간(t)에 측정된 신호 x(t)는 미지의 외부 노이즈 A와 원신호 s(t)의 결합된 신호이다. 외부의 노이즈를 제거하기 위해 \hat{s} 을 이용하여 A의 역행렬을 통해 본래의 신호 s(t)를 추출한다. 따라서 측정된 신호는 일정한 시간(i=1...n)에 따른 누적된 함수로 표현된다.

$$x(t) = As(t) \quad A: \text{mixingmatrix} \quad \text{식 (1)}$$

$$\hat{s} = Ws(t) \quad W: \text{seperationmatrix} \quad \text{식 (2)}$$

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_n], \quad W \approx A^{-1} \quad \text{식 (3)}$$

$$x(t) = \sum_{i=1}^n a_i s_i(t) \quad \text{식 (4)}$$

ICA에 의해 분석된 EEG는 EMG와의 coherence를 얻기 위해 식 (5)에서와 같이 두 신호간의 크로스 스펙트럼($P_{ab}(f)$)의 자승에서 각각의 오토스펙트럼 $P_{aa}(f)$, $P_{bb}(f)$ 의 곱으로 나누도록 하였다 (Grosse et al., 2002).

$$\text{Coherence } C_{ab}(f) = \frac{|P_{ab}(f)|^2}{P_{aa}(f)P_{bb}(f)} \quad \text{식 (5)}$$

위와 같이 계산된 coherence 값 중에서 5개의 채널 중에 가장 높은 coherence를 획득한 1개의 채널을 선택하였다. 선택된 채널은 1초마다 FFT(fast Fourier transform) 처리 후 주파수 대역별(뮤파 : 8-12Hz, 베타파 : 13-30Hz) 차이를 살펴보고자 대역별 진폭의 합을 이용하여 뮤파 및 베타파량을 계산

하였다. 동작 유무에 따른 coherence 및 주파수 대N

3. 결과

개인별 동작과 휴식시의 주파수별 뇌파 출현량은 표 1에서 제시된 바와 같이 대부분 휴식시보다 동작시가 뇌파 출현량이 더 크게 나타나는 경향을 보이며, 그림 1~5에서 제시된 것처럼 뮤파 대역에서 통계적 유의 수준으로 변화를 확인할 수 있었다 ($p < 0.05$).

표 1. 개인별 동작과 휴식시의 뮤파 및 베타파량

		동작 여부	N	평균	표준 편차	p값
A	뮤파	동작	230	0.042	0.027	0.012
		휴식	354	0.048	0.035	
	베타파	동작	233	0.058	0.029	0.183
		휴식	352	0.061	0.032	
B	뮤파	동작	232	0.056	0.03	0.873
		휴식	343	0.056	0.035	
	베타파	동작	232	0.075	0.03	0.858
		휴식	344	0.075	0.029	
C	뮤파	동작	240	0.067	0.032	0.004
		휴식	342	0.058	0.04	
	베타파	동작	242	0.094	0.047	0.723
		휴식	337	0.096	0.055	
D	뮤파	동작	231	0.061	0.019	0.013
		휴식	355	0.057	0.021	
	베타파	동작	226	0.102	0.035	0.135
		휴식	351	0.098	0.032	
E	뮤파	동작	222	0.028	0.009	0.000
		휴식	333	0.022	0.006	
	베타파	동작	234	0.049	0.008	0.000
		휴식	330	0.046	0.006	

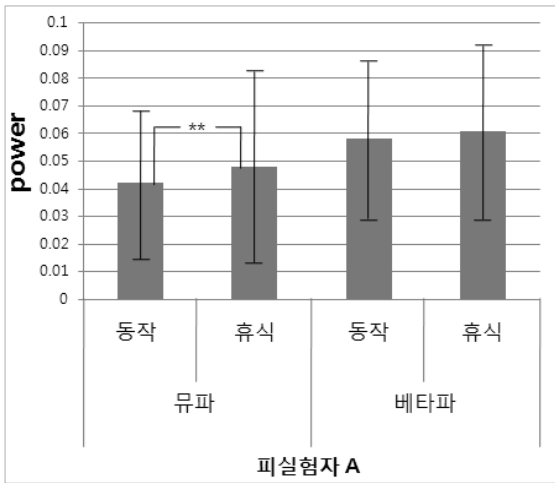


그림 1. 동작유무의 따른 뇌파량 비교(피실험자 A)

