

# 가속도 센서를 이용한 사격 훈련 시스템 개발

주효성<sup>1</sup>, 우민정<sup>2</sup>, 우지환<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 전기전자컴퓨터공학전공 박사과정, <sup>2</sup>울산대학교 스포츠과학부 교수, <sup>3</sup>울산대학교 전기공학부 의공학전공 교수

## Development of a Shooting Training System using an Accelerometer

Hyo-Sung Joo<sup>1</sup>, Min-Jung Woo<sup>2</sup>, Ji-Hwan Woo<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Ph. D. Candidate, Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan

<sup>2</sup>Professor, School of Sports and Exercise Science, University of Ulsan

<sup>3</sup>Professor, Department of Biomedical Engineering, School of Electrical Engineering, University of Ulsan

**요약** 거총부터 격발까지 총구 움직임의 궤적을 추적하여, 사격의 정확성을 향상시킬 목적으로 광전자 기반 사격 훈련 시스템이 사격 훈련 현장에서 활용되어 왔다. 광전자 기반 시스템은 설치가 복잡하고, 표적의 파손 위험이 존재하며, 고가의 장비로 선수들의 접근성이 떨어진다는 단점이 있다. 이에 본 연구는 저비용의 가속도 센서 모듈을 이용하여 체위 떨림을 측정하고 피드백할 수 있는 사격 훈련 시스템을 개발하고, 이의 활용성을 검증하였다. 가속도 센서 모듈은 총기의 에어 실린더에 부착할 수 있도록 제작되었다. 체위 떨림은 가속도 센서 데이터를 이용하여 진폭, 주파수, 공간적 패턴 지표로서 분석되었다. 가속도 센서와 기존의 광전자 기반 시스템에서 측정된 사격시 체위 떨림 진폭 지표 간에는 높은 상관관계(좌우 방향:  $r=0.76$ ; 상하 방향:  $r=0.70$ )가 나타났다. 또한, 사격 선수를 대상으로 진행한 시스템의 유효성 평가에서는 선수의 사격 점수(최상, 최하 격발)에 따라 계산된 체위 떨림 지표가 유의한 차이( $p < 0.05$ )가 있음을 독립 표본 t-검증을 이용하여 검증하였다.

**주제어** : 사물 인터넷 융합 시스템, 사격 훈련, 가속도 센서, 체위 떨림, 사격 자세 안정성

**Abstract** Optoelectronic shooting training systems are used in shooting training sites to improve the accuracy of shooting by tracking the trajectories of gun movements. However, optoelectronic-based systems have limitations in terms of cost, complexity of installation, and the risk that electronic targets may be broken. In this study, we developed and verified a shooting training system that measures postural tremors using a low-cost accelerometer. The acceleration sensor module was designed to be attached to the air cylinder of a gun. Postural tremors were evaluated based on amplitude, frequency, and spatial pattern index, which were computed using acceleration data. The postural tremor indices between the accelerometer and optoelectronic-based system were highly correlated (left-right and up-down directions:  $r = 0.76$  and  $r = 0.70$ , respectively). We validated the developed shooting training system using an independent two-sample t-test, which identified a significant difference ( $p < 0.05$ ) in the calculated postural tremor index according to the athlete's shooting score (i.e., best and worst shots).

**Key Words** : IoT convergence system, Shooting training, Accelerometer, Postural tremor, Postural stability

\*This research project was supported by the Sports Promotion Fund of Seoul Olympic Sports Promotion Foundation from Ministry of Culture, Sports and Tourism

\*Corresponding Author : Ji-Hwan Woo(jhwoo@ulsan.ac.kr)

Received April 15, 2021

Accepted July 20, 2021

Revised May 12, 2021

Published July 28, 2021

## 1. 서론

사격은 총을 이용하여 일정한 거리에 설치된 표적을 맞춰 그 정확도를 겨루는 스포츠이다. 사격 자세 안정성(postural stability)은 사격 경기력에 결정적인 역할을 한다[1]. 사격 자세 안정성은 체위 떨림(postural tremor), 신체 균형, 심장 박동, 호흡 패턴 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다[2]. 사격 자세 안정성의 주요 요인 중 하나인 체위 떨림은 중력에 대하여 일정 자세를 유지할 때 발생하는 불수의적 떨림이다[3]. 선행 연구에 따르면 체위 떨림의 크기는 다양한 사격 종목에서 경기력과 음의 상관관계가 있으며, 높은 수준의 사격 자세 안정성을 획득하기 위해서는 체위 떨림에 대한 이해가 필수적이다[4-11].

사격, 양궁 등 높은 정확성이 요구되는 과제에서 방해 요소가 되는 체위 떨림은 다양한 센서를 이용하여 분석되어 왔다[12,13]. 체위 떨림은 모션 캡처 카메라, 레이저 변위 센서, 가속도 센서, 근전도 센서를 이용하여 측정되어 왔으며, 그중 가속도 센서가 가장 널리 이용되었다[14-17]. 가속도 센서를 이용하여 체위 떨림을 평가할 경우, 진폭, 주파수, 공간적 패턴이 주요 분석 요인이었다[3, 17]. 체위 떨림은 특정 주파수 대역(6-12Hz)에서 측정되며, 이러한 주파수 특징은 체위 떨림의 기원인 시상(Thalamus) 및 기저핵(Basal ganglia)의 활성 주파수와 관련되어 있다[18,19]. 특히 좌우 방향의 체위 떨림은 사격 점수에 부정적 영향을 주는데, 엘리트 선수는 조준

전략(fixation strategy)을 체득함으로써 좌우 방향의 체위 떨림을 매우 낮은 수준으로 유지할 수 있다[17].

