

투렛증후군의 틱 반응 억제 시험을 통한 뉴로피드백 생체신호 지표 개발 시론

A Study for the Development of Neurofeedback Biosignal Index for Tic Response Suppression Test of Tourette's Syndrome

우정권*, 김원식**

단국대학교 자유교양대학*, (주)후원/한의학연구원**

Jeong-Gueon Woo(jgwoo8@hanmail.net)*, Wuon-Sik Kim(wskim5471@gmail.com)**

요약

투렛증후군 환자에게서 뮤파(Mu wave) 동기화가 깨졌을 때 틱이 발생하고, 그 반대로 뮤파 동기화를 이루면 틱이 발생하지 않는다. 연구시험 결과는 전운동피질(Frontal Cortical 3 사이트)에서 뮤파 동기화를 틱 환자가 인위적으로 하지 않고 뉴로피드백 훈련처럼 자율적으로 뇌파 조절이 이뤄진다면 마찬가지로 결과로 틱이 발생하지 않는다는 사실을 시사한다. 피시험자에게 틱을 억제시켰을 때 인지 제어 반응 프로세스가 변경된다. 변경된 인지 제어를 뇌파 주파수 파워를 조절하는 뉴로피드백으로 훈련하면 환자가 인위적으로 틱을 억제하지 않아도 자율적으로 치료가 된다. 연구시험 결과는 뇌 운동영역의 뮤파 통제를 통해 틱이 발생하지 않는 생체신호 지표가 뉴로피드백 훈련의 치료프로토콜이 될 수 있는 단초를 마련하였다. 기존 뉴로피드백 치료 프로토콜인 SMR강화, 세타파-베타파 불균형 수정, 알파파 강화 등에 뮤파 강화를 추가할 수 있게 되었다. 본 연구가 투렛증후군 환자 치료법인 뉴로피드백 치료 프로토콜을 보다 과학적으로 검증하는 후속 연구와 임상시험에 활용될 것이다.

■ 중심어 : | 투렛증후군 | 틱 | 뉴로피드백 | 뇌파 | SMR | 뮤파 |

Abstract

In patients with Tourette's syndrome, a tic occurs when Mu wave synchronization is broken. Conversely, when Mu wave synchronization is achieved, a tick does not occur. When the tic is suppressed, the cognitive control response process is changed, and if the neurofeedback training that adjusts the EEG frequency power is performed with the changed, the patient will be treated autonomously without artificially suppressing the tic. The results of the research test suggest that if the tic patient does not artificially synchronize mu waves in the premotor cortex (Frontal Cortical 3 site), and if EEG control is performed autonomously like neurofeedback training, as a result, tics do not occur. Cognitive control response processes are altered when a subject is inhibited from tics. By training the altered cognitive control with neurofeedback that modulates EEG frequency power, the patient can be treated autonomously without artificially suppressing the tic. Mu-wave synchronization can now be added to existing neurofeedback treatment protocols such as SMR reinforcement, theta-beta-wave imbalance correction, and alpha-wave reinforcement. This study will be used in follow-up studies and clinical trials to more scientifically verify the neurofeedback treatment protocol, a treatment for patients with Tourette's syndrome.

■ keyword : | Tourette's Syndrome | Tic | Neurofeedback | EEG | SMR | Mu Wave |

접수일자 : 2022년 08월 05일

수정일자 : 2022년 09월 30일

심사완료일 : 2022년 10월 06일

교신저자 : 우정권, e-mail : jgwoo8@hanmail.net

I. 서론

투렛증후군(Tourette syndrome)은 근육이 불수의적으로 반복적으로 움직이는 특성을 지니고 있으며 운동 틱과 음성 틱이 동시에 1년 이상 지속적으로 나타나는 신경정신질환이다[1].

투렛증후군은 신경생리학 및 신경해부학적으로 CSTC(Cortico-Striato-Thalamo-Cortical)회로의 이상[2], 피질 및 피질 아래 영역의 이탈적 활성화[3], 그리고 전두영역(frontal lobe) 부위에 영향을 미치는 인지 제어(cognition control)에 관련된 프로세스 변경[4] 등에 의해 일어난다. 인지 제어는 대상피질(cingulate cortex)과 전전두엽(prefrontal cortex)에서 뇌의 반응 제어 네트워크를 이루는 구성을 통제하여[5] 생각, 감정, 행동을 의도적으로 선택하고 부적절한 습관적 행동을 억제하는 것을 말한다[6]. 즉, 전두엽, 두정엽 및 CSTC의 서로 다른 층 사이의 피질 상호작용에서 나타나 감각 신호를 행동 출력으로 결합시킨다[7].