피실험자 B는 동작과 휴식간의 변화가 거의 존재하지 않아서 뮤파 대역에서도 유의미한 차이를 발견할 수 없었다.

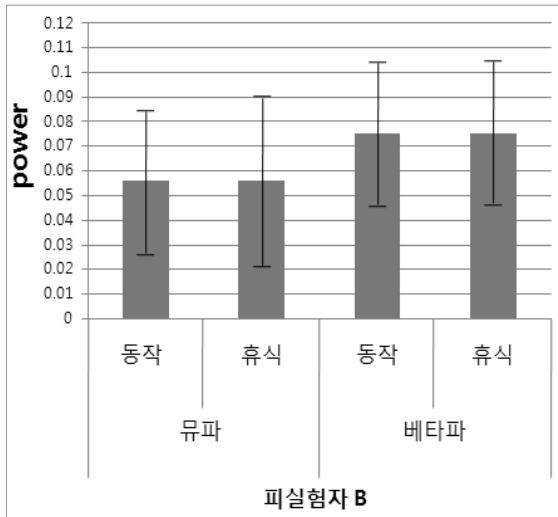


그림 2. 동작유무의 따른 뇌파량 비교(피실험자 B)

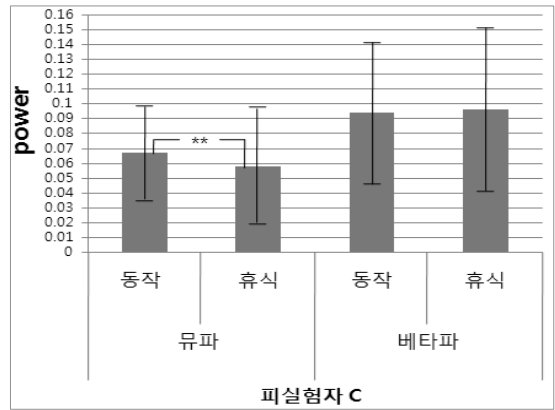


그림 3. 동작유무의 따른 뇌파량 비교(피실험자 C)

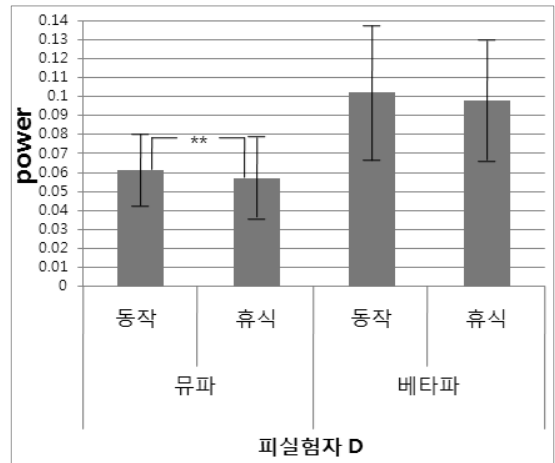


그림 4. 동작유무의 따른 뇌파량 비교(피실험자 D)

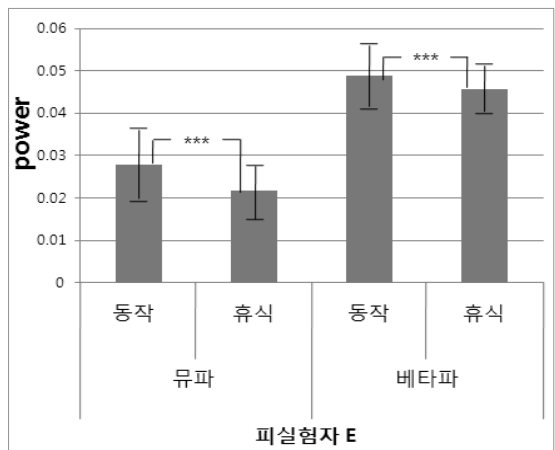


그림 5. 동작유무의 따른 뇌파량 비교(피실험자 E)

피실험자 E는 동작과 휴식간의 뇌파 변화량에서 뮤파 뿐만 아니라 베타파 영역도 유의미한 차이를 발견할 수 있었다.

