

## Development and application of real-time neurofeedback system for shooting athletes

Youngsook Kim<sup>1</sup>, Sangcheol Lee<sup>1</sup>, Yongin Cho<sup>1</sup>, & Taiseok Chang\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Sport Science & <sup>2</sup>Sungkyunkwan University

This study was to develop and to apply real-time neurofeedback system for psychological self-regulation of shooters. Neurofeedback system was developed with expert meetings consisting of 8 sport psychology, EEG, and sport engineering experts based on Labview program. Developed neurofeedback system was applied to 4 college shooters for 10 sessions(1 session/week, 30 mins/session). Collected EEG wave data were analyzed by paired sample t-test and independent sample t-test. The results were as follows: Firstly, based on user experience concept neurofeedback system was developed which easily perceived neurofeedback information as traffic lights with minimizing visual search activities. Secondly, after neurofeedback system application right brain activation level of shooters(except one shooter) were increased compared to left brain activation. Based on the results of this study, neurofeedback system can apply various sports and contribute to help athletes' self-regulation and athletic performance enhancement in sport field.

**Key Words:** Neurofeedback, EEG, User experience 

### 서 론

운동선수들은 경기 중에 여러 가지 이유로 역경에 직면하게 되며, 선수들이 지각하는 역경상황은 선수 개인 별로 차이가 있다. 실제로 경기 중에는 환경적 요인, 사회적 요인, 선수 자신의 개인적 요인과 같이 다양한 요인으로 인해 예상하지 못한 역경에 직면하는 경우가 많다(Kim, 2010; Kim, 2013; Oh, 2004). 이러한 경기 중 역경상황에서 선수들은 불안해하거나 자신감 및 집중력 등이 저하되어 결과적으로 경기력이 저하되게 된다. 그러므로 운동선수들이 경기 중 특정 역경 상황에서 자신의 심리적 상태를 자각하고 심리컨디션을 조절하는 것이 매우 중요하다. 자기조절(self-regulation)은 선수들의 경기력을 향상시키기 위하여 활용되는 심리 측정

혹은 심리 개입 활동에서 필수적인 부분이다(Crews, 1993; Crews et al. 1984; Schwartz, 1979; Zaichkowsky, 1983; Zaichkowsky & Fuchs, 1988, 1989). 운동 선수들의 자기조절을 위한 방법 중의 하나로 바이오피드백(biofeedback) 기법이 활용되고 있다.

바이오피드백은 평소에 자각하기 힘든 어려운 심리생리적 현상을 도구의 도움을 통해 관찰하고, 스스로의 노력에 의해 가장 이상적인 생리적 상태를 유지하도록 학습하는 과정이다(Kim et al., 2007). 바이오피드백은 심장의 활동(EKG), 근육활동(EMG), 피부의 전기활동(SC), 뇌의 전기적 활동(EEG) 등의 모니터링을 통해 적용된다. 바이오피드백 장치를 사용하면, 신체 내부 기능들을 사람이 갖고 있는 감지능력 보다 훨씬 자세하고 정확하게 탐지할 수 있는 장점이 있다(Gatchel & Price, 1979).

또한 바이오피드백과 같은 심리생리학적 측정은 자기 보고형 질문지를 넘어 측정을 객관화하는데 도움이 되며 (Blumenstein et al., 1995; Hatfield & Landers,

논문 투고일: 2016. 05. 17.

논문 수정일: 2016. 06. 07.

게재 확정일: 2016. 06. 09.

\* 저자 연락처: 장태석(jaygoon@skku.edu)

1983; Landers, 1985), 바이오피드백의 적용은 경기력에 긍정적인 영향을 미친다.(Blumenstein et al., 1995; Collins, 1995; Petruzello et al., 1991; Zachkowsky & Fuchs, 1988). 구체적으로 바이오피드백과 심리기술훈련을 결합한 연구는 다양한 종목의 선수들을 대상으로 수행되었으며 긍정적인 효과를 나타냈다(Deeny et al., 2003; Edmonds et al., 2008; Filho et al., 2008; Kavussanu et al., 1998; Kirschenbaum et al., 1998; Salazar et al., 1990; Shaw, 2010; Strack, 2003).

특히, 바이오피드백에서 활용되고 있는 다양한 방법 중 뇌의 전기적 활동(EEG)를 활용하는 바이오피드백 기술을 뉴로피드백이라(neurofeedback)한다. 뉴로피드백은 뇌파의 변화를 통해 뇌기능을 변화시키는 훈련으로(Choi, 2010) 두피에 붙인 전극을 통해 뇌파 데이터를 수집하고 이를 분석한 정보를 피험자에게 알려주는 과정을 반복하면 원하는 방향으로 뇌파를 발생시킬 수 있다. 다시 말해, 뇌파를 활용한 바이오피드백 훈련 방법으로 자신의 의지에 의해 긍정적인 뇌파를 생성시켜 인지능력을 향상시키고 최상의 운동수행을 위한 뇌파 조절을 하는 것이다(Sim, 2004). 뉴로피드백의 활용은 간질, 주의력결핍, 과잉행동장애, 뇌손상, 불안장애, 중독관련 장애, 만성피로증후군, 통증, 우울증 등의 질환의 치료에도 효과가 있는 것으로 나타났다(Hammond, 2003).

뉴로피드백은 경기상황에서 발생하는 경쟁불안 감소를 위해 활용될 수 있다. 경기에서 선수들이 경험하는 불안은 근육을 경직시키고 고각성 상태를 유지시켜 집중력을 감소시키고, 부정적 생각, 좌절감과 무력감 등과 같은 부정적인 정서를 유발시켜 결과적으로 경기력을 떨어뜨린다(Edwards & Hardy, 1996). 실제로 운동선수를 대상으로 뉴로피드백을 활용한 연구(Sim, 2004; Hong et al., 2007) 결과 경쟁 불안이 감소되는 것으로 나타났다. 최근 뇌의 전두엽 좌·우뇌 비대칭 지수와 경쟁불안의 관계를 검증한 연구(Hong & Woo, 2013)에서는 경쟁특성불안이 전두피질의 활성화와 관련이 있으며, 휴식 시의 좌·우측 전두비질의 활성화를 줄이는 뉴로피드백 훈련이 경쟁 특성불안을 감소시키는데 도움이 될 것으로 보고하고 있다.

