

## 경두개직류자극(tDCS)이 엘리트 사격선수의 고유수용성 감각, 스포츠 집중력 및 기록사격에 미치는 영향

## The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS) on Proprioception, Sports Concentration, and Shooting Scores in Elite Shooting Athletes

박득수(모션인사이트연구소/연구원) · 권일수\* (한국체육대학교/강사)

Deuk-su, Park Motioninsight Lab · Il-su, Kwon Korea National Sport University

### 요약

본 연구는 엘리트 사격선수들을 대상으로 경두개직류자극(tDCS) 적용이 경기력 요인에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시되었다. 본 연구의 대상은 서울 소재의 고등학교 사격부 11명(남 7명, 여 4명)을 대상으로 하였으며, 교차연구설계를 통해 무처치(CON Group: CG), 위장처치(Sham Group: SG), 경두개직류자극(tDCS Group: tG)으로 무작위 배정 후 2주간 중재, 2주간 휴식 후 교차하여 실험하였다. 측정변인은 고유수용성 감각, 스포츠 집중력, 기록사격이며, 일원변량분석(one-way ANOVA)로 변화를 분석하였다. tDCS 적용 유무에 따른 사격선수들의 고유수용성 감각의 변화를 비교 분석한 결과, 주측( $p < .05$ ) 및 비주측( $p < .001$ ) 고유수용성 감각에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 사후분석 결과, 주측에서 CG보다 tG에서 고유수용성 감각에  $p < .05$  수준의 유의한 향상이 나타났으며, 비주측은 CG와 SG( $p < .001$ ), CG와 tG( $p < .001$ ) 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 그러나 SG와 tG 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 tDCS의 적용에 따른 스포츠 집중력, 기록사격 점수에는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 종합하면, 단기적인 tDCS의 활용과 사격선수들의 경기력 향상을 위한 프로그램으로써 추후 중장기적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

핵심 단어: 경두개직류자극, 고유수용성 감각, 스포츠 집중력, 기록사격, 사격선수

### Abstract

This study was conducted to determine the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on performance factors in elite shooting athletes. The subjects were recruited 11(7 male, 4 female) in high school located in Seoul. With a cross-sectional study design, they were randomly assigned to no treatment (CG), sham treatment (SG), and transcranial direct current stimulation (tG). Measurements were conducted in a cross-over manner after 2 week of intervention and 2weeks of rest. The measured variables were proprioception, sports concentration, and shooting scores, and the results were analyzed using one-way ANOVA. By with and without tDCS application, statistically significant differences were found in dominant ( $p < .05$ ) and non-dominant ( $p < .001$ ) proprioception. In post hoc analysis, a significant improvement of  $p < .05$  was found in tG than in CG in dominant side. In non-dominant side, statistically significant differences were found between CG and SG( $p < .001$ ) and between CG and tG( $p < .001$ ). However, no significant difference was found between SG and tG. There was no statistically significant difference in sports concentration and shooting scores. In summary, it suggests that mid- to long-term research is needed to confirm the effect of tDCS to improve performance of shooting athletes.

Key words: Transcranial Direct Current Stimulator(tDCS), Proprioception, Sports concentration, Record shooting, Elite shooters

\* emilykwon@naver.com

## I. 서론

사격은 대표적인 정적 스포츠로, 자세의 흔들림 없는 안정성이 요구되며, 자세의 불안정은 총구의 흔들림을 유발하여 사격 기록에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Ball, Best, & Wrigley, 2003; Era, Konttinen, Mehto, Saarela, & Lyytinen, 1996). 사격 경기의 경기력 평가는 주어진 시간 안에 표적지에 격발하여 점수를 평가하는 방식으로, 고도의 집중력과 심리적 안정감, 균형, 총구의 안정성 등을 요구하는 스포츠이다(Mononen, Konttinen, & Era, 2007).