결국 투렛증후군은 인지 제어 기능의 결함으로 인해 행동 출력의 과정에 문제가 있어 발생하는 정신질환이라 할 수 있다.

본 연구팀은 틱 반응 억제를 통해 인지 제어 기능의 결함으로 생긴 투렛증후군의 뉴로피드백 생체신호(뇌파, 근전도, 심전도 등) 지표를 찾기 위해 연구임상시험을 실시하였다. 틱 반응 억제가 일어나는 과정은 뇌파 주파수 대역과 파워에 변화가 생겨났음을 의미한다. 뇌파 주파수 대역과 파워 조절을 통해 치료하는 방법으로 뉴로피드백(Neurofeedback)이 있다. 뉴로피드백은 환자의 뇌가 지금 무엇을 하고 있는지를 보여주어 환자 스스로 뇌의 기능 장애를 떨쳐버릴 수 있도록 돕는 치료법이다[8]. 뉴로피드백 훈련이 다양한 신경정신질환 치료에서 효과 높음이 입증되었고[9], 투렛증후군 치료에서도 효과가 있음이 Messerotti Benvenuti[10]와 Tansy[11] 등이 밝혀냈다.

본고의 연구 목적은 틱 반응 억제 임상시험을 통해 얻어진 결과로 뉴로피드백 훈련의 생체신호 지표를 찾는 데 있다. 즉, 틱 발생을 억제시켰을 때 나타나는 생체신호의 변화와 CSTC회로 네트워크의 변화를 뉴로피드백 훈련을 통해 정상화 기능으로 복원시킬 수 있는

단초를 찾는 데 있다. 본고의 논지 전개는 II장에서 임상시험 방법과 결과, 의미 고찰을 기술하고, III장에서 임상시험 결과를 토대로 틱 발생을 억제시킬 수 있는 방법을 논의하고, IV장에서 틱을 억제시킬 수 있는 영상콘텐츠 제어 방법을 밝히도록 하겠다.

II. 임상시험 방법과 결과

1. 방법

본 연구팀은 **대학교병원에서 2020년부터 2021년까지 96명의 아동 및 청소년을 대상으로 탐색임상시험을 하였고, 그들 중 6명을 대상으로 연구임상시험을 하였다. 본고에서는 6명 중 한 명을 대상으로 집중적으로 연구임상시험 결과를 분석하겠다. 한 명만을 선택한 이유는 다음과 같다. 임상시험을 하면서 뇌파 측정 센서가 전식 타입이기 때문에 시간이 지나면서 전극 연결이 끊어지는 채널수가 증가하는 문제, 장애 아동들이라 보니 억제 세션과 방출 세션을 요령을 제대로 따라주지 못하는 등의 문제가 발생하여 그 중 가장 완전한 상태에서 시험이 이뤄준 9살 남자 아이를 대상으로 하였다.

환자는 오른팔에 틱 장애가 있는 환자로서 Computerized 40Channel qEEG System(Bios-S40, Biobrain Inc., Korea)을 사용하여 32채널의 뇌파(EEG)와 심전도(ECG), 근전도(EMG) 각 1개 채널을 측정하였다. 실험을 틱 억제 세션과 방출 세션으로 구성하여 각 세션당 3분씩 시행하였다. 순서는 ①EO(눈뜨 상태) 3분, ②EC(눈감은 상태) 3분, ③EO(눈뜨 상태) 3분, ④EC(눈감은 상태) 3분으로 구성되었으며 4개 세션으로 시험하였다. 각 세션 동안 [그림 1]에서 볼 수 있듯이, 환자는 컴퓨터 모니터 중앙에 있는 십자 표시를 본다.



그림 1. 틱 환자 생체신호 측정 장면

[그림 2]는 틱 발생 위치인 오른팔에 빨강색 원으로 표시하였다.

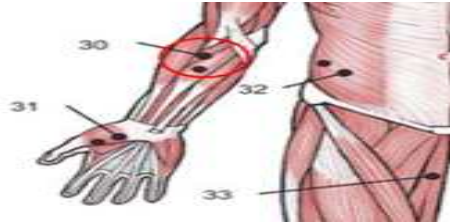


그림 2. 틱 위치(빨강원)

분석된 채널은 10-10 전극 배치 시스템, 단극유도 방식으로 보조 운동피질과 전운동 피질의 경우 녹색 원으로, SMC(Sensory Motor Cortex)의 경우 파란색 원으로, 후두엽 피질의 경우 보라색 원으로 표시하였다.