이러한 국내외 선행연구들을 토대로 뉴로피드백의 활

용은 선수들의 심리적 긴장 및 불안도, 이완수준, 정서 변화 등을 측정하고 평가함으로써 훈련의 한 방법으로 스포츠현장 적용성이 높다고 판단된다. 하지만, 대부분의 선행연구는 우수선수와 비우수선수의 뇌파 차이를 비교하였으며, 뉴로피드백을 적용한 국내연구에서는 Q-jump 등의 프로그램을 적용하였는데 이에 대한 신뢰성에서 부족함이 발견되었다. 뿐만 아니라, 활용된 장비면에서 국내 뉴로피드백 연구는 8채널부터 32채널의 검사 장비를 사용하더라도, 실제 실시간 뉴로피드백 훈련을 위해 사용하는 장비는 스크린 장치와 함께 2채널을 이용하여 측정하고 있다. 경두개자기자극법(TMS)과 기능적 자기공명영상(fMRI)의 경우 원하는 뇌 영역 활성화를 정확한 영역에서 관측이 가능한데, 뇌파(EEG)의 경우 전전두엽에서 측정 시 눈 깜빡임이나 안구의 움직임으로 파의 변형이 오기 때문에 전전두엽 측정에서 어려움이 많이 발생한다. 이것은 전전두엽의 활성 뇌파만을 측정하고 훈련에 적용한 문제점이 지적될 수 있다. 실제 스포츠 상황에서는 다양한 환경 변인들에 의해 영향을 받게 되며 전전두엽 뿐만 아니라 두정엽, 측두엽까지 활성화 된다. 따라서 실시간으로 제공되는 영상과 정보 자극을 다양화 하여 가능한 실제와 유사한 상황의 뇌파를 활성화시켜 측정하고 분석할 수 있어야만 뉴로피드백 훈련 효과를 높일 수 있다. 따라서 뇌파의 측정과 동시에 결과를 눈으로 볼 수 있는 뉴로피드백 시스템의 개발은 뉴로피드백 훈련의 더욱 효과적인 활용에 필수적이다. 이에 본 연구는 실시간 뉴로피드백 시스템을 개발하고 이를 적용하는 것을 그 목적으로 하였다.

## 연구방법

### 연구대상

경기력 향상에 도움이 되는 선수들의 자기조절 능력을 향상시키기 위한 실시간 뉴로피드백 시스템의 개발을 위하여 스포츠심리학자와 스포츠공학 및 뇌파 전문가 8인의 전문가 팀을 구성하였다. 연구대상은 대한사격연맹에 등록되어 있고, 나이는 22±1세이며 운동경력은 10

년 이상인 4인의 10m 속사권총 대학부 엘리트 여자 선수들이었다. 뇌파는 눈 깜빡임과 신체의 작은 움직임으로 발생하는 근전도 신호의 간섭에 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 심리적 안정성이 요구되는 동시에 움직임과 근력의 사용이 적으며 경기 상황과 유사하게 나타나는 사격 종목의 선수들을 연구대상으로 선정하였다.

## 측정도구

사격 선수들의 심리생리학적 수준을 측정하고 뉴로피드백을 제공하기 위해 Laxtha의 WEEG3232-RF 장비를 사용하였다. 뇌파의 측정을 위해서 10-20 전극 배치법에 따라 부착하고 측정하였다. 연구의 신뢰성 및 타당성과 함께 현장 적용을 위한 용이성의 최적화를 위해서 32채널 중 8채널(FP1, FP2, F3, F4, T3, T4, P3, P4)을 이용하는 뉴로피드백 시스템으로 설계하였다. 스포츠 상황에서 나타나는 뇌 활성화 영역은 뇌의 모든 영역을 활용하여 수행하기 때문에 전전두엽, 전두엽, 측두엽, 두정엽 영역을 측정에 활용하였다.

## 연구절차

### 실시간 뉴로피드백 시스템 개발 절차

본 연구의 목적에 따라 뉴로피드백 시스템 개발을 위해 뇌파 및 뉴로피드백 관련 기술과 문헌을 조사하였으며, 설계에 따라 구현 가능한 프로그램의 타당성과 진보성을 검토하였다. 기존 뉴로피드백 시스템은 선수들이 경기 영상을 보거나 심상훈련 한 결과에 대한 피드백을 주는 형태의 훈련이다. 프로그램 구현을 위하여 전문가 8인은 기존 뉴로피드백 시스템의 문제점 및 개선점을 분석하고, 사용자경험(UX) 개념을 바탕으로 프로그램과 사용자 인터페이스를 설계하였다. 이후, 연구대상의 의견을 반영하여 프로그램 화면 구성의 정보 자극에 의한 시인성과 인지과정에서 나타나는 개선점을 도출하여 뉴로피드백 시스템에서 사용할 소프트웨어 프로그램 개발하고자 하였다.

뉴로피드백 훈련에 사용할 영상 제작을 위해 국가대표 선발 경기에 참가한 경기 장면을 촬영하였으며, 파일

럿 테스트 및 훈련용 경기 장면을 동영상 클립으로 분할하여 선별하였다. 경기 영상은 화약권총 급사 경기와 완사 경기, 공기총 완사 경기를 촬영하였으며, 선수들의 몰입감을 높이고 경기 현장과 유사한 긴장상태를 유지할 수 있도록 환경을 조성하여 뉴로피드백 시스템을 적용하였다.