사격의 구성 동작은 준비, 조준, 호흡, 격발 등의 연속적인 형태이며, 효과적인 사격을 위해 요구되는 것은 사수의 안정된 준비 자세, 총구의 궤적과 이동 변위, 사격 동작의 일관성 유지, 자세 균형, 호흡 및 타이밍 등으로 알려져 있다(우철호 및 이계산, 2000). 따라서 우수한 경기력을 위해 표적지의 중앙에 총구를 고정하여 일관되고 정확한 격발을 수행하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 이러한 기술 수행에 있어 일관된 감각의 발달이 중요한데, 선행연구에서는 어깨와 체간의 균형이 중요한 요소로 언급하였다(Tang, Zhang, Huang, Young, & Hwang, 2008). 신체의 움직임은 최소화하고 일정하고 정확한 격발을 위한 고유수용성 감각의 발달은 사격의 경기력 향상에 중요할 것이다. 고유수용성 감각의 주요 역할을 살펴보면, 신체의 각 분절 위치와 움직임에 관한 정보를 운동조절계로 전달하는 것이며(Riemann & Lephart, 2002), 이러한 감각은 공간에서 자세 인식과 운동, 위치, 중량, 근수축 타이밍에 관여하고, 자세와 운동을 조절한다(Kandel et al., 2000). 사격 자세 동안에는 분절 사이의 미세한 수준의 제어가 필요하며, 사격 자세에서 떨림의 제어는 정신적, 정서적 제어와 감각 입력, 움직임에 따라 변화한다고 알려져 있다(Hwang & Wu, 2006; Morrison & Keogh, 2001). 따라서 사격 경기력 향상을 위해 고유수용성 감각의 발달이 요구될 것으로 판단되며, 효과적으로 고유수용성 감각의 활성화를 위한 방안 모색이 필요하다.

사격의 경기력을 좌우하는 요인 중 선행연구의 보고에 따르면, 비슷한 실력의 상위권 선수들의 경우, 최소 50%가 심리기술에 의해 승패가 좌우된다고 보고하였다(Foster & Porter, 1986). 특히나 사격은 정적인 상태에서 고도의 집중이 필요한 종목으로, 시합 환경에서 방해요인을 이겨내고 높은 수준의 경기력을 발휘하기 위해 집중력의 향상은 필수적이다. 집중이란 한정된 시간 동안 선택된 자극에 주의를 유지하는 능력으로 개념화할 수 있으며(김병준 및 심세영, 2009), 사격, 양궁, 골프 등과 같이 정교한 움직임을 요구하는 종목일 경우 그 필요성이 더욱 요구될 것이다. 선행연구에서는 일반적인 훈련뿐만 아니라, 각종 장비와 식이요법 등을 포함한 훈련(남상남 및 이겨라, 2014)과 다기능 스포츠 음료를 통한 집중력 향상(윤진호, 김진호 및 오재근, 2017) 등, 다양한 과학적인 방법을 통해 경기력 및 집중력 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

최근에는 과학기술의 발달로 다양한 훈련 보조 장비를 통

해 선수들의 경기력 향상을 위한 방법을 모색하고 있다. 그 중 경두개직류자극(tDCS)은 전극을 통해 두피의 대뇌결질의 흥분을 조절하는 비침습적 방법으로(Nitsche & Paulus, 2000), 쉽고 안전하게 운동 능력을 향상시키는 유망한 방법이다(Kamali et al., 2019). 선행연구를 살펴보면, 과거에는 파키슨(Benninger et al., 2010), 뇌졸중(Tahtis, Kaski, & Seemungal, 2014) 등, 질병 치료 연구가 주를 이루었으나, 최근에는 운동선수들의 운동 기능 향상에 관한 연구가 이루어지고 있다(Hazime et al., 2017). 테니스 선수들을 대상으로 tDCS의 처치 직후와 5일 후에 목표 지점에 공을 넣는 테니스 서브 능력을 비교한 결과, 단기간 및 장기간의 서브 능력을 크게 향상한 것으로 나타났다.