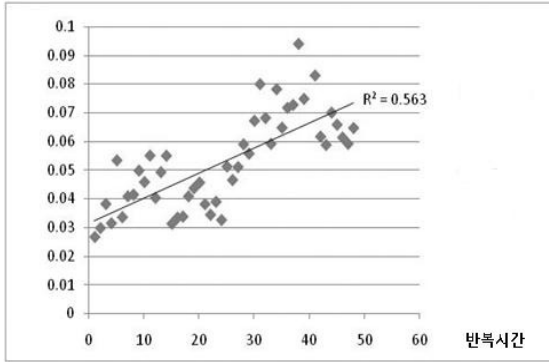


그림 6. 반복 시간별 동작상태의 뮤파량 변화(피실험자 A)

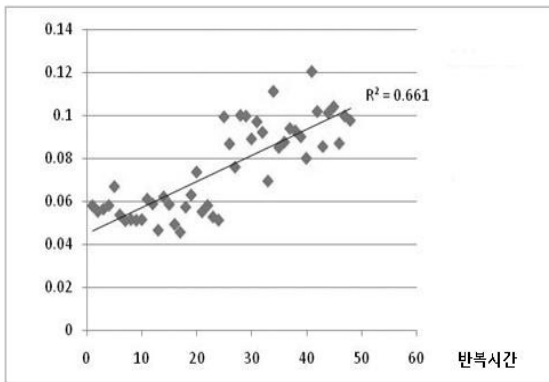


그림 7. 반복 시간별 동작상태의 베타파량 변화(피실험자 A)

각 피실험자별 동작의 반복시간에 따른 뇌파 출현량을 살펴본 결과, 반복시간이 증가할수록 그림 6과 그림 7에서와 같이 뮤파 및 베타파량이 증가하는 양상을 보였다. 그러나 동작과 휴식에 따른 coherence를 살펴본 결과 동작유무에 따른 유의미한 차이가 없었다. 그림 8에서 제시된 바와 같이 피실험자의 약 88%는 동작의 반복 시간이 증가할수록 뮤파가 증가하고, 베타파의 증가는 76%를 차지하였다. 또한 휴식대비 동작시의 변화량을 살펴본 결과 뮤파 및 베타파 모두 전체의 47%정도는 증가

를 한 반면, 53%정도는 변화가 없거나 약간 감소하는 경향을 나타내었다.

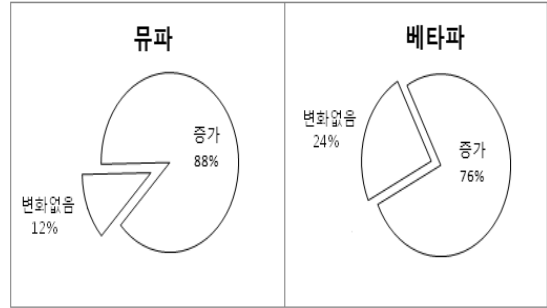


그림 8. 동작유무에 따른 뇌파 훈련 결과

표 2. 개인별 동작 유무에 따른 뇌파 변화정도

피실험자	동작유무	기울기	R ²
A	동작	0.001-0.002	0.5
	휴식	0.000-0.001	
B	동작	0.001-0.002	0.5
	휴식	0.000-0.003	0.6
C	동작	0.001-0.002	0.6
	휴식	0.000-0.001	0.6
D	동작	0.000-0.001	0.2
	휴식		
E	동작	0.000-0.001	0.0
	휴식		