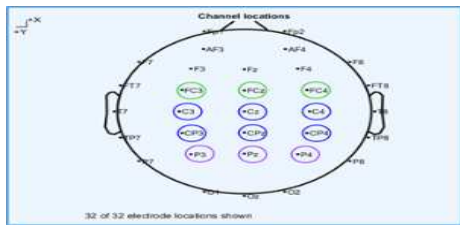


그림 3. 뇌 전극 위치

환자 근육의 불수의적 행동으로 틱이 나타나기에 뇌의 운동영역의 뇌파 변화를 주의 깊게 관찰하였다. 알파(Alpha)파와 동일한 주파수 대역인 뮤(Mu)파가 근육이 쉴 때 뇌의 운동영역에서 잘 관측되었다. 이것이 틱 반응 억제 훈련에서 어떤 변화가 일어나는지를 관찰하기 위해 뮤파 주파수 대역(8-13Hz)에 대한 파워, 전체 주파수 범위(4-25Hz)를 뮤파 주파수 대역에 대한 파워 비율로 나눈 값, 뮤파 주파수 대역의 스펙트럼 피크에 대한 전력(8-10Hz), 전체 주파수 범위로 나눈 뮤파 주파수 대역의 스펙트럼 피크에 대한 파워 비율은 EEGLAB 도구 상자와 함께 MATLAB R2021a (MathWorks, Natick, MA, United States)를 사용하여 각 12개 전극 사이트에서 계산하였다. 각 세션에 대한 4개의 세션에 대해 파워를 분석했다. 세션을 틱 억제와 방출 세션으로 나눠 실행하였다. 세션을 억제 여부로 나눈 것은 인지 제어 기능이 정상적으로 작동시키기 위한 치료법을 찾기 위해서다. 세션은 각 20초로 틱이 시작하기 직전

에 선택되었다. 두 세션간의 뮤파 주파수 파워 차이를 조사하기 위해 SPSS 24(IBM, Armonk, NY, United States)를 사용하여 t-테스트의 쌍을 이루는 샘플을 분석했다. 임상연구 시험은 **대학교병원 윤리심사위원회 (IRB. No. 2020-06-13)의 승인을 받아 시행하였다.

2. 결 과

쌍을 이루는 샘플 t-테스트는 뮤파(Mu wave) 및 뮤파의 스펙트럼 피크(Mu-SP)의 파워 변수에 대한 억제 세션과 방출 세션 사이의 뇌 전극 위치 FC3(Frontal Cortical3)[그림 3]에서 유의미한 차이와 전력 비율, 즉 뮤파 파워 분할을 보여주었다. 전체 주파수 범위 (Mu/all)에서의 파워와 전체 주파수 범위에서의 파워 스펙트럼(Mu-SP/all)으로 나눈 뮤파 대역의 스펙트럼 피크 파워는 [표 1]과 같다.

표 1. FC3 뮤파 파워 및 FC3 파워 비율

Sessions	Power at FC3[10*log(μV^2)]		Power Ratio at FC3			
	Mu	Mu-SP	Mu/all	Mu-SP/all		
Suppress (n=4)	21.59 (6.70)	17.48 (5.70)	0.43 (0.04)	0.34 (0.04)		
Spontaneous (n=4)	9.73 (3.51)	6.43 (2.21)	0.35 (0.01)	0.23 (0.03)	=0.047	=0.007

모든 값은 괄호 안에 표준 편차가 있는 평균을 나타낸다. n은 세션수를 나타내는 것이다. Mu파는 Mu 주파수 대역의 파워(8-13Hz), Mu-SP는 Mu 주파수 대역의 스펙트럼 피크 파워(8-10Hz), all은 전체 주파수 범위(4-25Hz)의 파워이다. 12개 전극에서 억제 세션[그림 4]에서 뮤파 파동이 동기화된 반면, 방출 세션[그림 5]에서는 비동기화되었다. 그 결과 FC3에서 틱 방출 세션에 비하여 틱 억제 세션에서 뮤파 파워 및 뮤파 파워의 전체 파워에 대한 비율이 모두 유의하게 더 컸다(p<0.05).

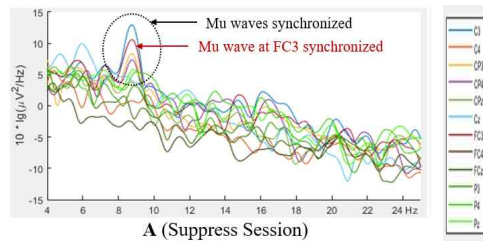


그림 4. 뮤파 억제 세션의 파워 스펙트럼 밀도

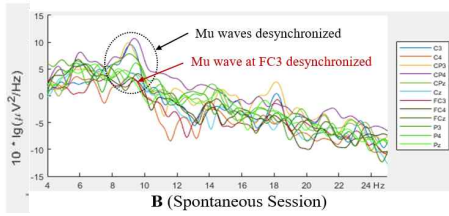


그림 5. 뮤파 방출 세션의 파워 스펙트럼 밀도

본 연구 결과는 뮤파 동기화가 깨졌을 때 틱이 발생하고, 그 반대로 뮤파 동기화를 이루면 틱이 발생하지 않는다는 것을 보여준다. 즉, 뮤파 동기화 여부가 틱 발생 여부에 영향을 미친다는 점이다.