선행연구의 결과와 앞으로의 기술 발전, 경기력 향상과 같은 필요성에 따라 본 연구는 경두개직류자극(tDCS)의 적용이 사격 선수들의 경기력 요인에 미치는 영향을 살펴보고, 선수들의 경기력 향상을 위한 보조 도구의 활용 방안에 대한 기초자료를 제공하는 것에 목적이 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 서울 소재의 고등학교 사격부 선수를 11명(남7명, 여 4명)을 대상으로 하였다. 설문 및 측정 참여 전 연구의 목적과 절차에 대하여 설명하였으며, 서면동의서를 작성하였다. 본 연구 참여에 제한되는 약물 복용 또는 근골격계 질환 등으로 제한이 있는 경우 제외하였다. 대상자의 신체적 특성은 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 엘리트 사격선수들의 인구통계학적 특성 (Mean±SD)

	Age (yr)	Career (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
M (n=7)	18.43 ±0.53	4.86 ±1.35	171.71 ±5.02	71.86 ±8.47	24.45 ±3.61
F (n=4)	19.00 ±0.00	4.75 ±0.50	160.1 ±6.06	54.25 ±7.63	21.10 ±1.41

### 2. 연구내용 및 절차

본 연구는 사격선수를 대상으로 tDCS의 효과를 검증하기 위한 연구로 동일한 대상자를 교차하여 실시하는 교차연구설계(cross over design)로 진행하였으며, 중재는 경두개직류자극(tDCS; tG), 위약(Sham; SG), 무처치(Control; CG)으로 구분하였다. 반복된 측정에 따른 중첩된 효과를 배제하기 위해 무작위로 중재를 배정하였고, 2주간 중재 후 2주간의 휴지기(wash out periods) 후 다음 중재 프로그램에 참여하도록 하였다(Dedoncker, Brunoni, Baeken, & Vanderhasselt, 2016).

### 3. 측정항목 및 방법

#### 1) 신장 및 체중

본 연구 대상자의 신장 및 체중의 측정은 자동신장계(DS-103, JENIX, Korea)를 이용하여 측정하였으며, 신장, 체중을 공식에 대입하여 BMI(kg/m<sup>2</sup>)를 산출하였다.

#### 2) 고유수용성감각(Proprioception)

본 연구에서는 고유수용성 감각 중 관절위치감각(joint position sense)을 알아보기 위해 ART(active relocation test)를 실시하였다. 이 검사를 위해 대상자는 벽에서 1m 떨어진 곳에 테이프 표시된 위치에 서서 검지에 레이저를 부착시켰으며, 손가락이 구부러지거나 레이저의 위치가 움직이지 않도록 고정하였다(Glendon & Hood, 2016). 어깨 관절의 90°전방 굴곡을 실시하여 위치를 5초간 인지 후, 반복하여 실시하였을 때 오차의 거리를 측정하였으며, 3회의 시도 중 가장 낮은 값을 사용하였다(Glendon & Hood, 2016).

#### 3) 스포츠 집중력

본 연구에서 스포츠 집중력을 알아보기 위해 박진성 및 김성현(2007)이 개발한 스포츠 집중력 척도를 활용하였다. 이 설문은 제1 요인 목표설정 영역(13문항), 제2 요인 주의집중 영역(14문항), 제3 요인 자신감 영역 10문항으로 구성되어 있다. 점수가 높을수록 각 요인의 결과가 긍정적인 것으로 해석된다. 척도 전체의 Cronbach  $\alpha$ 계수는 .952로 스포츠 집중력을 평가하는 척도로서 신뢰도가 입증되었다.

#### 4) 기록사격

공기권총의 경우, 평소 사격 연습 때와 동일하게 10m 거리에서 1시간 15분 동안 60발 격발하고, 국제 경기규칙을 준수하여 진행하였다(Kim, 2016). 사격 점수는 600점 만점 기준이다.