### 뉴로피드백 시스템 적용 절차

뉴로피드백 시스템 적용은 불안과 관련된 안정지표를 사용하여 뉴로피드백 프로토콜로 활용하였다. 뉴로피드백 훈련 적용을 위해 알파파와 하이베타파에서 산출된 데이터를 통해 좌우뇌에서 나타나는 특성을 비교 분석하였다. 개인별 변화에 대한 비교분석을 위해 사전-사후 검사 외에 선수들에게 뇌파 전극을 부착 후 telescan 프로그램을 사용하여 뇌파의 신호 처리와 측정이 정상적으로 작동하는지 테스트 하였다. 훈련 프로그램 실시 전 3회에 걸쳐 파일럿 테스트를 실시하고 선수 개인별 피드백 기준치 산출하였다. 산출된 기준치는 Labview 프로그램에 입력하여 실시간 피드백이 제공되도록 설정하였다. 1회기 훈련 시간은 모든 준비를 마치고 약 30분에 걸쳐 진행되었으며 피험자에게 제공한 영상은 15분 동안 재생하였다. 훈련에 참여하는 선수는 사전 가이드 훈련을 통해 주의사항과 심상 조절에 관한 방법을 숙지한 후 훈련에 참여하도록 하였다.

훈련을 실시하는 선수는 재생되는 영상에 보여지는 신호등 형태의 색상 변화를 통해 자신의 심상 조절에 의한 집중 상태 변화를 실시간으로 확인하며 15분 간 훈련을 실시하였다. 모든 훈련은 주 1회 10회기에 걸쳐 실시하였다.

## 자료 분석

수집된 자료는 SPSS 18.0 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 유의수준  $\alpha = .05$ 에서 검증하였다. 첫째, 개인별 뇌파 데이터의 전후 비교를 위해 대응표본 평균비교(Paired sample t-test) 분석을 실시하였다. 둘째, 기능적으로 다른 좌우뇌 측정 채널 간 차이에 의한 독립적 자료 간 비교를 위해 독립표본 평균비교(Independent sample t-test)를 실시하였다.

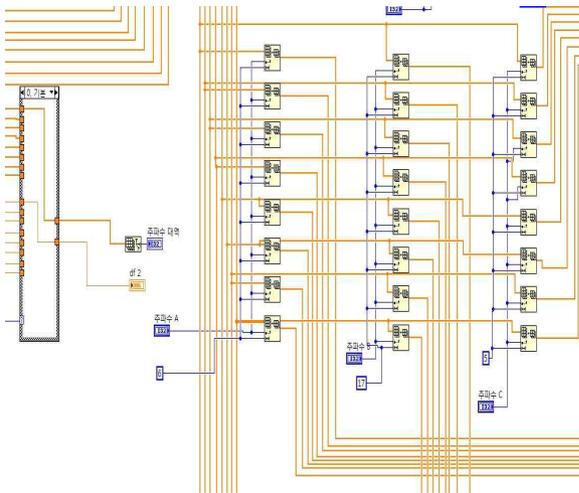


Fig. 1. FFT transformation input signal to brain wave frequency extraction diagram(Labview)

### 연구결과

본 연구의 결과는 시각 기반의 실시간 뉴로피드백 시스템 개발과 개발된 시스템을 적용한 사전 사후 차이에 대한 내용을 구성하였다.

### 실시간 뉴로피드백 시스템 개발

#### 뉴로피드백 프로그램 설계

본 연구에서 개발한 시스템의 기본적인 구조는 선수의 경기 영상을 활용한 피드백과 뉴로피드백 제공방법을 통합하는 구조로 설계하였다. 일반적인 뉴로피드백 검사 및 훈련 장치에서 사용하는 임의의 캐릭터 또는 게임화된 탈 문화적 시각 정보, 도형 등의 개체가 아닌 선수 자신의 경기 영상을 이용하였다. 연구 참여 선수들이 자신의 경기 수행 영상을 사용하기 때문에 경기 상황에 더욱 수월하게 몰입할 수 있으며 뉴로피드백 시스템 정보를 이용하여 불안을 조절할 수 있다. 경기 영상을 시청하는 동안 뉴로피드백 정보를 이용하고 그에 따라 검출되는 뇌파를 시각화하여 재생 중인 영상 위에 실시간으로 제시하는 시스템으로 설계하여 개발하였다.

#### Labview 기반 뉴로피드백 소프트웨어 개발

Labview 소프트웨어를 기반으로 뇌파 검출 결과를 이용하여 영상과 함께 실시간으로 뉴로피드백을 제공하며 훈련할 수 있는 시스템을 설계하였다. 뇌파 수집장치는 LXE3232-RF 모델을 이용하였으며, output 커넥터를 이용하여 Labview 수신모듈을 통해 프로그램 내 계산부로

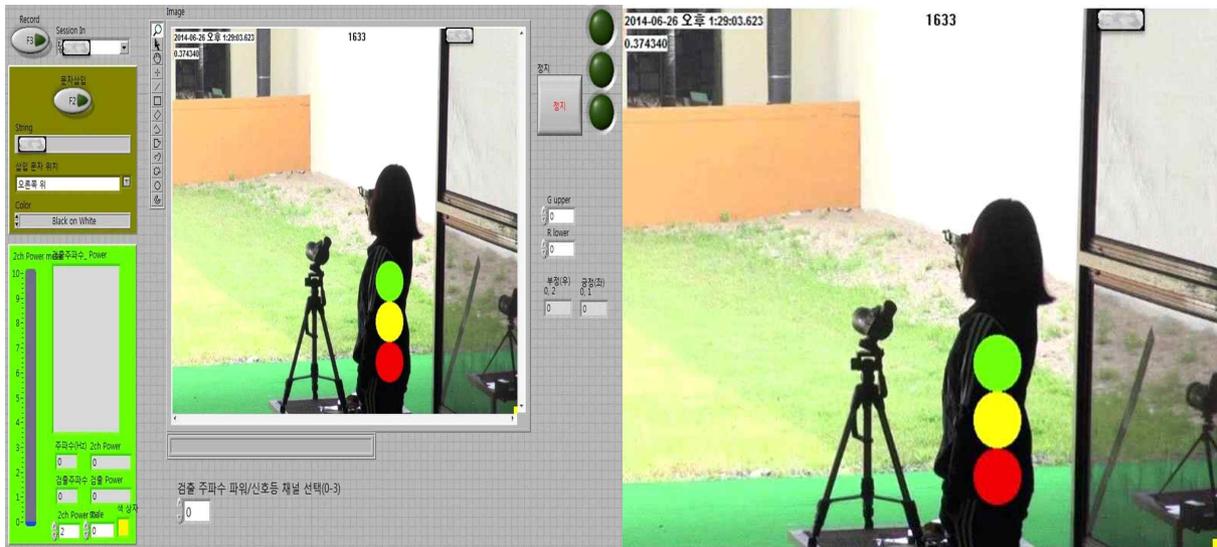


Fig. 2. Neurofeedback system operator screen display(left), Neurofeedback screen display for athletes(right)