선수의 체위 떨림 특성을 이해하고, 이를 보정하는 피드백을 제공함으로써, 조준 전략을 효과적으로 개발하고 경기력을 향상시킬 수 있다[20]. 조준 전략을 개발하기 위해 가장 많이 사용되는 방법은 광전자 기반 사격 훈련 시스템(optoelectronic shooting training system)이다[21,22]. 광전자 기반 시스템은 적외선 센서와 전자 표적을 이용하여 조준점의 궤적을 계산하고 이를 기반으로 사격 자세 안정성과 관련된 지표를 계산한다[23,24]. 그러나, 광전자 기반 시스템은 고가, 시스템 설치의 복잡성, 전자 표적의 파손 위험성 등의 이유로 일반 사격 선수들의 접근성이 떨어져, 선수들은 외부 시스템의 도움을 받기가 어렵다[21].

본 연구는 저가의 가속도 센서를 이용하여 체위 떨림을 저렴하고 편리하게 평가하고 피드백 할 수 있는 사격 자세 안정성 훈련 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 정밀도를 검증하기 위해 기존의 광전자 기반 시스템에서 측정된 체위 떨림 지표와의 상관관계를 분석하였고, 사격 선수들의 훈련에 사용하여 사격 점수와의 관계를 평가하여 시스템의 유효성을 평가하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 시스템 개발

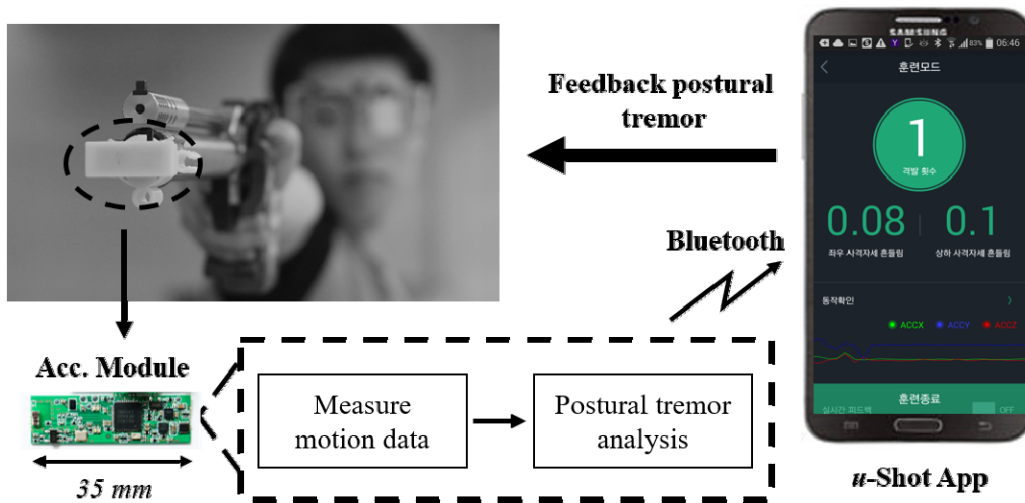


Fig. 1. Scheme of the postural stability training system (Acc.: Accelerometer).

본 사격 자세 안정성 훈련 시스템은 Fig. 1과 같이 총구에 부착되어 체위 떨림을 측정하는 가속도 센서 모듈과, 분석된 체위 떨림 지표를 기록하고 피드백을 제공하는 스마트폰 앱으로 구성된다. 가속도 센서 모듈은 3축 가속도 센서(BMA250, BOSCH Sensortec., Germany)와 마이크로프로세서(nRF51822, Nordic semiconductor, Norway)를 이용하여 개발되었다. 가속도 센서의 민감도는  $19.6 \text{ m/s}^2$ , 샘플링 주파수는  $20 \text{ Hz}$ 로 설정되었다. 센서 모듈은 재충전이 가능한  $110\text{mA}$  리튬 폴리머 배터리를 내장하여, 한번 충전에 30시간 사용할 수 있도록 하였다. 센서 모듈의 케이스 및 커넥터는 광경화수지 조형 방식(Stereolithography, SLA)의 3D 프린터로 제작되어 표준 지름의 공기 권총의 에어 실린더에 간단하게 탈부착할 수 있도록 하였다. 개발된 센서 모듈의 무게는 광전자 기반 사격 훈련 시스템의 40% 수준에 해당하는  $19 \text{ g}$ 으로 설계되었다. 스마트폰(Galaxy Note III, Samsung Electronics, Korea) 어플리케이션은 안드로이드 기반으로 개발하였고, 가속도 센서 모듈은 외주 개발된 ARM 프로세서 기반 펌웨어를 활용하여 제어하였다.