3. 고찰

뮤파 동기화가 투렛증후군 증상을 완화시켰다는 임상시험 보고가 있다[12]. 운동영역의 뮤파 피드백이 다른 조건의 피드백보다 손 동작 관찰 동안 뮤파 억제가 향상되었다 뮤파 억제가 거울신경(mirror neuro)시스템 활동의 지표로 사용되고[13], 행동을 하고 난 뒤 관찰을 하여 뮤파가 억제되는 것을 보여주었다[14]. 뉴로 피드백 훈련은 신경망 활동을 측정하고 이를 실시간으로 환자에게 보고하여 신경망 자기 조절을 향상시킨다[15].

이처럼 선행 해외 임상시험에서 밝혔듯이 뮤파는 운동 관련 영역의 활동과 관련이 있기 때문에 투렛증후군 환자 치료를 위한 뉴로피드백 지표로 사용될 수 있는 것이다. 그리고 정중신경자극(Median Nerve Stimulation)을 이용, 즉 뇌의 특정 부위를 활성화 또는 억제시키는 경두개자기자극술(rTMS)과 유사한 방법을 사용한 경우가 있다. 여기서 뮤파의 주파수 12Hz를 손목 자극 전극장 주파수를 12Hz로 맞춰 뮤파 강화로 틱 발생을 감소시켰다[16]. MNS를 이용한 투렛증후군 치료에도 뮤파 강화를 사용하였다.

지금까지 투렛증후군을 치료하기 위한 뉴로피드백 치료 프로토콜로 SMR(Sensory Motor Rhythme) 강화, 세타파(theta wave)-베타파(Beta wave) 불균형 조절, 알파파(Alpha wave)-세타파(theta wave) 비율 조절, 그리고 베타파의 강한 파워 조절 등이 보편적으로 사용되었다[17]. 본 연구팀의 연구 결과가 뉴로피드백 치료 프로토콜에 뮤파 강화를 추가할 수 있게 되었다.

연구시험 결과는 전운동 피질(Frontal Cortical3 사

이트)에서 뮤파 동기화를 틱 환자가 인위적으로 하지 않고 뉴로피드백 훈련처럼 자율적으로 뇌파 조절이 이뤄진다면 마찬가지로 결과로 틱이 발생하지 않는다는 사실을 시사한다. 틱을 억제시켰을 때 인지 제어 반응 프로세스가 변경되고, 변경된 것을 뇌파 주파수 파워를 조절하는 뉴로피드백 훈련을 하게 되면 환자가 인위적으로 틱을 억제하지 않아도 자율적으로 치료가 되는 것이다.

III. 틱 반응 억제 방법

1. 전조감각충동 제어

투렛증후군 환자가 틱이 발생하기 3-5초전에 몸을 움직이고 싶은 충동, 즉 전조감각충동(premonitory sensation)이 생기고, 그런 뒤 틱이 일어난다. 전조감각충동은 강박장애의 강박 사고, 그리고 틱증상은 강박 행동과 유사하다[18]. 틱이 발생한 후에 뮤파 파워를 조절하는 것은 아무런 의미가 없고 발생하기 전에 뮤파 파워를 조절하여야 한다. 그런 방법으로 앞의 연구 결과에서 틱 반응 억제 훈련에서 나온 뮤파 파워를 조절하는 것을 이용하는 것이다. 전조감각충동이 생길 때 긴장하게 되는데, 이때 앞 이마 중간 부분, 즉 전극위치 Fz에서 알파 파워가 감소한다.



그림 6. 눈깜박임 전조 현상의 뇌파

[그림 6]은 전두엽 부위의 뇌파가 안정된 상태에 있다가 눈깜박임이 일어날 때 변화하는 것을 보여준다. 즉 눈깜박임이 본격적인 틱이 일어나기 전의 전조감각 현상이라고 본다. 몇초 뒤 틱이 일어남을 다음 [그림 7]에서 확인할 수 있다.

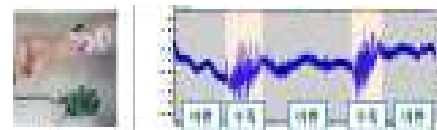


그림 7. 긴장 이완과 수축 근전도

긴장이 이완된 상태로 있다가 틱을 하는 순간 수축이 일어나는 것은 틱이 발생하였음을 보여준다.