### 4. 중재방법

대상자는 헤어밴드 형태의 tDCS(POCUS®, Watson & Company, Korea)를 착용하여 1주간 일일 1회, 총 7회(1mA 강도, 30분) 적용하였다. 양극 및 음극 전극은 하이드로겔(hydrogel) 타입의 패치를 이마의 등외측 전두엽 피질 왼쪽(F3) 및 오른쪽(F4) 부위에 닿도록 tDCS 장비에 각각 부착하여 머리에 착용하였다. 하이드로겔 패치는 3회 사용 후 교체하였으며, 패치를 부착한 이마 부위에 얼얼한 느낌 혹은 가려움, 두통 혹은 어지러움과 같은 이상 현상 발생 시 즉시 사용을 중지하도록 하였다(Jeong et al., 2023). Sham 처치는 tDCS 기기를 활용하고, 전기자극을 배제하여 진행하였다.

### 5. 자료처리 및 분석방법

본 연구에서 얻어진 모든 자료는 Window SPSS PC 25.0

통계 프로그램을 이용하여 기술통계치(평균과 표준편차)를 확인하였으며, 처치 방법에 따른 평균 차이를 검증하기 위해 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 통계적으로 유의한 차이가 나타난 경우, 사후 검증 방법으로 Bonferroni를 실시하였다. 이때, 모든 통계적 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

## III. 연구결과

### 1. 고유수용성 감각

tDCS 적용 유무에 따른 사격선수들의 고유수용성 감각의 변화를 비교 분석한 결과, 주측 고유수용성 감각에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p = .026$ ), 사후분석 결과, 무처치(CG)보다 tDCS(tG)를 적용하였을 때, 고유수용성 감각이 통계적으로  $p < .05$  수준의 유의한 향상이 있는 것으로 나타났다.

비주측 고유수용성 감각 또한 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p < .001$ ), 사후분석 결과, CG와 SG( $p < .001$ ), CG와 tG( $p < .001$ ) 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. SG와 tG 간에는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

표 2. tDCS 적용에 따른 고유수용성 감각 차이

	Group	M±SD	F	sig.	post-hoc
주측	CG <sup>a</sup>	6.74±2.36	4.108	.026*	a< c .026*
	SG <sup>b</sup>	5.75±2.65			
	tG <sup>c</sup>	3.76±2.43			
비주측	CG <sup>a</sup>	8.96±1.33	24.991	.000***	a< b a< c .000***
	SG <sup>b</sup>	6.18±1.45			
	tG <sup>c</sup>	5.07±1.21			

\*: indicates significant difference ( $p < .05$ )

\*\*\*:  $p < .001$

CG; Control group, SG; Sham group, tG; tDCS group  
Values are expressed as mean (M)±standard deviation (SD)

### 2. 스포츠 집중력

중재 방법에 따른 사격선수들의 스포츠 집중력의 차이를 분석한 결과, 목표설정, 주의집중, 자신감 영역 모두에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

표 3. tDCS 적용에 따른 목표의 차이

	Group	M±SD	F	sig.
목표	CG	47.36±7.21	1.076	0.354
	SG	50.36±7.10		
	tG	51.82±7.47		
주의집중	CG	49.91±12.28	0.222	0.802
	SG	52.00±8.20		
	tG	52.64±9.18		
자신감	CG	37.45±7.71	0.149	0.862
	SG	37.73±6.45		
	tG	39.00±7.06		

CG; Control group, SG; Sham group, tG; tDCS group  
Values are expressed as mean (M)±standard deviation (SD)



### 3. 기록사적

중재 방법에 따른 사격선수들의 기록사적 점수의 차이를 비교 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

표 4. tDCS 적용에 따른 기록사적 점수의 차이

Group	M±SD	F	sig.
CG	586.17±31.81	0.002	0.998
SG	586.50±32.05		
tG	587.00±34.00		

CG; Control group, SG; Sham group, tG; tDCS group  
Values are expressed as mean (M)±standard deviation (SD)

## IV. 논의

본 연구는 경두개직류자극(tDCS)이 엘리트 사격선수들의 경기력 요인에 미치는 영향을 살펴보고, 선수들의 경기력 향상을 위한 보조 도구로서의 활용 방안에 대하여 논의하고자 한다.