선행 연구에 기반하여 가속도 데이터 진폭, 주파수, 공간적 패턴으로 3가지 체위 떨림 지표를 산출하였다[17]. 체위 떨림 진폭 지표(Amplitude tremor index; Amplitude TI)는 가속도 데이터의 표준편차를 이용하여 계산하였다[17]. 체위 떨림의 주파수 지표(Spectral tremor index; Spectral TI)는 차단 주파수  $5 \text{ Hz}$ 로 10차 Butterworth high pass 필터를 적용한 가속도 데이터의 표준편차( $\sigma_{5\text{Hz}}$ )와 미가공 가속도 데이터(raw data)의 표준편차( $\sigma_{\text{raw}}$ )의 비율을 통해 계산하였다(식 1). 체위 떨림의 공간적 패턴 지표(Spatial tremor index, Spatial TI)는 정규화된 좌우 방향 가속도 데이터의 표준편차와 상하 방향 가속도 데이터의 표준편차 비율을 이용하여 계산하였다(식 2). 즉, 공간적 패턴 지표(Spatial TI) 값이 높을수록 좌우 방향 체위 떨림 진폭이 상하 방향에 비해 높다는 것을 의미한다. 공간적 패턴에 대한 지표 계산 시 저주파( $< 1 \text{ Hz}$ )의 신체 동요(body sway)에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에, 가속도 데이터는 차단 주파수  $1 \text{ Hz}$ 로 10차 Butterworth high pass 필터를 적용하였다[25].

$$\text{Spectral TI} = \frac{\sigma_{5\text{Hz}}}{\sigma_{\text{raw}}} \quad (\text{식 } 1)$$

$$\text{Spatial TI} = \frac{\text{Norm}(\sigma_{\text{HZ}})}{\text{Norm}(\sigma_{\text{VT}})} \quad (\text{식 } 2)$$

## 2.2 가속도 센서 정밀도 검증

기존의 광전자 기반 사격 훈련 시스템은 전자 표적에서 계산된 조준점의 움직임을 기반으로 체위 떨림을 평가한다. 표적에서 계산된 조준점의 움직임을 기반으로 측정하는 체위 떨림을 총구에 부착된 가속도 센서에서 측정하기 위해서는 높은 수준의 정밀도가 요구된다. 본 실험은 가속도 센서에서 측정된 체위 떨림 진폭 지표를 광전자 기반 시스템(SCATT WS-03, SCATT Electronics, Russia)의 체위 떨림 진폭 지표와 비교하여, 개발된 가속도 센서 시스템의 정확도를 평가하였다. 6명의 참여자가  $5 \text{ m}$  거리에서 입사 자세로 에어 소프트건 240발의 격발을 진행하였으며, 광전자 기반 시스템에서 감지하지 못한 25발을 제외하고 215개의 격발을 분석하였다. 광전자 기반 시스템의 적외선 센서와 가속도 센서는 총구 아래 동일 선상에 부착되었다. 두 신호의 체위 떨림 진폭 지표를 계산하기 위해 격발 이전 1초 동안의 가속도 신호의 표준편차를 사용하였다. 광전자 기반 시스템의 가속도 데이터는 표적의 궤적 데이터를 기반으로 2차 중심차분(central difference) 방법을 이용하여 계산하였다.

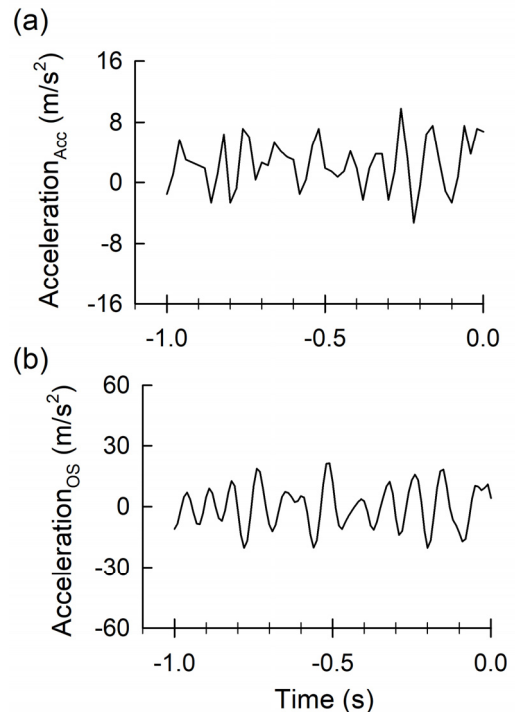


Fig. 2. (a) Acceleration measured by the accelerometer; (b) Acceleration measured by the optoelectronic system in the horizontal direction during the aiming period.

체위 떨림 진폭 지표의 비교를 위해, 통계 분석 방법은 상관 분석을 활용하였다. 데이터 분석은 자체 개발한 Matlab(Mathworks, USA) 프로그램을 이용하여 진행하였다. Fig. 2는 가속도 센서에서 측정된 데이터와 적외선 센서 기반 시스템에서 측정된 데이터의 예를 보여주고 있다.