이와 같은 뇌파와 근전도의 변화 흐름 속에 눈깜박임과 같은 전조감각충동이 생길 때 바로 영상콘텐츠를 릴랙스한 영상으로 변환시킨다.



그림 8. 영상 시청 뇌파

[그림 8]과 같은 릴랙스한 영상을 시청하면서 환자는 긴장이 이완되어 틱이 발생하지 않는다. 물론 이것이 처음처럼 그다음에도 틱 발생 제어에 성공하는 것을 보장해주지 않는다. 틱 방출과 억제, 습관화 과정이 전조감각충동 제어 프로그램인데[19], 이것을 계속적으로 반복하면 뇌도 그에 적응해 가면서 뇌파 주파수 대역과 파워가 변화하면서 틱이 줄어든다. 틱 억제가 환자로 하여금 불쾌한 전조감각충동에 대면하도록 하여 틱을 방출시키고, 틱을 억제 시키면서 불쾌한 감각을 참을 수 있도록 하는 습관화를 반복시키면 틱 빈도가 줄어드는 것이다.

2. 스트레스 완화를 통한 틱 제어

임상시험에서 틱 반응 억제를 시키면 무파 동기화가 이뤄져 틱이 발생하지 않는 것을 확인하였다. 반대로 무파 파워를 강화시키는 훈련을 시키면 틱 반응이 억제될 수 있다. 뉴로피드백이 뇌파 파워를 강화시키는 영상콘텐츠를 통해 인지 제어 기능 결함을 해소시킨다[20].

즉, 뉴로피드백 영상콘텐츠가 투렛증후군 환자에게 무파 강화를 시켜 틱 발생을 줄여주는 것이다.

[그림 8]은 푸른 숲속에 새소리, 바람소리 등을 들으면서 숲에 들어가 있는 듯한 감각을 갖도록 하는 영상을 보여주어 긴장을 이완시키는 장면이다. 환자는 이 영상을 보면서 긴장을 이완시키도록 호흡 훈련을 받게 되고, 그러면서 자신의 뇌파가 어떻게 변화하는지를 실시간 확인한다. 그러면서 점차적으로 심리적 안정감을 갖게 된다. [그림 8]의 중간 화면은 환자 뇌 운동영역의

왼쪽 C3, 오른쪽 C4에서 나오는 뇌파이다. 즉 환자 자신의 생체신호 상태를 직접 볼 수 있도록 하여 긴장 이완이 개선되고 있음을 확인시켜 더욱 더 안정감을 갖도록 동기를 부여해준다.



그림 9. 틱 증세 자각

[그림 9]는 영상을 시청하면서 틱 하는 순간을 문자로 표시하는 장면이다. “방금 틱 증세를 자각했습니다 (1회)”라는 문구가 나오는 장면이 환자로 하여금 언제 어떤 장면에서 틱이 나오는 것인가를 자각하게 해준다. 그러면 이 영상을 다시 시청할 때 언제 어떤 장면에서 틱을 하였는지를 기억하고 있어 자기 스스로 틱 반응을 억제하려는 시도를 하게 한다. 그리고 이것을 습관적으로 반복하면 점차적으로 틱 발생 빈도가 줄어드는 것이다. 즉, 인지 제어 기능이 정상적으로 돌아갈 수 있게 되면서 자연스럽게 틱이 점차적으로 줄어드는 것이다.

IV. 영상콘텐츠 변환 뉴로피드백

1. 영상콘텐츠 피드백 통한 틱 제어

본격적인 뉴로피드백 훈련법으로 영상 속의 캐릭터를 사전 설정해 놓은 임계치에 의해 영상 속의 캐릭터를 자신의 뇌파 파워로 조절하는 것이다.

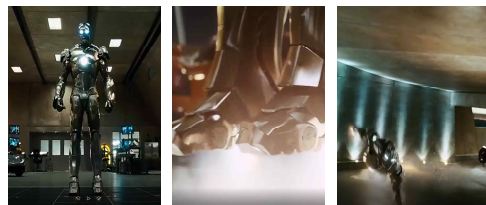


그림 10. 뇌파 조절에 의한 영상 변환

[그림 10]은 영화 속의 캐릭터(아이언맨)가 제자리에

서 도약하여 날아가는 3단계 과정에 뮤파 파워가 강화되어 있는가, 그렇지 않은가에 따라 움직임이 달라짐을 보여준다. 왼쪽에 정지되어있는 캐릭터는 현재 뮤파 파워가 임계치보다 낮은 상태여서 움직임이 없다. 그러나 이것을 그림 두 번째와 세 번째로 캐릭터를 움직이게 하려면 뮤파 파워가 강화되어야 한다.