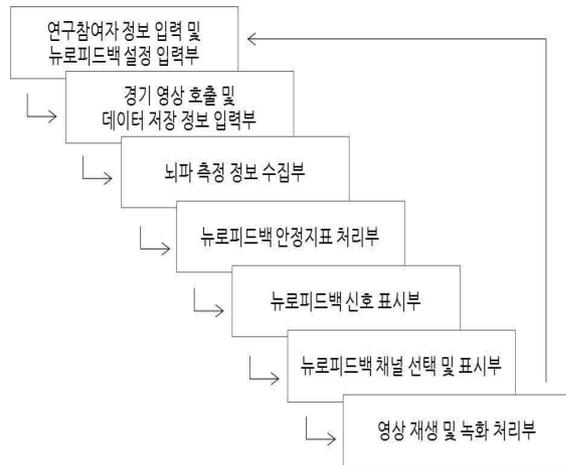


Fig. 3. Labview program based neurofeedback system construct and process

전송하고 처리하여 화면에 표시되도록 하였다. 32채널 중 8개 채널을 이용하여  $\alpha$ 파,  $\beta$ 파를 검출하였으며, 그 중 알파( $\alpha$ )파와 하이베타(high- $\beta$ )파를 안정지표로 선정하였으며, 뉴로피드백(신호등 불빛)정보를 영상과 함께 피험자에게 제공하도록 설계하였다.

최적 시각화를 위해 사용자경험(UX: user experience)를 기반으로 화면 구조(UI: user interface)가 설계 되도록 하기 위해 연구참여자를 대상으로 인터뷰와 테스트를 수행하고 전문가 집단을 통한 파일럿 테스트와 페르소나(persona)를 실시하였다. 사격 선수들이 자신의 경기 영상에서 주로 관찰하는 지점을 조사한 결과 표적 경기 특성 상 다른 동적인 스포츠와 달리 선수 자신의 루틴과 행위, 총구의 움직임 및 반동을 관찰하는 것으로 나타났다.

최종 설계에 반영된 화면구조는 선수의 뉴로피드백 정보에 대한 시각적 탐지 행위를 최소화 하고 경기 수행에 직접적으로 관련된 주요 관찰 지점에서도 쉽게 인지할 수 있도록 정보제공 방법과 위치를 선정하였다. 뉴로피드백 정보의 제공 방법은 선수가 직관적으로 빠르고 쉽게 인지하고 수용할 수 있도록 익숙한 방법을 선택하였다. 초록-노랑-빨강 신호등을 이용하여 뉴로피드백 정보를 제공하고, 화면에서의 피드백의 위치는 선수 자신의 몸통 위에 보이도록 설계하였다. 표시부의 위치는 시스템 운영자 또는 사용자가 제어할 수 있도록 입력부를 구성하였다(Fig. 2).

소프트웨어 설계 과정에서 사용자경험 측면에서 최적화 된 시각화 방법을 채택하기 위하여 정보 단서인 경기 관련 정보와 사용자인 선수의 경기 영상을 배경으로 사용자 인터페이스를 최소화 하는 반면 수월하게 인지할 수 있도록 시지각 및 시인성을 고려하여 설계하였다. Labview 기반 프로그램의 구성과 흐름은 다음 <Fig. 3>과 같이 구성하였다.

Labview 기반의 뉴로피드백 시스템으로 구현된 프로그램의 다이어그램에서 송출된 데이터는 엑셀 또는 텍스트 파일 형태로 저장된다.

### 실시간 뉴로피드백 시스템 적용 후 사전사후 비교

사격선수 4명에 대한 뉴로피드백 시스템 적용에 따른 사전-사후 안정지표 비교 분석 결과를 살펴보면 A선수는 전전두엽인 FP1 영역에서 통계적으로  $p < .001$  수준에서 유의한 차이가 나타났고( $t=4.6297$ ,  $df=18$ ,  $p=.0002$ ), FP2 영역에서도  $p < .01$  수준에서 통계적으로 유의한 수준으로 차이가 나타났다( $t=3.6342$ ,  $df=18$ ,  $p=.0019$ ). 또한 측두엽의 T4 영역에서도  $p < .01$  수준에서 통계적으로 유의한 수준에서 차이가 나타났다( $t=-3.4042$ ,  $df=18$ ,  $p=.0032$ ). 이러한 차이의 원인은 알파파의 변화가 사전에 비해 사후에서 FP1, FP2, T4영역에서 증가한 것으로 나타났다.

B 선수의 경우 전두엽의 F4영역에서  $p < .01$  수준에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $t=-3.1820$ ,  $df=18$ ,  $p=.0052$ ). 이 영역에서의 변화는 사전에 비해 사후에 하이베타파의 변화로 차이가 나타났다.

C 선수는 전전두엽의 FP2영역에서 통계적으로  $p < .001$  수준에서 유의한 차이를 보였으며( $t=-3.0321$ ,  $df=18$ ,  $p=.0072$ ), 전두엽의 F4영역에서도  $p < .001$  수준에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $t=-3.9593$ ,  $df=18$ ,  $p=.0009$ ). 또한 측두엽의 T4에서도  $p < .005$  수준에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $t=-3.9593$ ,  $df=18$ ,  $p=.0009$ ). 이들 차이의 원인은 알파파의 변화는 거의 나타나지 않았지만 하이베타파의 변화로 이러한 차이가 발생했다.