표 2는 피실험자별 동작 시간에 따른 뇌파 출현량에 대한 회귀식에 대한 R2를 제시하고 있다. 대부분 선형 양의 관계를 보이고 있으며 미세한 기울기는 뇌파의 출현량에 대한 수치 레벨에 의한 것이라고 보여진다. R2가 0.5 이상인 수준에서 개인마다 차이가 있으나, 0~0.003까지 분포됨을 알 수 있었다. 본 연구에서 반복횟수 이상의 수준이 진행된다면 이 기울기가 향상될지는 흥미로운 연구 가설이 될 수 있다고 사료된다.

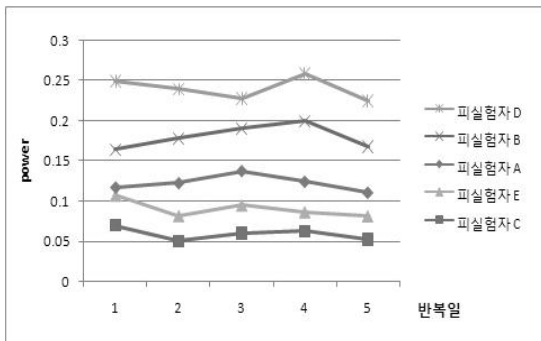


그림 9. 반복 일에 따른 뇌파 훈련 결과

반복일에 따른 훈련에서는 그림 9에서 제시된 바와 같이 뇌파 변화량의 유의미한 차이를 확인 할 수 없었다. 또한 동작에 따른 coherence를 살펴본 결과 반복 시간 및 반복일에 따른 유의미한 차이가 없었다. 그러므로 동작을 반복하는 날이 증가 된다고 해도 EEG에 대한 훈련 효과는 없다고 볼 수 있다.

4. 결론 및 논의

본 연구에서는 반복 동작에 따른 EEG와 EMG의 훈련효과를 분석하였다. 훈련효과는 실험에 대한 집중에 따른 영향이 크므로, 집중시의 뇌파데이터를 분석하기 위해 개인별로 베타파의 향상이 보이는 부분을 추출하여 분석하였다. 5일간의 동작과 휴식이 반복되는 과정을 통해 뇌파의 변화와 EMG와 EEG의 coherence를 살펴보았다. 가설 1의 검증 결과 동작과 휴식시의 뮤파와 베타파량은 기존의 연구에서와 같이 개인 별로 차이를 보였으며[3], 가설 3은 동작이 반복될수록 뮤파와 베타파량이 증가됨을 알 수 있었으나, 반복일과는 상관없음을 확인 할 수 있었다. 이러한 점은 단시간의 훈련 효과가 장기적으로 지속되기에는 5일간의 반복 행위가 뇌파 특성에 영향을 미치기에는 부족한 기간임을 알 수 있었다. 그리고 반복 동작 행위 시 개인별로 동작에 대한 집중도와 동작 유무에 대한 인지차이로 인해 다양한 뇌파 출현량의 증감에 따른 개인 차이

를 발견할 수 있었다.

또한 가설 2의 동작 유무에 따른 coherence의 변화와 반복시간별 coherence의 변화는 아무런 차이가 없었다. 따라서 5일간의 반복적인 훈련은 동작행위에 대한 학습으로 완전하게 조정되지 않음을 의미하여, 동작에 의한 뇌파의 coherence에는 아무런 효과를 미치지 않는 것으로 보인다.