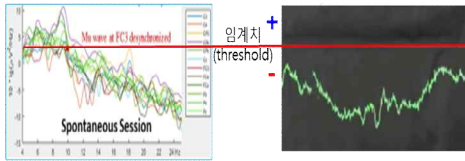


그림 11. 임계치보다 낮은 뮤파 약화

[그림 11]처럼 설정해 놓은 임계치(threshold)보다 뮤파 파워가 더 낮으면 [그림 10]의 맨 왼쪽 캐릭터가처럼 움직이지 않고 틱이 발생되었음을 인지하게 된다.

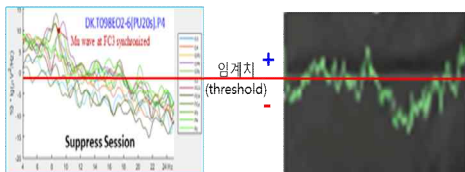


그림 12. 임계치보다 높은 뮤파 강화

그 반대로 [그림 12]처럼 임계치보다 뮤파 파워가 더 높게 나오면 [그림 10]의 두 번째, 세 번째 영상 속의 캐릭터가 움직이고 있는 것을 보면서 틱이 억제되었음을 인지하게 된다. 임계치는 환자의 틱 주파수 대역이 뇌 영역에 차지하는 상대적 비중 및 그에 따른 결과를 반영하여 놓은 것이다.

[그림 13]은 틱 반응 억제 훈련 영상 피드백 결과를 보여준다.



그림 13. 틱 반응 억제 뉴로피드백 결과

그림 속의 알고리즘은 뉴로피드백이 적용된 훈련 결과 개선 정도를 척도로 한 계산값이다. 여기서 점차적으로 막대그래프가 상승하고 있는 것은 개선되고 있음을 보여준다. [그림 14]는 환자의 생체신호 상황을 보여준다.



그림 14. 환자 생체신호 상황

화면 왼쪽에 있는 신체 모양은 틱이 발생하는 부위를 보여준다. 화면 중간 위 부분은 환자 뇌파의 상태를 집중도와 이완도로 구분하여 보여준다. 화면 중간 아래 부분은 생체신호 종합 결과 스트레스 및 긴장도, 심박수, 안면근전도와 신체근전도를 보여준다. 오른쪽 화면은 실시간 생체신호 즉, EEG, EMG를 보여준다. 환자는 화면에 나타난 정보를 바탕으로 자신의 상태를 파악하여 치료 경과를 확인할 수 있다.

본 영상콘텐츠는 투렛증후군 환자의 틱 반응 억제를 영상콘텐츠로 시각화하고 뉴로피드백으로 훈련시키기 위해 만들어졌다. 테스트 대상은 일반인과 투렛증후군 환자였고, 뉴로피드백 프로토타입을 설정하는 데 목적을 두고 만들었다. 향후 성능을 개선하여 임상시험에 적용하겠다. 이것 제작에 들어간 임계치 계산법, BCI 소프트웨어, 영상제작 프로그램 등은 별도의 논문에서 상세하게 밝히겠다.

2. 틱 억제의 보상과 처벌

틱 반응 억제가 습관화되면서 틱 발생 빈도가 줄어드는 과정을 환자가 성공하면 그에 따라 보상을 준다. 보상을 주는 방식은 앞의 [그림 9]에 '포인트 점수'를 디스플레이 하여 몇 점 이상이 되면 선물이나 상품권을 주는 방식이 될 것이다. 이것은 환자가 그 다음 반복적으

로 이뤄지는 영상콘텐츠에서도 계속적으로 성공하기 위한 동기 부여가 된다. 이것은 환자 스스로 하는 인지 제어 프로세스가 외측전전두엽(lateral prefrontal cortex)에서 보상과 규칙 영역에서 이뤄지고, 후두엽과의 네트워크에 의해 이뤄지기 때문에 신경생리학적으로 분명히 동기 부여가 된다[21].