### 2.3 체위 떨림 지표의 유효성 평가

개발된 가속도 센서 기반의 체위 떨림 지표의 유효성을 평가하기 위하여, 사격 선수 10명(나이: 18-19세, 남성)이 사격을 실시하였다. 데이터 측정 전 연구 대상자는 카페인 등의 약물 복용 및 과도한 운동은 제한하도록 권고하였으며, 실험 전 간단한 준비운동을 실시하였다. 데이터 측정을 위한 모든 실험 절차는 임상시험 윤리위원회에 승인(1040968-A-2015-2)되었으며, 연구 대상자의 자발적 참여 의사를 확인한 후 실험을 진행하였다. 실험은 안전 관리자가 상시 배치된 국제 규격의 10m 공기총 실내 사격장에서 4.5mm 구경의 공기 권총을 이용하여 진행하였다. 개발된 가속도 센서는 사격 시 시야에 제한이 없는 공기 권총의 아래 에어 실린더에 부착한 뒤 입사 자세로 평소와 동일한 환경에서 사격을 수행하였다.

대상자는 Table 1과 같이 1시간 동안 평균 47.5(편차:  $\pm 12.6$ )발의 사격을 수행하였다. 각 선수의 격발 데이터는 통계 분석을 위해 사격 점수에 따라 최상 격발(best shots), 최하 격발(worst shots) 두 그룹으로 분

Table 1. Information of shooters, number of shots, shooting score.

Shooter No.	Age (years)	Experience (years)	No. of shots	Shooting score (Mean $\pm$ SD)
1	17	4	30	9.83 $\pm$ 0.67
2	18	5	35	9.68 $\pm$ 0.59
3	19	5	29	9.62 $\pm$ 0.83
4	18	4	38	9.70 $\pm$ 0.81
5	18	5	60	9.75 $\pm$ 0.71
6	19	6	60	9.61 $\pm$ 0.72
7	19	4	60	9.74 $\pm$ 0.66
8	17	4	56	9.76 $\pm$ 0.60
9	17	3	47	9.67 $\pm$ 0.64
10	17	3	60	9.72 $\pm$ 0.68

류하였다. 격발 데이터 분류를 위해 각 데이터가 그룹에 속할 확률을 계산하고 계산된 확률을 바탕으로 그룹을 분류하는 Fuzzy c-means 군집 분석을 사용하였다 [26,27]. Fuzzy c-means 알고리즘에 의해 어느 그룹에도 분류되지 않은 격발 데이터는 분석에서 제외하였다. Fuzzy c-means 알고리즘의 퍼지화 상수(degree of fuzziness)는 3.0, 멤버십값(membership value)의 역치는 0.6으로 설정하였으며 모든 매개변수는 데이터 탈락률 10%를 고려하여 설정하였다. 격발 이전 5초 동안의 가속도 데이터를 기반으로 3가지 체위 떨림 지표(Amplitude TI, Spectral TI, Spatial TI)를 계산하고 독립 표본 t-검정(independent t-test)을 실시하여 사격 점수에 기반한 그룹 간 체위 떨림 지표에 유의한 차이가

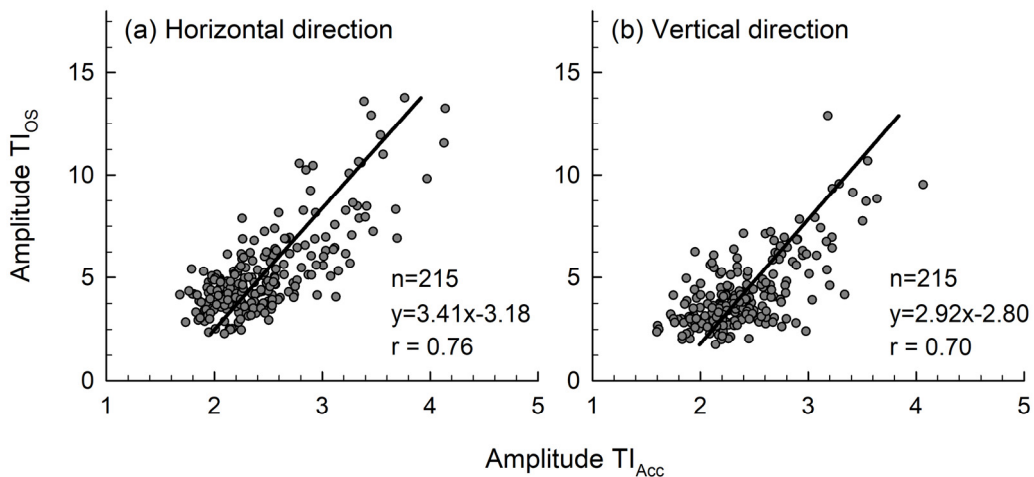


Fig. 3. Correlation of the amplitude tremor measured by the accelerometer (Amplitude TIAcc) and the optoelectronic system (Amplitude TIOS) in the (a) horizontal direction and (b) vertical direction. r is the coefficient of correlation.

있는지 각 선수, 전체 선수를 대상으로 평가하였다. 전체 선수의 격발 데이터는 두 그룹으로 분류된 모든 선수의 격발 데이터를 통합하여 통계 분석하였다. 상기 모든 데이터 및 통계 분석은 Matlab(Mathworks, USA)에 기반하여 자체 개발한 프로그램을 이용하여 진행하였다.

