

경두개직류자극 유무에 따른 골프 퍼팅 수행력 비교 분석

이재우^{1,*} · 박준성^{2,†}

¹건국대학교 스포츠과학과, 학생

²건국대학교 스포츠융복합연구소, 연구원

(2021년 10월 21일 접수: 2021년 12월 13일 수정: 2021년 12월 16일 채택)

Comparison of Golf Putting Performance on Transcranial Direct Current Stimulation

Jae-Woo Lee^{1,*} · Jun-Sung Park^{2,†}

¹*Department of Sports Science, Konkuk University*

²*Sports Convergence Institute, Konkuk University*

(Received October 21, 2021; Revised December 13, 2021; Accepted December 16, 2021)

요 약 : 본 연구의 목적은 경두개직류자극(tDCS) 유무에 따른 골프 퍼팅 수행력을 비교 분석하는 것이었다. 본 연구에 참여한 대상자는 신체 건강한 대학 골프선수 10명이 참여하였다. 1대의 SAMPutt basic unit과 tDCS를 이용하여 퍼팅 시 발생하는 운동학적 자료 수집 및 분석을 실시하였다. 통계분석은 경두개직류자극 유무에 따른 퍼팅 수행력을 비교하기 위해 paired t-test를 실시하였으며, 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다. 연구결과, 평지 퍼팅에서 FA와 BS가 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 훅 2° 퍼팅에서 IS가 통계적으로 유의하게 나타났다. 본 연구결과를 바탕으로 추후 경두개직류자극이 퍼팅 시 신체 균형 유지와의 관련성을 규명하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

주제어 : 골프 퍼팅, 경두개직류자극, 고유수용성감각, 경사도, 퍼팅 수행력

Abstract : The purpose of this study was to compare the golf performance on transcranial direct current stimulation(tDCS). Ten collegiate golfers were participated. SAMPutt basic unit was used to analyze the kinematic data of putter head. A putting platform and a tDCS were used for putting tasks. It was performed paired t-test to compare between before tDCS and after tDCS. A significant level of .05 using SPSS 24.0. Face at aim and backswing variables of putter head were significantly different during flat putting. Impact spot of putter head was significantly different during 2° of hook slope. However, there were not significantly different others slope angle. It was found that transcranial direct current stimulation had a positive effect on kinematic variables. Based on these results, further research

[†]Corresponding author

(E-mail: dkny2361@naver.com)

is needed to confirm the effect of transcranial direct current stimulation on body stability during putting task.

Keywords : Golf Putting, Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS), Proprioception, Ground Slope, Putting Performance

1. 서론

골프는 티샷(tee shot)을 제외한 모든 샷은 지면이 고르지 못한 곳에서 수행한다. 그 중 퍼팅(putting)은 지름 10.8 cm의 홀(hole)에 볼을 넣어야하기 때문에 다양한 경사면에 대한 적응과 일관성 있는 스트로크를 요구한다[1]. 이러한 환경적인 요인에서의 신체 활동은 고유수용성감각, 시각, 전정기관의 조화와 중추통합이 이루어져야 한다[2]. 특히 그린(green)의 경사도와 같이 환경적 상태를 고려하여 홀컵까지 운동 방향이나 거리에 대한 정보를 인지할 수 있는 능력은 퍼팅 성공 확률을 높이는 중요한 요소이다[3]. 대부분의 골퍼들은 그린의 경사도에 대한 정보는 신체 내 다양한 감각기관 중 많은 부분을 시지각(visual perception)에 의존하고 있다. 하지만 시지각의 의존도가 높으면 오히려 다양한 환경적인 요인들에 의해 경사도에 대한 정보가 오염되는 가능성도 배제할 수 없어 시지각의 정보와 함께 고유수용성 감각의 근육 신장 정보 입력과 뇌의 통합 그리고 근육 수축이 함께 조화가 되어야 한다.

골격근의 수의적 수축은 운동피질(motor cortex)의 통합에 의해 운동신경(motor neuron)의 흥분-골격근 수축 경로로 발생한다. 운동피질의 통합 및 흥분은 상위 운동신경의 활성화를 통해 척수 수준에서 하위 운동신경을 조절하고 근육 수축을 유도한다[4]. 골프와 같이 운동수행 중 근육에 부과되는 갑작스러운 무게의 변화나 지면의 경사도를 포함한 외부 환경 변화에 의한 근육의 신장(stretch)의 초기 척수(spinal cord) 수준의 대응 조절이 매우 중요하며, 이후의 운동피질의 통합이 이루어짐에 따라 수의적인 수축을 지속할 수 있다[5].

척수 수준에서의 근육 수축 조절은 반사(reflex) 작용에 의해 원심성 신호 경로를 활성화시키지만, '근육신장-척수 반사-근육수축'에 있어서 근육 신장발생에 대한 구심성 정보입력은 근

육과 관절, 건 등에 발현되는 고유수용기 또는 고유수용성감각에 의해 전달되어 추가적인 근력 동원 또는 자세 유지가 이루어진다. 또한 운동 중 자세의 교정은 시각, 전정기관의 복합적 기전의 역할도 중요하지만[6], 고유수용성 정보 전달은 운동 수행 중 자세 유지 및 보정을 위해 더욱 절대적인 역할을 한다[7, 8].