그 반대로 성공하지 못하였을 때는 처벌을 준다. 뉴로피드백 훈련이 진행되면서 보상을 주는 주파수 파워와 처벌을 내리는 주파수 파워를 사전 설정된 임계치를 통해 자동화시킨다. 이점에 대해 주파수를 임상가가 임의로 조정하는 방법을 쓰기도 하지만[22], 이것이 정교할 수 있는 점에서 장점이 되겠지만 '행동역전훈련'처럼 다른 사람의 도움을 받아야 하는, 즉 완전 자율적 치료법이라고 하기 어렵다. 또한 처벌을 내릴 때 자신의 뇌파 상태를 인지하고 있어야 하는 것이 중요한데 기존 뉴로피드백 치료법에서 많이 다뤄진 임상가의 조력은 보상과 마찬가지로 효율성이 떨어지는 방법이다[23]. 그러므로 보상과 처벌은 뇌파 주파수 대역과 파워를 자동 설계에 의해 이뤄져야 한다. 뮤파 파워를 강화시키는 것이 지속적으로 이뤄지면 보상을 주고 그렇지 못하면 처벌을 내리는 원리이다. 환자가 자신의 뇌가 서서히 변화하는 것을 보게 하여 틱 억제에 대한 동기 부여를 보다 분명하게 주기 위해서 이뤄지는 프로그램이고, 이것은 인간의 뇌 신경생리학적 네트워크에 의해 이뤄지는 현상이기 때문에 설득력 있는 프로그램이다.

V. 결론

틱 반응을 억제시키는 훈련이 운동영역의 뮤파 억제를 통해 가능한 점과 이것을 토대로 뉴로피드백 지표를 만들 수 있는 단초를 마련한 점에서 연구 의의가 있다. 본 연구는 공동 연구팀이 진행한 '행동반응훈련'에서 유의미한 연구 결과를 얻은 것[24]과 함께 '뉴로피드백 훈련' 프로토콜에 단초를 마련한 점에서 틱 증상 완화에 기여하는 바가 있겠다. 그리고 뉴로피드백 치료 프로토콜에 있어서도 기존에 해 오던 것과 다르게 본 연구팀의 뮤파 강화 프로토콜이 추가될 수 있는 단초가 마련된 점에서 또한 연구 의의가 있다.

본고는 틱 반응 억제 시험과 그것으로 나온 결과가 뉴로피드백 치료 프로토콜로 적용가능한지를 해외 임상시험과의 비교 분석을 통해 타당성을 검증하는 데만 초점을 두었다. 그렇기에 뉴로피드백 치료 프로토콜 알고리즘과 소프트웨어, 플랫폼 구축, 데이터 처리 방식 등은 별도의 논문에서 자세하게 밝히겠다.

본 연구팀은 현재 ADHD, 우울증 치료에 사용되고 있는 국내 뉴로피드백 훈련 프로그램이 과학적 원리와 검증을 면밀하게 검토하지 않고 이뤄지고 있는 현실을 비판적인 시각에서 본다. 그런 측면에서 본고가 투렛증후군 환자 치료법인 뉴로피드백 치료 프로토콜을 과학적으로 검증하는 후속 연구에 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

* 임상시험을 실행한 단국대학교병원 김경민 교수님께 감사드립니다.

참고 문헌

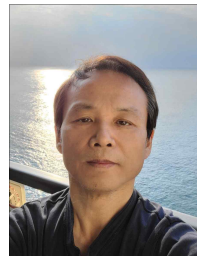
- [1] C. Ganos, V. Roessler, and A. Münchau, "The functional anatomy of Gilles de la Tourette syndrome," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, Vol.37, pp.1050-1062, 2012.
- [2] P. A. Berardelli, A. Curra, G. Fabbrini, F. Gilio, and M. Manfredi, "Pathophysiology of tics and Tourette syndrome," *J. Neurol.*, Vol.250, pp.781-787, 2003.
- [3] C. L. Baym, B. A. Corbett, S. B. Wright, and S. A. Bunge, "Neural correlates of tics severity and cognitive control in children with Tourette syndrome," *Brain*, Vol.131, pp.165-179, 2007.
- [4] E. K. Miller and J. D. Cohen, "An integrative theory of prefrontal cortex function," *Annu. Rev. Neuroscience*, Vol.24, pp.167-202, 2001.
- [5] S. J. Enright and A. R. Beech, "Reduced cognitive inhibition in obsessive-compulsive disorder," *Br. J. Clin. Psychol.*, Vol.32, pp.67-74, 1993.
- [6] I. Opris and M. F. Casanova, "Prefrontal cortical minicolumn : from executive control to disrupted cognitive processing," *Brain*, Vol.137, pp.1863-1875, 2014.
- [7] K. E. Miller and J. D. Cohen, "An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function," *Annual*