### 3. 연구 결과

Fig. 3은 개발된 가속도 센서(Amplitude  $TI_{Acc}$ )와 광전자 기반 시스템(Amplitude  $TI_{Os}$ )에서 측정된 체위 떨림 진폭의 상관관계를 나타낸다. 각 시스템에서 측정된 체위 떨림 진폭은 모든 방향에서 유의한 양의 상관(좌우 방향:  $r=0.76$ ,  $p<0.001$ ; 상하 방향:  $r=0.70$ ,  $p<0.001$ )

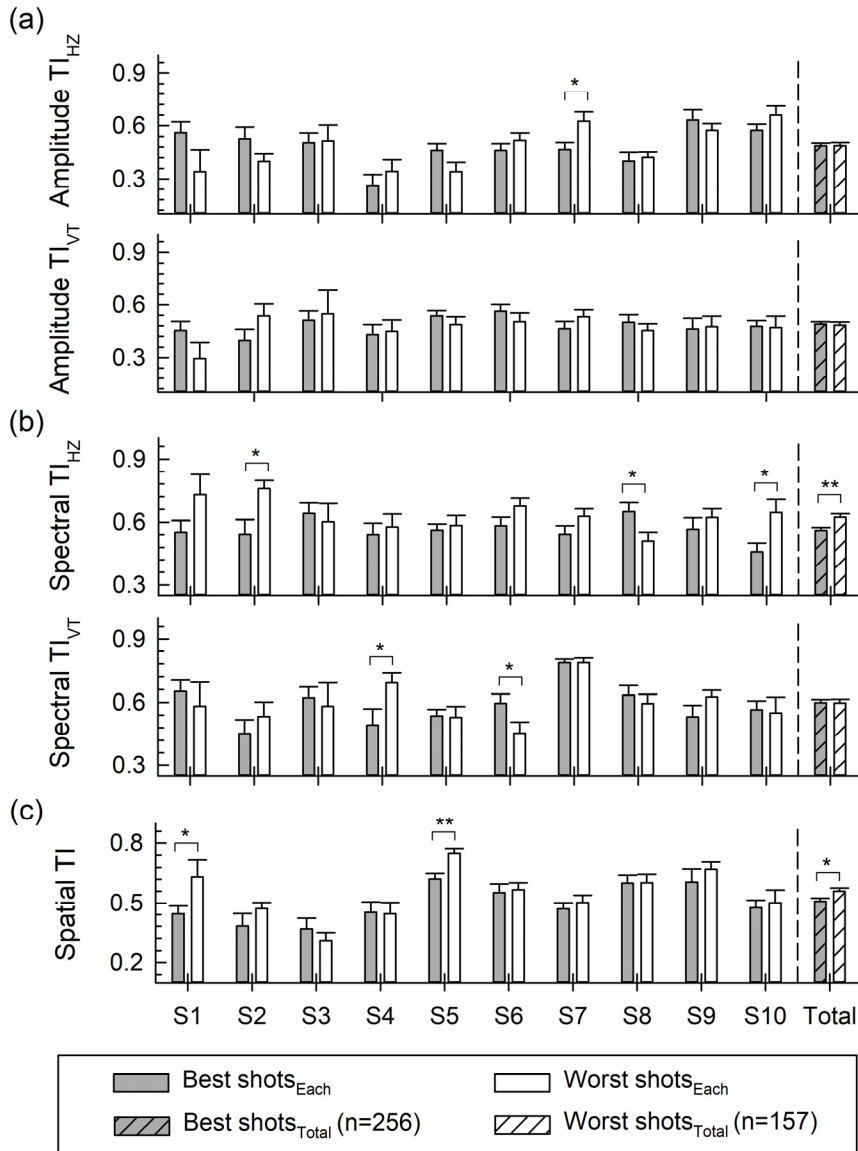


Fig. 4. The means and standard errors of the (a) amplitude tremor index, (b) spectral tremor index in the horizontal (Spectral  $TI_{HZ}$ ), vertical (Spectral  $TI_{VT}$ ) directions, and (c) spatial tremor index (Spatial  $TI$ ) measured in each shooter ( $S_i$ ,  $i$ : shooter number) and entire shooter (Total). \* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ .

을 보여주었다. Fig. 3의 관계식에 따르면 가속도 센서의 체위 떨림 진폭은 광전자 기반 시스템에서 측정된 체위 떨림 진폭에 비해 상수 약 3배로 비례한다(좌우 방향:  $\beta_1=3.41$ ,  $p<0.001$ ; 상하 방향:  $\beta_1=2.92$ ,  $p<0.001$ ).