사격은 표적을 조준할 때, 신체의 흔들림을 통제하여 총열의 움직임을 최소화하는 것이 필요하며, 고도의 정확성이 요구된다. 따라서 우수한 경기력을 위해 고유수용성 감각의 활성화가 필요할 것이다. 고유수용성 감각은 사지의 관절, 근육, 힘줄 등에서 중추신경계로 전달되는 피드백(feedback)의 한 형태로(Sherrington, 1906), 신체 분절의 위치와 움직임에 관한 정보를 운동조절계로 전달하는 것이다(Riemann et al., 2002). 이러한 고유수용성 감각은 공간에서 자세 인식, 운동, 위치, 중량 감각 및 근육축 타이밍에 관여하며, 조절한다(Kandel et al., 2000). 특히 고유수용성 감각 중 관절 위치감각(joint position sense, JPS)은 자세의 위치를 식별하고 재현하는 능력이라고 할 수 있다(Yang, Jan, Hung, Yang, & Lin, 2010).

본 연구에서는 tDCS의 적용에 따른 사격선수들의 고유수용성 감각의 변화를 분석하였다. 그 결과 사격에서 사용하는 주측 팔과 비 주측 팔 모두 통계적으로 유의미한 긍정적인 결과가 나타났다. 그러나 비주측의 고유수용성 감각의 편차가 더욱 크게 나타났는데, 이러한 결과를 해석해보면, 주측 팔의 경우 오랜 훈련을 통해 고유수용성 감각이 충분히 활성화되어 그 차이가 크지 않은 것으로 판단되며, 비주측 팔의 경우 상대적으로 고유수용성 감각의 발달이 부족하여 tDCS의 효과가 더욱 크게 나타난 것으로 판단된다.

스포츠에서 집중력은 매우 중요한 요인 중 하나로, 박진성 및 김성현(2007)은 ‘스포츠의 활동 과정에서 발생할 수 있는 다양한 변수들을 선별하여 목표로 하는 것에 자신의 의식과 주의를 기울이는 태도나 능력’으로 정의하였다. 이러한 스포츠 집중력은 목표를 설정하고, 주의를 집중하며, 자신감을 가지고 훈련 및 시합에 임하는 것이 요구된다.

본 연구에서는 경두개직류자극(tDCS)에 따른 사격선수들의 스포츠 집중력 변화를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이러한 이유는 사격의 종목 특성에 의해 선수

들의 표적과 기술 행위에 대한 집중력이 매우 높은 상태였던 것으로 생각된다. 선행연구를 살펴보면, 엘리트 양궁선수를 대상으로 tDCS를 적용한 결과, 연구대상자들이 최고 수준의 엘리트 운동선수들이기 때문에 천장 효과에 원인이 있다고 하였다(김은국, 유진영 및 김진호, 2018). 이는 본 연구와 같은 결과로, 본 연구에서도 사격선수들이 많은 시합과 연습을 통해서 스포츠 상황에서 집중력 발휘를 요구하는 상황을 많이 겪고 통제를 한 선수들에게 단기기간의 tDCS 적용으로 인한 스포츠 집중력의 변화를 확인하기는 어려웠던 것으로 판단된다. 또한 통계적 차이는 나타나지 않았으나 전반적으로 tDCS의 적용에 따른 효과가 더 긍정적인 경향을 나타내는 것으로 보아, 추후 연구에서는 중장기적 적용을 통한 효과 검증이 필요할 것으로 판단된다.