D 선수는 전두엽의 F3영역에서 통계적으로  $p < .05$  수준에서 유의한 차이를 보였으며( $t=-2.6362$ ,  $df=18$ ,

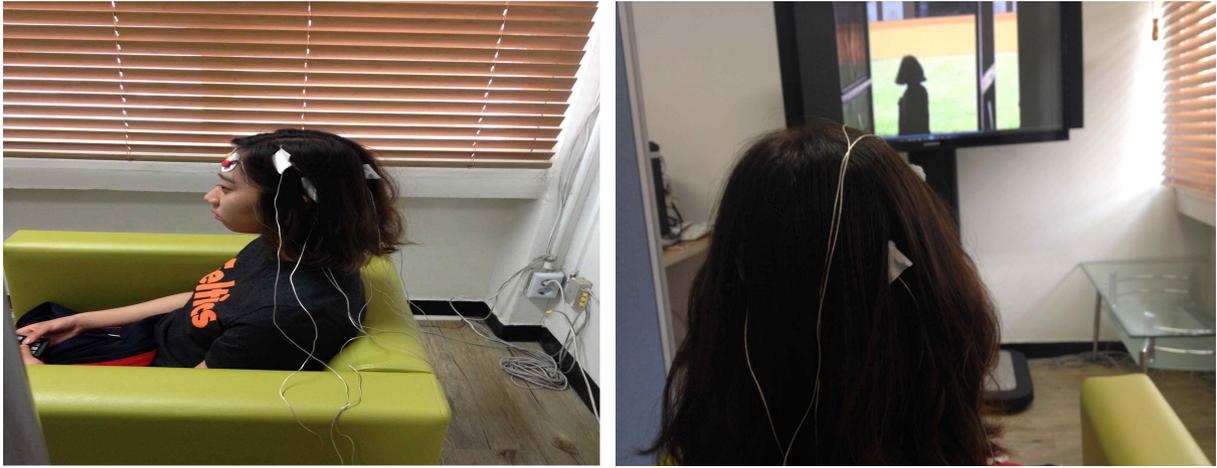


Fig. 4. Neurofeedback system application

$p=.0168$ ), 측두엽의 T3영역에서도 통계적으로  $p < .01$  수준에서 유의한 차이를 보였다( $t=-3.7746$ ,  $df=18$ ,  $p=.0014$ ).

## 논 의

본 연구는 실시간뉴로피드백 시스템 개발하고, 개발된 시스템을 적용하여 사격 선수들의 사전 사후 변화에 관한 연구를 수행하였다.

일반적인 뉴로피드백 훈련 시스템들의 경우 도형, 숫자, 기호, 이미지 등을 이용하거나 특정 과제를 수행하는 동안 발생하는 뇌파를 이용하여 분석과 평가를 실시하고 있다. 본 연구에서는 트레이닝 방법론과 스포츠비전 트레이닝의 관점에서 특성화(sports-specific) 원리를 적용하여 뉴로피드백 시스템 적용 시 경기와 관련성을 높여 훈련에 대한 몰입감과 현장감을 높일 수 있도록 하였고, 기존의 일반적인 뉴로피드백 시스템과 달리 훈련에 참가하는 선수가 실제 참가한 대회의 경기 영상을 이용하였다.

뉴로피드백 훈련 효과와 선수의 사격 수행 능력에 대한 비교를 위해서 선행연구들이 다룬 공통된 주요 논의 종합하여 불안조절에 관련된 빠른 베타파를 이용하여 안정지표를 주요 평가 변인으로 설정하였다. 이 안정지표

는 알파파의 절대파워값을 빠른 베타파의 절대파워값으로 분해하였다.

개인의 인지적 집중력에 대한 알파파의 수준과 불안을 야기하는 스트레스에 관련된 빠른 베타파를 1:1로 지수화하여 직관적인 평가와 피드백이 가능하도록 비교 분석하였다. 따라서 안정지표가 1을 넘지 않는 것이 과제 수행에 대해 안정적으로 대처하고 있는 것으로 판단하고, 안정지표가 1을 넘으면 불안이 높은 상태로 간주하였다. 단, 동일한 수치로 나타나더라도 실제 알파파와 빠른 베타파의 절대파워값 자체가 주어진 과제의 난이도보다 필요 이상으로 높다면, 신경효율성 측면에서 적절하게 대처하지 못하는 것으로 판단할 수 있다. 단, 본 연구에서는 선수들의 실제 경기에 참여한 영상을 과제로 이용했기 때문에 난이도를 설정한 과제 수행은 하지 않았으므로 선수 개인에 대하여 내적으로 상대적 평가를 적용하였다.

선수들의 수행 능력 평가를 위해 좌·우 뇌 비교를 실시한 결과, 선수 A는 전반적으로 좌뇌의 활성화가 높게 나타났으며 T3영역의 활성화도 높게 나타나 우수선수보다는 초보자와 유사한 패턴의 뇌파 특성을 보이는 것으로 나타났다.

B 선수는 사전 검사에 비해 뉴로피드백 적용 후 사격 수행을 위해 뇌파 활성화 수준이 향상된 것을 볼 수 있다. 사후 안정지표가 증가한 수준과 사후 검사에서 안정

지표가 사전보다 1 이하로 나타난 영역이 두 곳 밖에 없기 때문이다. 게다가 FP4영역의 통계적으로 유의한 활성화 증가는 좌뇌보다 우뇌가 활성화 되고 있는 경향을 보이는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 B선수는 우수선수의 뇌파와 유사한 패턴으로의 변화가 나타난 것으로 판단된다.