Fig. 4는 사격 최상, 최하 격발 간 가속도 센서에서 계산된 지표에 유의한 차이 여부를 보여준다. Fig. 4a는 최상, 최하 격발 간 전체 체위 떨림 진폭 지표에 유의한 차이가 없음을 나타낸다(상하 방향:  $p=0.97$ , 좌우 방향:  $p=0.76$ ). 반면에 Fig. 4b, 4c에 따르면 최상, 최하 격발 간 주파수 및 공간적 패턴 지표는 유의한 차이가 나타났다. Fig. 4b에 따르면, 최하 격발의 전체 좌우 방향 체위 떨림 주파수 지표(Spectral THz)가 최상 격발보다 높았고( $p<0.01$ ), 상하 방향(Spectral THz)에서는 격발 간 유의한 차이가 없었다( $p=0.92$ ). 비록 작은 표본 수로 인해서 통계적 유의수준에 도달하지 못하였으나 대부분의 선수에서 좌우 방향 체위 떨림 주파수 지표가 최하 격발에서 더 높은 것을 확인할 수 있다. 그러나 선수마다 체위 떨림 주파수 지표의 차이는 다르게 나타났고, 일부 선수의 경우에는 오히려 체위 떨림 주파수 지표가 최하 격발에서 더 낮게 나타났다. Fig. 4c에서 전체 선수의 체위 떨림 공간적 패턴(Spatial TI) 지표는 최하 격발에서 유의하게 높았고( $p<0.05$ ), 최하 격발과 최상 격발 간의 차이는 선수 간 큰 편차를 보였지만 대부분의 선수의 경우 최하 격발에서 더 높은 경향이 있었다.

#### 4. 논의

본 연구의 목적은 저가의 가속도 센서를 이용하여 다양한 선수층이 저렴하고 편리하게 사용할 수 있는 사격 훈련 시스템을 개발하고 유효성을 평가하는 것이다. 가속도 센서를 활용하여 체위 떨림을 진폭, 주파수, 공간적 패턴 측면에서 분석하였고, 광전자 기반 시스템과의 비교 및 사격 점수(최상, 최하 격발)에 따른 체위 떨림의 값 비교를 통해 유효성을 검증하였다.

가속도 센서와 광전자 기반 시스템에서 측정된 체위 떨림 진폭 지표를 상관 분석한 결과, 각 시스템의 체위 떨림 진폭 지표 간에는 높은 상관관계(좌우 방향:  $r=0.76$ ; 상하 방향:  $r=0.70$ )가 나타났다. 오차율 20%에 해당하는 광전자 기반 시스템의 오차[22], 선형 가속도만을 측정하는 가속도 센서의 특성에 의한 오차[3]로 인해 상관관계가 저평가 될 수 있음에도 불구하고, 높은 상관계수가 나타나 가속도 센서의 정밀도가 검증되었다. 또

한, 가속도 센서와 광전자 기반 시스템의 체위 떨림 진폭이 3배로 비례하여 사격 시 총구의 움직임은 각속도 움직임을 상당 부분 포함하고 있음을 예상할 수 있었다. 추후 더 정밀하게 총구의 움직임을 측정하기 위해서는 각속도의 측정이 필요할 것이다[28,29].

사격 수행(최상, 최하 격발)에 따른 체위 떨림 지표의 통계적 차이를 평가한 시스템의 유효성 평가에서는 체위 떨림의 진폭 지표는 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 주파수, 공간적 패턴 체위 떨림 지표는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 체위 떨림 진폭 지표의 경우 체위 떨림 외에 다른 총구의 수의적 움직임도 계산에 반영되어 체위 떨림 정량화에 악영향을 준 것으로 예상된다. 주파수와 공간적 패턴 지표의 경우 낮은 주파수( $<1$  Hz[25])에 분포해 있는 수의적 움직임을 필터링하여 체위 떨림을 계산하고 정규화 하여 비율로서 표현하기 때문에 통계적으로 유의한 체위 떨림 지표를 계산할 수 있었다. 주파수 및 공간적 패턴 지표의 통계적인 차이는 최하 격발에서 발생한 체위 떨림의 증가 및 좌우 방향 기계적 결합의 증가를 가속도 센서가 성공적으로 측정하는 것을 의미한다.

체위 떨림과 사격 수행의 관계를 분석한 연구는 선수 그룹 간 연구가 주를 이루고 있다[4-11]. Tang et al.은 공기 권총 종목에서 우수 선수와 비 우수 선수의 체위 떨림을 가속도 센서를 이용하여 분석하였고, 경기력이 높은 우수 선수의 경우 체위 떨림의 진폭, 좌우 방향의 주파수 지표, 공간적 패턴 지표가 낮은 것을 확인하였다[17]. Sattlecker et al.은 공기 소총 종목에서 우수 선수와 비우수 선수의 체위 떨림을 광전자 기반 시스템을 이용하여 분석하였고, 우수 선수의 경우 좌우 방향 체위 떨림 진폭이 유의하게 낮은 것을 확인하였다[6]. 선수 개인 내 사격 수행 정도(최상, 최하 격발)의 관계를 분석한 본 연구는 좌우 방향의 주파수 지표와 공간적 지표의 경우 선행 연구와 유사하게 최상 격발에서 낮은 경향을 보였다. 반면에, 체위 떨림의 진폭 지표는 사격 수행 정도에 따라 유의한 차이를 보이지는 않았다. 이러한 현상은 선수 개인 내 사격 수행 정도에 따른 체위 떨림의 차이가 선수 그룹 간 차이에 비해 적기 때문에 발생한 것으로 예상된다.