- Reviwe of Neuroscience, Vol.24, pp.168-169, 2001.
- [8] H. Marzbani, H. R. Marateb, and M. Mansourian, "Methodological Note: Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design," Methodology and Clinical Applications, Basic and Clinical Neuroscience, Vol.7. No.2. p.256, 2016.
- [9] L. Barzegary, H. Yaghubi, and R. Rostami, "The effect of QEEG-guided neurofeedback treatment in decreasing of OCD symptoms," Procedia Soc. Behav. Sci, Vol.30, pp.2659-2662, 2011.
- [10] S. M. Benvenuti, G. Buodo, V. Leone, and D. Palomba, "Neurofeedback training for tourette syndrome : An uncontrolled single case study," Applied Psychophysiology Biofeedback, Vol.36, No.4, pp.281-288, 2011.
- [11] M. A. Tansey, "A simple and acomplex tic(Gilles de la Tourette's syndrome) : the irresponse to EEG sensorimotor rhythm biofeedback training," Int. J.Psychophysiol, Vol.4, pp.91-97, 1986.
- [12] Y. Ikeda, Y. Nishimura, N. K. Shin, and S. K. Higuchi, "A study of EEG mu neurofeedback d uring action observation," Experimental Brain Research, Vol.238 p.1278, 2020.
- [13] N. A. Fox, M. J. B. Kranenburg, K. H. Yoo, L. C. Bowman, E. N. Cannon, R. E. Vanderwert, and M. H. Ijzendoorn, "Assessing human mirror a ctivity with EEG mu rhythm: a meta-analysis," Psychol Bull, Vol.142, No.3, pp.291-313, 2016.
- [14] E. N. Cannon, K. H. Yoo, R. E. Vanderwert, P. F. Ferrari, A. L. Woodward, and N. A. Fox, "Acti on experience, more than observation, influen ces mu rhythm desynchronization," PLoS ONE, Vol.9, No.3, p.9 2002.
- [15] R. Sitaram, T. Ros, L. Stoeckel, S. Haller, F. Scharnowski, J. L. Peacock, and J. Sulzer, "Closed-loo p brain training : the science of neurofeedback," Nat Rev Neurosci, Vol.18, No.2, pp.86-100, 2017.
- [16] B. M. Maiquez, H. P. Sigurdsson, K. Dyke, A. Rajendran, G. M. Jackson, and S. R. Jackson, "Entraining Movement-Related Brain Oscillation to Supress Tics in Tourette Syndrome," Current Biology, Vol.30, pp.2334-2342. 2020.
- [17] H. Marzbani, H. R. Marateb, and M. Mansourian, "Methodological Note: Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design," Methodology and Clinical Applications, Basic and Clinical Neuroscience, Vol.7. No.2. p.278, 2016.
- [18] J. F. Leckman, D. E. Walker, and D. J. Cohen, "Premonitory urges in Tourette's syndrome," American Journal of Psychiatry, Vol.150, No.1, pp.98-102, 2008.
- [19] 홍종우, 도진아, 김현우, 임명호, "틱장애에서 습관뒤 집기 훈련의 임상효과," Anxiety and Mood, Vol.6, No.1, p.57, 2010.
- [20] 최형민, 김경민, 김원식, 김연표, *틱 증세 완화용 VR 게임-뉴로바이오피드백 시스템 개발, ICT융합서비스 경쟁력강화*, 한국정보통신평가원, pp.43-48, 2021.
- [21] I. Opris and M. F. Casanova, "Prefrontal cortical minicolumn: from executive control to disrupted cognitive processing," Brain, Vol.137, pp.1863-1875, 2014.
- [22] 전경희, 윤희옥, 정문주, 전병현, *뇌파와 뉴로피드백 의 이해*, 아카데미아, p.300, 2021.
- [23] 전경희, 윤희옥, 정문주, 전병현, *뇌파와 뉴로피드백 의 이해*, 아카데미아, p.310, 2021.
- [24] I. Lee, J. R. Lee, M. H. Lim, and K. M. Kim, "Comparis on of Quantitative Electroencephalography between Tic Disorder and attention-Deficit/Hyperactivity Diso rder in Children," Clinical Psychopharmacology and Neuroscience, Vol.19, No.4 pp.739-750, 2021.

저 자 소 개

우 정 권(Jeong-Gueon Woo)

정희원



- 2002년 8월 : 서울대학교 국어국문학과 박사(문학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 교수

<관심분야> : 생체신호콘텐츠, 정신분석학, 디지털헬스케어

김 원 식(Wuon-Sik Kim)

정회원



- 2004년 2월 : 연세대학교 의공학 박사
- 1984년 ~ 2019년 : 한국표준과학연구원 책임연구원
- 2006년 ~ 2012년 : 국가뇌심혈관데이터센터 센터장
- 2020년 ~ 2022년 : 주식회사 후

원 부설연구소장

- 2020년 ~ 현재 : 한국연구재단/한국한의학연구원 전문경력인사
- 〈관심분야〉 : 생체신호 기반 기-인체 상호작용 측정분석