C 선수의 변화는 B 선수에게서 관찰된 변화보다 상대적으로 더 높게 향상된 것으로 나타났다. 안정지표의 증가가 신경효율성 측면에서도 알파파보다 빠른 베타파가 각각  $13.018(\pm 6.285)$ ,  $3.061(\pm 4.938)$ 에서  $3.895(\pm 1.520)$ ,  $1.936(\pm 6.06)$ 로 현저하게 감소하며 나타난 결과로 안정지표의 향상을 긍정적인 효과로 판단할 수 있다. 선수 개인별 좌·우 뇌 비교에서 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 우뇌의 F4영역이 우세한 경향이 보였고 나머지 영역에서 좌뇌가 우세한 경향을 보였다. C 선수의 훈련과 결과를 통해 실제 변화의 원인이 된 계기를 명확하게 확인할 수는 없으나, 우뇌의 뇌파 활성화가 안정적이고 우수한 경기력 발휘에 효과적일 것으로 예상된다.

선수 D는 좌우 뇌 비교 결과 P4 영역에서 유의한 차이가 있었으며 우뇌의 활성화가 높았지만, T4 영역에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 우뇌의 활성화가 다소 낮게 나타났다. 이는 Haufler, Spalding, Snata Maria, & Hatfield(2000)의 연구에서 T3의 활성화는 언어-분석적 정보처리 과정으로 사격수행을 하는 것이라 보고하였다. 이상적인 사격수행과 관련된 뇌 활성화 영역은 T4 영역인데 D선수의 경우 언어-분석적 사고에서 시간-공간 처리 사고 영역의 활성화로 변화를 위해 필요한 훈련이 필요하다고 판단된다.

사격 선수들을 대상으로 사격 조준 시 좌우반구의 뇌 활성화를 비교하여 밝혀진 신경효율성(neural efficiency)에 관한 연구 결과에서 좌 측두엽 T3의 활성화는 격발에 가까워질수록 현저히 줄어들고, 우 측두엽 T4의 활성화는 증가하는 것으로 나타났다. 좌 측두엽은 사격 조준과 상관없는 언어-분석적 능력을 담당하고 우측두엽은 사격조준과 밀접히 관련된 시각-공간적 능력을 담당한다. 이 결과는 고도의 집중력을 요구하는 사격조준 5초간 신경효율성이 급격히 높아짐을 시사한다(Hatfield, Landers, & Ray, 1984).

스트레스는 좌·우 뇌 관계없이 측두엽의 활성화를 높

이는 것으로 보고된 바 있다. 또한 사격 초보자와 전문가 사이에서 T3, T4 영역에서의 활성화는 큰 차이를 보인다. 전문가는 T3 활성화가 낮고 T4 영역이 적정 수준을 유지하지만 초보자는 전체적인 뇌 활성화가 전문가보다 높게 나타나며 특히 T3 영역의 활성화가 더욱 높은 것으로 보고되었다(Woo, 2009; Haufler et al., 2000).

이는 Landers와 공동연구진들(1994)의 연구에서도 동일한 결과를 확인할 수 있다. 11명의 초보자를 모집하여 12주간 사격훈련을 시키고 조준 시 좌·우 측두엽 활성화에 대한 연구를 수행하였다. 12주 훈련을 통해 사격 능력이 향상되었고, 사격수행과 관련된 뇌 영역 T4의 활성화는 유지하면서 사격수행과 관련이 없는 T3 영역의 활성화가 현저히 감소되었다. 불필요한 뇌 활성화를 감소시켜 신경효율성을 높이고 그 결과로 사격 능력이 향상된다는 것을 확인한 연구다. Landers 외(1994)의 연구를 바탕으로 한 Kerick 외(2004)의 연구에서는 해군사관학교 학생을 대상으로 16주간 사격훈련을 시키고 EEG 변화를 관찰한 결과에서도 좌 측두엽 T3에서 가장 두드러진 것으로 나타났다. 우 측두엽 T4의 활성화는 그대로 유지되었다.

뿐만 아니라, 사격 과제 수행에서 스트레스가 높은 상태와 스트레스가 낮은 상태에서 나타나는 뇌 활성화 수준을 비교한 그 결과, 스트레스 상태에서 전반적인 뇌 활성화가 증가하고 수행 능력이 감소하는 것을 확인하였다(Kerick et al., 2004). 이 결과는 스트레스가 뇌 활성화의 신경효율성을 감소시키며, 사격수행 저하의 근본적인 기전이 될 수 있음을 의미하는 것이다. 따라서 우수한 경기력을 유지하기 위해 불안조절이 가장 중요한 경기력 요인이 될 수 있다.

이러한 선행연구들의 결과를 종합해 볼 때, 본 연구에서 사격선수를 대상으로 적용한 안정지표와 뉴로피드백 훈련 시스템은 뇌파를 이용하여 스트레스와 불안, 신경효율성을 평가하고 선수의 안정적인 경기수행 능력에 대한 평가와 피드백을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

하지만, 본 연구에서 알파파의 증가와 빠른 베타파의 감소 중 어느 뇌파의 증감이 중요한 영향을 끼치는가에 대해서는 검증하지 못했다. 본 연구의 결과와 관련 선행연구들을 고찰해보면, 신경효율성 측면에서 알파파의 증가에 의한 안정지표 증가보다는 빠른 베타파의 감소에

의한 안정지표 증가가 더욱 이상적인 변화라고 판단할 수 있다.

## 결론 및 제언

### 결론

본 연구는 사격선수들의 경기 중 심리조절 능력 향상을 위한 뉴로피드백 시스템의 개발과 적용을 목적으로 수행하였다. 이에 뉴로피드백 시스템의 개발과 적용에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 시각화 기반의 실시간 뉴로피드백 시스템의 훈련은 사격 선수들의 훈련에 스포츠심리 지원의 한 부분에 효과적이고 과학적인 도움을 준다. 실시간으로 제공되는 선수들의 심리적 요인들을 통해 즉각적인 대처와 피드백을 제공함으로써 스포츠 심리훈련의 효과는 더욱 높아졌다. 둘째, Labview 기반의 소프트웨어를 통해 훈련 후에는 엑셀이나 텍스트 파일로 저장이 가능하여 선수의 수행 중에 나타나는 불안, 긴장의 요소를 파악하여 기량 향상에 효과적으로 기여하였다.

### 제언

본 연구에서의 결과를 토대로 후속 연구에서 고려되거나 해결되어야 할 과제를 제언하면 다음과 같다.