사격 수행에 따른 체위 떨림 지표의 차이는 개인 간 다르게 나타났다. 이러한 개인 간 편차(inter-subject variability)는 사격 자세 안정성만으로는 경기력을 모두 설명할 수 없기 때문에 발생한다[30-32]. 사격 자세 안정성은 경기력에 가장 큰 영향을 미치는 요인이지만[31],

경기력은 사격 자세 안정성뿐만 아니라 시각 주의(visual attention), 호흡 및 심박 패턴, 격발 타이밍, 격발 시 총구의 흔들림 등 많은 요인에 의해 영향을 받는다[11, 30]. 또한, 상기 변수가 경기력에 미치는 영향에도 개인 간 편차가 존재한다[9]. 안전도, 집중도 등을 포함한 다중 모달 시스템(multi-modal system)을 설계하여 더 많은 변수를 측정하고 머신러닝 알고리즘을 기반으로 조합한다면, 개인 간 특성을 반영하여 선수의 훈련에 더 효과적인 정보를 제공할 수 있을 것이다[33].

## 5. 결론 및 제언

본 연구에서는 저비용이며, 사용이 간편한 가속도 센서를 이용하여 체위 떨림의 지표를 계산하여 사격 자세 안정성을 측정하는 시스템을 개발하였다. 개발된 사격 훈련 시스템을 통해 계산된 체위 떨림 지표는 개인의 사격 수행과 통계적인 연관을 보여, 개발된 IoT 기반의 사격 훈련 시스템의 유용성을 보였다.

본 연구는 가속도 센서만을 활용하여 체위 떨림을 측정하였으나, 후속 연구에서는 각속도, 지자계 센서가 포함된 9축 관성 센서를 이용한 높은 정밀도의 사격 훈련 시스템 개발을 기대한다. 또한 다양한 종목과 다양한 경기력 수준의 선수를 대상으로 한 추가 검증을 진행하여 다양한 선수층이 사격 훈련 시스템을 활용한 훈련을 경험할 수 있기를 기대한다.

## REFERENCES

- [1] Y. G. Ko. (2011). The effect of visual information on postural sway during pistol aiming. *Korean Journal of Sport Psychology*, 22(3), 1-9.
- [2] M. Lakie. (2011). The influence of muscle tremor on shooting performance. *Experimental Physiology*, 95(3), 441-450.  
DOI: 10.1113/expphysiol.2009.047555
- [3] K. J. Kelleran, S. Morrison & D. M. Russel. (2016). Three-dimensional assessment of postural tremor during goal-directed aiming. *Experimental Brain Research*, 234, 3399-3409.  
DOI: 10.1007/s00221-016-4738-x
- [4] K. Mononen, J. T. Vitasalo, P. Era & N. Konttinen. (2003). Optoelectronic measures in the analysis of running target shooting. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(3), 200-207.  
DOI: 10.1034/j.1600-0838.2003.00130.x.
- [5] K. Mononen, N. Konttinen, J. Vitasalo & P. Era. (2007). Relationships between postural balances, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17, 180-185.  
DOI: 10.1111/j.1600-0838.2006.00549.x
- [6] G. Sattlercker, M. Buchecker, E. Müller & S. J. Lindinger. (2014). Postural balance and rifle stability during standing shooting on an indoor gun range without physical stress in different groups of biathletes. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(1), 171-184.  
DOI: 10.1260/1747-9541.9.1.171
- [7] S. Ihalainen, V. Linnamo, K. Mononen & S. Kuitunen. (2016). Relation of elite rifle shooters' technique-test measures to competition performance. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 11(5), 671-677.  
DOI: 10.1123/ijsp.2015-0211
- [8] S. Ihalainen, S. Kuitunen, K. Mononen & V. Linnamo. (2016). Determinants of elite-level air rifle shooting performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26, 266-274.  
DOI: 10.1111/sms.12440
- [9] S. Ihalainen, K. Mononen, V. Linnamo & S. Kuitunen. (2018). Which technical factors explain competition performance in air rifle shooting? *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(1), 78-85.  
DOI: 10.1177/1747954117707481
- [10] J. Ko, D. Han & K. M. Newell. (2018). Skill level changes the coordination and variability of standing posture and movement in a pistol-aiming task. *Journal of Sports Sciences*, 36(7), 809-816.  
DOI: 10.1080/02640414.2017.1343490
- [11] E. Olsson & M. S. Laaksonen. (2021). Key technical components for air pistol shooting performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 1-13.  
DOI: 10.1080/24748668.2021.1891820
- [12] J. Stuart & J. Atha. (1990). Postural consistency in skilled archers. *Journal of Sports Sciences*, 8(3), 223-234.  
DOI: 10.1080/02640414.2017.1343490
- [13] P. A. Hsu & B. C. Cooley. (2003). Effect of exercise on microsurgical hand tremor. *Microsurgery*, 23, 323-327.  
DOI: 10.1002/micr.10156
- [14] P. H. Mansur et al. (2007). A review on techniques for tremor recording and quantification. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 35(5), 343-362.  
DOI: 10.1615/critrevbiomedeng.v35.i5.10
- [15] B. Pellegrini, L. Fares, G. Nollo & F. Schena. (2004). Quantifying the contribution of arm postural tremor to the outcome of goal-directed pointing task by displacement measures. *Journal of Neuroscience Methods*, 139(2), 185-193.