기록사적은 공기권총의 경우, 10m 거리에서 1시간 15분 동안 60발을 격발하여(Kim, 2016), 600점 만점 기준으로 진행하는 방식이다. 이러한 기록사적을 사격 경기력을 평가하기 위한 가장 직접적인 방법이다. 본 연구에서 tDCS 적용에 따른 기록사적 점수의 차이를 비교한 결과, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이러한 결과는, 앞서 서술한 바와 마찬가지로, 사격선수들이 평소의 기술 훈련 및 경험, 경력 등에 의해 이미 높은 수준의 기술을 보유하고 있음에 나타난 결과로 판단된다. 따라서 추후 연구에서 다른 평가 방법 또는 중장기적 적용과 대상자 수준의 다양화 등이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 내용을 종합하면, tDCS의 단기적 적용이 사격선수들의 고유수용성 감각에 유의미한 결과를 보였으나, 스포츠 집중력과 기록사적에서는 유의한 차이가 나타나지 않은 점을 볼 때, 중장기적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## V. 결론 및 제언

본 연구는 경두개직류자극(tDCS)이 엘리트 사격선수들의 경기력 요인에 미치는 영향을 알아보고자 실시되었으며, 본 연구의 결과에 따른 결론 및 제언은 다음과 같다.

1. tDCS 적용 유무에 따른 사격선수들의 고유수용성 감각의 변화를 비교 분석한 결과, 주측 고유수용성 감각에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p < .05$ ), 사후분석 결과, CG보다 tG에서 고유수용성 감각이 통계적으로  $p < .05$  수준의 유의한 향상이 있는 것으로 나타났다. 비주측 고유수용성 감각 또한 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p < .001$ ), 사후분석 결과, CG와 SG( $p < .001$ ), CG와 tG( $p < .001$ ) 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. SG와 tG 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. tDCS의 적용은 스포츠 집중력 중, 목표설정, 주의집중, 자신감 영역 모두에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3. tDCS의 적용은 기록사적 점수에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