첫째, 사격선수들을 대상으로 한 뉴로피드백 적용은 한정된 선수들을 대상으로 적용되었기 때문에 다양한 선수 대상 또는 다양한 종목 선수들을 통해 효과를 검증해야 한다. 종목마다 활성화 되는 뇌의 영역이 다르므로 다양한 연구를 통한 자료를 통해 뉴로피드백의 자료로 활용해야 할 것이다.

둘째, 스포츠심리전문가들이나 스포츠현장에서의 지도자들이 선수에게 뉴로피드백 시스템을 적용하기 위해서는 여러 다양한 종목의 선수들에 대한 분석을 통해 종목과 선수 성향에 맞는 안정지표값이 제공되어야 한다. 이러한 정보에 대한 적용은 스포츠심리 전문가들에게 뉴로피드백 시스템 활용에 있어서 중요한 요소로 제공될 수 있을 것이다.

셋째, 스포츠현장에서는 뉴로피드백 시스템을 활용하기는 쉽지 않다. 현장에서 이와 같은 뉴로피드백 시스템의 효과를 볼 수 있는 프로그램을 제공할 수 있도록 연구가 진행되어야 할 것이다.

넷째, 현재까지 보고된 선행연구들에서 스포츠와 특정 경기에서 요구하는 적정 수준의 뇌파 특성 및 범위 등에 관한 기초 자료의 확보와 보다 정확한 평가를 위하여 지속적인 연구를 수행해오고 있다(Woo, 2009; Kerick et al., 2004; Kerick et al., 2001; Haufler et al., 2000; Landers et al., 1994; Hatfield et al., 1984). 뇌파의 활성화 수준을 비교하여 우수선수와 비우수 선수의 차이를 비교하는 기초연구도 중요하고, 더 나아가 현장 적용과 스포츠 경기력 향상에 직접적으로 관련된 형태의 연구도 필수적이기 때문에 이러한 연구들이 활성화되어야 한다.

다섯째, 최근 뇌파를 활용한 기술과 산업이 이전보다 빠르게 확산되고 있으며, 체육학 분야와 스포츠 경기에도 관련된 연구의 도입과 적용이 증가하고 있다. 이에 뉴로피드백에 관한 연구도 중요한 시기라고 생각된다. 하지만, 이와 함께 스포츠 경기의 특성과 현장, 그리고 지도자와 선수에 대한 요구를 이해하고 접근해야 할 필요가 있다. 이를 통한 연구결과가 스포츠 현장에서 유용하게 사용될 수 있을 것이며, 실제적으로 경기력 향상에 긍정적인 효과를 가져올 것이라고 판단된다.

## 참고문헌

- Blumenstein, B., Bar-Eli, M., Tenenbaum, G. (1995). The augmenting role of biofeedback: Effects of autogenic, imagery, and music training on physiological indices and athletic performance. *Journal of Sports Sciences*, 13, 343-354.
- Collins, D. (1995). *Psychophysiology and sport performance*. In S. J. H. Biddle(Ed.), *European Perspectives on Exercise and Sport Psychology* (pp. 154-178). Leeds, UK: Human Kinetics.
- Choi, S. W.(2010). Past, current, and future of neurofeedback. *Brain Education and Research*, 6, 55-73.
- Crews, D. J. (1993). *Self-regulation strategies in sport and*

- exercise*. In R. N. Singer, M., Murphy, & L. K. Tennant (Eds.), *Handbook of Research on Sport Psychology* (pp. 557-568). New York: Macmillan.
- Crews, D. J., Lochbaum, M. R., & Karoly, P. (2001). *Self-regulation: Concepts, methods, and strategies in sport and exercise*. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas, & C. M. Janelle(Eds.), *Handbook of sport psychology*(2nd ed., pp. 566-581). New York: Wiley.
- Deeny, S. P., Hillman, C. H., Janelle, C. M., Hatfield, B. D. (2003). Corto-cortical communication and superior performance in skilled marksmen: An EEG coherence analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 4*, 188-204.
- Edmonds, W. A., Tennebaum, G., Mann, D. T. Y., Johnson, M., Kamata, A. (2008). The effects of biofeedback training on affective regulation and simulated race car performance: A multiple case study analysis. *Journal of Sports Sciences, 26*, 1-13.
- Edwards, Tara., Hardy, Lew. (1996). The interactive effects of intensity and direction of cognitive and somatic anxiety and self-confidence upon performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 18*(3), 296-312.
- Filho, E. S. M., Moraes, L. C., & Tennenbaum, G. (2008). Affective and physiological states during archery competitions: Adopting and enhancing the probabilistic methodology of individual affect-related performance zones(IAPZs). *Journal of Applied Sport Psychology, 20*, 441-456.
- Gatchel, R. J., & Price, K. P. (1979). *Biofeedback: an introduction and historical overview*. In Gatchel and Price (Eds.), *Clinical Applications of Biofeedback: Appraisal & Status*(Chapter 1), New York: Pergamon Press.
- Hammond, D. C. (2003). *Comprehensive Neurofeedback Bibliography*. from <http://www.isnr.org/nfbarch/nbiblio.htm>
- Haufler, A. J., Spalding, T. S., Santa Maria, D. L., & Hatfield, B. D. (2000). Neuro-cognitive activity during a self paced visual-spatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooter. *Biological Psychology, 53*, 131-160.
- Hatfield, B. D., & Landers, D. M. (1983). Psychophysiology: A new direction of sports psychology. *Journal of Sport Psychology, 5*, 243-259.
- Hatfield, B. D., Landers, D. M., & Ray, W. J. (1984). Cognitive processes during self-paced motor performance: An electroencephalographic profile of skilled marksmen. *Journal of sport psychology, 6*(1), 42-59.
- Hong, K. D., Lee, H. S., Chung, C. H. (2007). The effect of relaxation training program with EEG feedback on 30m archery performance and competitive state anxiety. *Korea Sport Research, 18*(5), 231-243.
- Hong, S. H., Woo, M. J.(2013). Correlational analysis of competitive anxiety and frontal EEG asymmetry score. *Korean Journal of Sport Psychology, 24*(2), 1-13.
- Kavussanu, Maria., Crew, Deborah., Gill, Diane, L. (1998). The effects of single versus multiple measures of biofeedback on basketball free throw shooting performance. *International Journal of Sport Psychology, 29*(2), 132-144.
- Kerick, S. E., Douglass, L. W. Hatfield, B. D. (2004). Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 36*(1), 118-129.
- Kerick, S. E., McDowell, K., Hung, T. M., Santa Maria, D. L., Spalding, T. W., Hatfield, B. D. (2001). The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen. *Biological Psychology, 58*(3), 263-277.
- Kim, H. T., Lee, J. H., & Choi, S. W. (2007). Applications of biofeedback in psychological settings. *The Korean Psychological Association, 6*, 94-95.
- Kim, M. J. (2010). *Measures to cope with the psychological impediments to improve the competition ability of the members of the national bowling team*. Unpublished Doctoral dissertation. Kyunghee University
- Kim, Y. S., Park, S. H.(2013). Exploration and confirmation of adversity situations and coping strategies during competition for archery athletes, *Korean Journal of Sport Psychology, 24*(3), 486-500.
- Kirschenbaum, D. S. (1984). Self-regulation and sport psychology: Nurturing an emerging symbiosis. *Journal of Sport Psychology, 6*, 159-183.
- Kirschenbaum, D. S., Owens, D., O'Connor, E. A. Remove from marked Records Smart Golf: preliminary evaluation of a simple, yet comprehensive, approach to improving and scoring the mental game. *Sport Psychologist, 12*(3), 271-282.
- Landers, D. (1985). *Psychophysiological assessment and*