- DOI: 10.1016/j.jneumeth.2004.04.025
- [16] B. Carignan, J. F. Daneault & C. Duval. (2012). The organization of upper limb physiological tremor. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1264-1284.  
DOI: 10.1007/s00421-011-2080-3
- [17] W. T. Tang, W. Y. Zhang, C. Huang, M. S. Young & I. S. Hwang. (2008). Postural tremor and control of the upper limb in air pistol shooters. *Journal of Sports Sciences*, 26(14), 1579-1587.  
DOI: 10.1080/02640410802287063
- [18] A. Dovzhenok & L. Rubchinsky. (2012). On the origin of tremor in parkinson's disease. *PLOS ONE*, 7(7), e41598  
DOI: 10.1371/journal.pone.0041598
- [19] F. Vial, P. Kassavetis, S. Merchant, D. Haubenberger & M. Hallett. (2019). How to do an electrophysiological study of tremor. *Clinical Neurophysiology Practice*, 28(4), 134-142.  
DOI: 10.1016/j.cnp.2019.06.002
- [20] J. T. Vitasalo, P. Era, N. Konttinen, H. Mononen, K. Mononen & K. Norvapalo. (2001). Effects of 12-week shooting training and mode of feedback on shooting scores among novice shooters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 11(6), 362-368.  
DOI: 10.1034/j.1600-0838.2001.110608.x
- [21] I. Zanevskyy, Y. Korostylova & V. Mykhaylov. (2009). Specificity of shooting training with the optoelectronic target. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 11(4), 63-70.  
DOI: 10.1177/1754337114536554
- [22] I. Zanevskyy, Y. Korostylova & V. Mykhaylov. (2014). Accuracy of SCATT optoelectronic shooting system.. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 228(4), 270-275.  
DOI: 10.1177/1754337114536554
- [23] I. Zanevskyy, Y. Korostylova & V. Mykhaylov. (2014). Shot moment in optoelectronic training in the air-pistol shooting. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 4(2), 67-78.
- [24] I. Zanevskyy, Y. Korostylova & V. Mykhaylov. (2010). Aiming point trajectory as an assessment parameter of shooting performance. *Human Movement*, 13(3), 211-217.  
DOI: 10.2478/v10038-012-0024-3
- [25] M. Ferdjallah, G. F. Harris & J. J. Wertsch. (1999). Instantaneous postural stability characterization using time-frequency analysis. *Gait & Posture*, 10(2), 129-134.  
DOI: 10.1016/s0966-6362(99)00023-5
- [26] W. Bezdek. (1999). *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithm*. New York : Plenum.
- [27] W. Joo & F. C. Rhee. (2017). Determining the fuzzifier values for interval type-2 possibilistic Fuzzy c-means clustering. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 27(2), 99-105.
- [28] H. Joo & J. Woo. (2020). Development of a squat angle measurement system using an inertial sensor. *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(10), 355-361.
- [29] J. Cho. (2020). Human activity recognition using sensor fusion and kernel discriminant analysis on smartphones. *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(5), 9-17.
- [30] M. S. Laaksonen, T. Finkenzeller, H. Holmberg & G. Sattlecker. (2018). The influence of physiobiomechanical parameters, technical aspects of shooting, and psychophysiological factors on biathlon performance: A review. *Journal of Sport and Health Science*, 7(4), 394-404.  
DOI: 10.1016/j.jshs.2018.09.003.
- [31] P. Era, N. Konttinen, P. Mehto, P. Saarela & H. Lyytinen. (1996). Postural stability and skilled performance-a study on top-level and naive rifle shooters. *Journal of Biomechanics*, 29(3), 301-306.  
DOI: 10.1016/0021-9290(95)00066-6
- [32] A. Baca & P. Kornfeind. (2021). Stability analysis of motion patterns in biathlon shooting. *Human Movement Science*, 31(2), 295-302.  
DOI: 10.1016/j.humov.2010.05.008
- [33] J. Guo, L. Yang, A. Umek & R. Tomazic. (2020). A Random forest-based accuracy prediction model for augmented biofeedback in a precision shooting training system. *Sensors*, 20, 4512.  
DOI: 10.3390/s20164512

## 주 호 성(Hyo-Sung Joo)

[정회원]



- 2015년 8월 : 울산대학교 전기공학부 의공학전공(공학사)
- 2017년 2월 : 울산대학교 의용생체공학전공(공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기전자컴퓨터공학전공 박사과정
- 관심분야 : 생체신호처리, 인공지능

· E-Mail : mywngprud1@gmail.com

## 우 민 정(Min-Jung Woo)

[정회원]



- 2008년 12월 : University of Maryland, Department of Kinesiology (운동학박사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 울산대학교 스포츠과학부 교수
- 관심분야 : 인지행동신경과학, 스포츠 및 운동 생리심리학

· E-Mail : mjwoo@ulsan.ac.kr



우 지 환(Ji-Hwan Woo)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학사)
- 2006년 8월 : 한양대학교 의용생체공학전공(공학박사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 의공학전공 교수
- 관심분야 : 생체신호처리, 인공지능, 계산신경공학

· E-Mail : [jhwoo@ulsan.ac.kr](mailto:jhwoo@ulsan.ac.kr)