종합하면, 단기적인 tDCS의 활용과 사격선수들의 경기력 향

상을 위한 프로그램으로써 추후 중장기적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 김병준, 김세영. (2009). 스포츠에서 집중력 향상을 위한 심리행동적 기법. *스포츠과학논문집*, 21, 79-93.
- 김은국, 유진영, 김진호. (2018). 경두개 직류전류자극(transcranial Direct Current Stimulation)이 엘리트 양궁선수들의 경기력 향상에 미치는 효과. *한국스포츠학회지*, 16(3), 437-446.
- 남상남, 이계라. (2014). 파라나 섭취가 장시간 운동 시 혈중 에너지 기질 변화에 미치는 영향. *디지털융복합연구*, 12(12), 581-588.
- 박진성, 김성현. (2007). 스포츠 집중력 척도 개발 및 타당화. *한국스포츠심리학회지*, 18(3), 87-100.
- 우철호, 이계산. (2000). 권총사격의 운동역학적 분석. *한국운동역학회지*, 9(2), 81-101.
- 윤진호, 김진호, 오재근. (2017). 다기능 스포츠 음료가 양궁 선수들의 집중력에 미치는 영향. *스포츠사이언스*, 34(2), 167-174.
- Ball, K., Best, R., & Wrigley, T. (2003). Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: inter- and intra-individual analysis. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 559-566.
- Benninger, D. H., Lomarev, M., Lopez, G., Wassermann, E. M., Li, X., Considine, E., & Hallett, M. (2010). Transcranial direct current stimulation for the treatment of Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 81(10), 1105-1111.
- Dedoncker, J., Brunoni, A. R., Baeken, C., & Vanderhasselt, M. A. (2016). The effect of the interval-between-sessions on prefrontal transcranial direct current stimulation (tDCS) on cognitive outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Neural Transmission*, 123, 1159-1172.
- Dover, G., & Powers, M. E. (2004). Cryotherapy does not impair shoulder joint position sense. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(8), 1241-1246.
- Glendon, K., & Hood, V. (2016). Upper limb joint position sense during shoulder flexion in healthy individuals: A pilot study to develop a new assessment method. *Shoulder & Elbow*, 8(1), 54-60.
- Era, P., Konttinen, N., Mehto, P., Saarela, P., & Lyytinen, H. (1996). Postural stability and skilled performance—a study on top-level and naive rifle shooters. *Journal of Biomechanics*, 29(3), 301-306.
- Foster, J., & Porter, K. (1986). *The mental athlete: Inner training peak performance*. Janert, Ltd.
- Glendon, K., & Hood, V. (2016). Upper limb joint position sense during shoulder flexion in healthy individuals: A pilot study to develop a new assessment method. *Shoulder & Elbow*, 8(1), 54-60.
- Grigg, P. (1994). Peripheral neural mechanisms in proprioception. *Journal of Sport Rehabilitation*, 3(1), 2-17.
- Hazime, F. A., da Cunha, R. A., Soliaman, R. R., Romancini, A. C. B., de Castro Pochini, A., Ejnisman, B., & Baptista, A. F. (2017). Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) increases isometric strength of shoulder rotators muscles in handball players. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(3), 402.
- Hwang, I. S., & Wu, P. S. (2006). The reorganization of tremulous movements in the upper limb due to finger tracking maneuvers. *European Journal of Applied Physiology*, 98(2), 191-201.
- Jeong, H., Song, I. U., Chung, Y. A., Kim, D., Na, S., & Lee, S. H. (2023). Changes of regional cerebral blood flow after repeated transcranial direct current stimulation in healthy participants: a pilot study. *Acta Radiologica*, 64(9), 2590-2593.
- Kamali, A. M., Saadi, Z. K., Yahyavi, S. S., Zarifkar, A., Aligholi, H., & Nami, M. (2019). Transcranial direct current stimulation to enhance athletic performance outcome in experienced bodybuilders. *PloS one*, 14(8), e0220363.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S., Hudspeth, A. J., & Mack, S. (Eds.). (2000). *Principles of neural science* (Vol. 4, pp. 1227-1246). New York: McGraw-hill.
- Kim, M. S. (2016). The kinematic factors of physical motions during air pistol shooting. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 26(2), 197-204.
- Konttinen, N., Lyytinen, H., & Viitasalo, J. (1998). Rifle-balancing in precision shooting: behavioral aspects and psychophysiological implication. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 8(2), 78-83.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 80.
- Mononen, K., Konttinen, N., Viitasalo, J., & Era, P. (2007). Relationships between postural balance, rifle stability

- and shooting accuracy among novice rifle shooters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(2), 180–185.
- Morrison, S., & Keogh, J. (2001). Changes in the dynamics of tremor during goal-directed pointing. *Human Movement Science*, 20(4–5), 675–693.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*, 527(Pt 3), 633.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 80.
- Sherrington, C. S. (1906). On the proprioceptive system, especially in its reflex aspect. *Brain*, 29:467–482.
- Stubbeman, W. F., Raglan, V., Khairkhah, R., Vanderlaan, K., & Eyeler, J. (2017). tDCS Training Improves Expert Tennis Player Serving Performance. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation*, 10(1), e11.
- Tahtis, V., Kaski, D., & Seemungal, B. M. (2014). The effect of single session bi-cephalic transcranial direct current stimulation on gait performance in sub-acute stroke: a pilot study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 32(4), 527–532.
- Tang, W. T., Zhang, W. Y., Huang, C. C., Young, M. S., & Hwang, I. S. (2008). Postural tremor and control of the upper limb in air pistol shooters. *Journal of Sports Sciences*, 26(14), 1579–1587.
- Yang, J. L., Jan, M. H., Hung, C. J., Yang, P. L., & Lin, J. J. (2010). Reduced scapular muscle control and impaired shoulder joint position sense in subjects with chronic shoulder stiffness. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(2), 206–211.