- biofeedback*. In J. Sandweiss & S. Wolf (Eds.), *Biofeedback and sport science* (pp. 63-105). New York: Plenum.
- Oh, Y. S. (2004). *A study of coping strategies for psychological interruption factors in archery national team players*. Unpublished doctoral dissertation. Sang-ji University.
- Petruzello, S. J., Landers, D. M., Salazar, W. (1991). Biofeedback and sport/exercise performance: Applications and limitations. *Behavior Therapy*, 22, 379-392.
- Salazar, W., Landers, D., Petruzello, S., Hans, S., Crews, D., & Kobitz, K. (1990). Hemisphere asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61, 351-359.
- Schwartz, G. E. (1979). *Disregulation and systems theory: A biobehavioral framework for biofeedback and behavioral medicine*. In N. Birbaumer & H. E. Kimmel (Eds.), *Biofeedback and self-regulation* (pp. 19-48). New York: Erlbaum.
- Shaw, L. (2010). *Setting the Balance: Assessment of a Biofeedback Intervention for Improving Competitive Performance with a Division I Gymnastics Beam Team*. Boston University.
- Sim, J. Y. (2004). Competitive state anxiety and competition performance and EEG change of frontal in shooting players according to EEG Biofeedback training. *Korean Journal of Sport Psychology*, 15(2), 75-92.
- Strack, Benjamin William. (2003). Effect of heart rate variability (hrv) biofeedback on batting performance in baseball. *The Sciences and Engineering*, 64(3-B), 1540.
- Woo, M. J. (2009). Cerebral cortical activation and performance of visuomotor task according to the stress-eliciting treatment. *Korean Journal of Sport Psychology*, 20(4), 31-42.
- Zaichknowsky, L. D. (1983). *The use of biofeedback for self-regulation of performance states*. In L. E. Unestahl (Ed.). *The mental aspects of gymnastics* (pp. 95-105). Orebro, Seden: Veje.
- Zaichknowsky, L. D., & Fuchs, C. Z. (1988). Biofeedback applications in exercise and athletic performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 16, 381-421.
- Zaichknowsky, L. D., & Fuchs, C. Z. (1989). *Biofeedback-assisted self-regulation for stress management in sports*. In D. Hackfort & C. D. Spielberger (Eds.), *Anxiety in sports: An international perspective* (pp. 235-245). New York: Hemisphere.

## 사격선수를 위한 실시간 뉴로피드백 시스템 개발과 적용

김영숙 · 이상철 · 조용인(한국스포츠개발원), 장태석(성균관대학교)

본 연구는 사격선수들의 경기 중 심리조절 능력 향상을 위한 뉴로피드백 시스템의 개발과 적용을 목적으로 수행하였다. 스포츠심리학자, 뇌파전문가, 스포츠공학자 8인으로 구성된 전문가 회의를 통하여 Labview 프로그램 기반의 실시간 뉴로피드백 시스템 개발을 하였다. 뉴로피드백 시스템 적용은 경력 10년 이상의 대학 사격 선수 4명을 대상으로 일주일에 1회, 1회 30분, 총 10회 뉴로피드백 시스템을 적용하였다. 수집된 뇌파 자료는 대응표본 t 검증과 독립표본 t 검증을 통하여 뉴로피드백 시스템 적용 사전과 사후의 변화를 비교하였다. 이에 뉴로피드백 시스템 개발과 적용 효과 검증에 대한 결과는 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 개발된 시각화 기반 실시간 뉴로피드백 시스템은 사용자 경험(UX) 개념을 바탕으로 뉴로피드백 정보에 대한 시각적 탐지 행위를 최소화하고 경기 수행과 직접으로 관련된 주요 관찰 지점에서도 쉽게 인지할 수 있도록 신호등을 이용하여 뉴로피드백 정보를 제공할 수 있는 시스템을 개발하였다. 둘째, 뉴로피드백 시스템을 적용한 후 한명의 선수를 제외한 모든 선수들은 좌뇌 보다 우뇌 활성화의 수준이 향상된 것으로 나타났다. 이러한 본 연구의 결과를 기반으로 더욱 다양한 종목의 선수들을 대상으로 뉴로피드백 시스템을 적용하여 선수들의 심리 조절을 통해 경기력에 도움이 되는 연구가 활성화 되어야 한다고 판단된다.

**주요어:** 뉴로피드백, EEG, 사용자 경험(UX)