본 연구는 앞으로 개인별 집중 정도를 객관적으로 판단할 수 있는 생리신호를 추가하여 연구함으로써, 동일한 집중에 따른 실험 설계가 가능할 것으로 판단된다. 또한 반복동작이 학습될 수 있는 훈련시간에 대한 유의미한 반복 일수에 대한 연구도 차후 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 김응수, 신동선, 양은주, 조덕연, 이유정(2002), 다양한 정신상태에 의한 뇌파신호의 ICA 분석과 기능영역추정에 관한 연구, 한국정보통신연구진흥원.
- [2] 황민철, 고상태, 김규태, 정병용(2007), 뇌 컴퓨터 인터페이스를 위한 뇌파와 동작 인지와 동기화에 관한 연구, 대한인간공학회지 26-2권.
- [3] Abbas, E. and Babak, M.(2003), A Natural EEG-based. Brain-computer interface for hand grasp control: the role of mental practice and concentration, Proc. 8th Annual. Conference International Functional Electrical Stimulation Society.
- [4] American Electroencehalpgraphic Society, (1994), Guideline Thirteen: Guidelines for standard electrode position nomenclature. J. Clin. Neurophysiol. 11, 111-113.
- [5] Choi, C., Kim, T.J.(2007), A Real-time EMG-based Assistive Computer Interface for the Upper Limb Disabled, IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, 459-462.

- [6] Dewan, E. D.(1967), Occipital alpha rhythm , eye position and lens accommodation. *Nature.*, 214, 975-977.
- [7] Egner, T., Gruzelier, J.H.(2004), EEG Biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials, *Clinical neurophysiology* 115, 11, 131-139.
- [8] Grosse, P., Cassidy, M. J. and Brown, P. (2002), EEG-EMG, MEG-EMG and EMG-EMG frequency analysis: physiological principles and clinical applications, *Clinical Neurophysiology*, Volume 113, 1523-1531.
- [9] Halliday, D.M., Conway, B.A., Farmer, S.F. and Rosenburg, J.R.(1998), Using electroencephalography to study functional coupling between cortical activity and electromyograms during voluntary contractions in humans, *Neuroscience Letter*, 241, 5-8.
- [10] Mat Safri,N., Murayama,N., Hayashida,Y., Igasaki, T.(2007), Effects of concurrent visual tasks on cortico-muscular synchronization in humans. *Brain Res*, Vol. 1155,81-92.
- [11] Monastra, V.J., Lynn, S., Linden, M., Lubar, J.F., Gruzelier, J., LaVaque, T.J.(2005), Electroencephalographic Biofeedback in the Treatment of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder, *Psychophysiol Biofeedback*, 30(2), 95-114.
- [12] Murthy, V. N. & Fetz, E. E.(1992), Coherent 25-hz to 35-hz oscillations in the sensorimotor cortex of awake behaving monkeys. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 89, 5670-5674.
- [13] PG Swingle(1998), Neurofeedback treatment of pseudoseizure disorder, *Biological Psychiatry*, Volume 44, Number 11, 1196-1199.
- [14] Pfurtscheller, G., Flotzinger,D., Pregenzer, M., Wolpaw, J.R., McFarland, D.(1996), EEG-based brain computer interface (BCI). Search for optimal electrode positions and frequency components. *Med Prog Technol* 21, 111-121.
- [15] Pfurtscheller, G. and Neuper, C.(2001), Motor imagery and direct brain-computer communication, *Proc IEEE* 89, 1123-1134.
- [16] Pineda, J.A., Brang, D., Hecht, E., Edwards, L., Carey, S., Bacon, M., Futagaki, C. Suk, D., Tom, J., Birnbaum, C. and Rork, A.(2008), Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism, *Research in Autism Spectrum Disorders*.
- [17] Raymond, J., Varney, C., Gruzelier, J.H. (2005)The effects of alpha/theta neurofeedback on personality and mood, *Cognitive Brain Research*, 23, 287-292.
- [18] Wolpaw, J.R., McFarland, D.J. and Vaughan, T.M.(2000), Brain-computer interface research at the Wadsworth Center. *IEEE Trans Rehabil Eng* 8, 222-225.
- [19] Wolpaw J.R., Birbaumer, N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G., Vaughan, T.M.(2002), Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology* 113, 767-791.

원고접수 : 08/05/06

수정접수 : 08/07/19

게재확정 : 08/09/05