최근 신경 과학과 운동선수의 경기력을 연결하기 위해 뇌 자극 및 신경 조절에 대한 관심이 늘고 있는 추세이다[9]. 다양한 뇌 자극 방법 중 하나인 경두개직류자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)은 10~20분간 약한 전류를 통해 뇌의 흥분성을 변화 및 신경세포를 활성화시켜 정신적 및 경기력 향상에 영향을 미치는 것으로 보고되어 많은 운동선수들이 사용한다[10]. 게다가 경두개직류자극은 비침습적 뇌 자극 방법으로서 보다 쉽고 빠르게 운동 학습, 근력 그리고 운동 기술에 대한 정보 처리 속도를 개선하는데 도움이 되는 것으로 보고되었다. 또한 운동선수들이 tDCS를 쉽게 착용할 수 있어 스스로 훈련 및 재활에 적극적으로 사용하고 있다[11-13]. 따라서 본 연구는 경사면 퍼팅 시 경두개직류자극 유무에 따른 퍼팅 수행력을 비교 분석하는 것이 목적이었다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상자

본 연구에는 대학 골프선수 10명이 참여하였으며, 모든 연구대상자는 최근 12개월 이내에 신경계 및 근골격계 부상 이력이 없는 신체 건강한 20대로 선정하였다(Table 1). 모든 실험참여자(실험 목적과 절차를 설명을 듣고 자발적으로 참여동의를 서를 작성하였다. 본 연구는 기관생명윤리 위원회(IRB No. 7007971-202010-001A)로부터 승인을 받아 진행하였다.

Table 1. Characteristics of participants(Mean±SD)

Age(yrs)	Weight(kg)	Height(cm)	Handicap
23.20±2.82	75.80±7.40	178.90±3.65	3.70±3.61

2.2. 경사면 퍼팅

경사면 퍼팅은 네 방향(전후, 좌우)으로 경사도 설정이 가능한 퍼팅 플랫폼을 사용하였다(height: 46 cm, length: 3 m 77 cm, angle: 0° ~3°, velocity: 2000 r/min). 그린 스피드(green speed)는 스텝미터(stimpmeter)를 이용하여 미국골프협회(USGA)에서 제시하는 방법으로 측정하였으며, 3 m 40 cm의 그린 스피드를 확인하였다. 연구대상자들은 본인이 사용하는 퍼터를 사용하여 약 10분간 다양한 경사도 조건에서 퍼팅 연습을 실시하여 그린 스피드와 경사도에 대한 적응을 하였다. 경사도는 공 위치에서 홀컵까지 지면이 평평한 조건을 flat, 오른쪽으로 경사진 조건을 slice, 왼쪽으로 경사진 조건을 hook으로 설정하였으며, 설정 각도는 미국골프협회(USGA)에서 권장하는 홀컵 주변 경사가 약 3° 미만인 점을 고려하여 평지(flat), 슬라이스(slice 1°, slice 2°), 훅(hook 1°, hook 2°)로 설정하였다. 또한 퍼팅 거리는 미국 프로 골프 선수들의 퍼팅 성공률이 약 50% 인 2 m로 설정하였다[14].

2.3. 경두개직류자극

경두개직류자극(Transcranial direct current stimulation)은 Halo Sport(Halo Neuroscience, San Francisco, CA, USA)를 사용하였다(Figure 1). Halo Spot 헤드셋에 부착하는 세 개의 전극(primers)은 식염수로 충분히 적신 후 연구대상자의 머리에 착용하였다. 전극이 부착된 헤드셋은 10-20 국제 뇌파 검사 시스템에 따라 양극은 primary motor cortex, 음극은 left temporal cortex와 right temporal cortex에 부착하였으며, 제조사에서 제공하는 응용프로그램(application)을 통해 1.98 mA의 전류 강도를 설정하여 20분 동안 연구대상자에게 자극을 주었다. 퍼팅 시 경두개직류자극 전·후에 발생하는 퍼터 헤드의 운동학적 차이를 비교하기 위해 1차 퍼팅 실험 후 2차 퍼팅 실험 때 측정을 실시하였다.



Fig. 1. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)

2.4. 자료처리

퍼팅 시 발생하는 퍼터 헤드의 회전 각도, 임팩트 지점, 궤도 변인 분석은 초음파 기반인 퍼팅 분석기(SAMPutt Lab, Science & Motion Sports Inc., Germany)를 사용하였으며, 초음파 신호를 발생시키는 FlexTriplet은 퍼터 헤드의 넥(neck)에서부터 25 cm 위치에 부착하여 SAMPutt basic unit과 연동을 하였다(Figure 2). 모든 설치 및 분석은 제조사에서 제공하는 매뉴얼에 따라 수행하였다. 자료 분석은 퍼터 헤드의 미세한 각도 변화를 확인하기 위해 tDCS 전·후 홀컵(hole cup)에 홀인(hole in)된 5회의 자료를 분석하였다.

2.5. 통계분석

본 연구에서 수집한 자료는 평균과 표준편차를 산출하였다. 통계분석은 IBM사의 SPSS 24.0 (Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 경두개직류자극(tDCS) 전·후에 따른 퍼터 헤드의 운동학적 차이를 검증하기 위해 paired t-test를 실시하였다. 본 연구의 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하여 유의성을 검증하였으며, 경두개직류자극에 따른 종속변인이 나타내는 효과크기(effect size: ES)를 확인하였다[16].

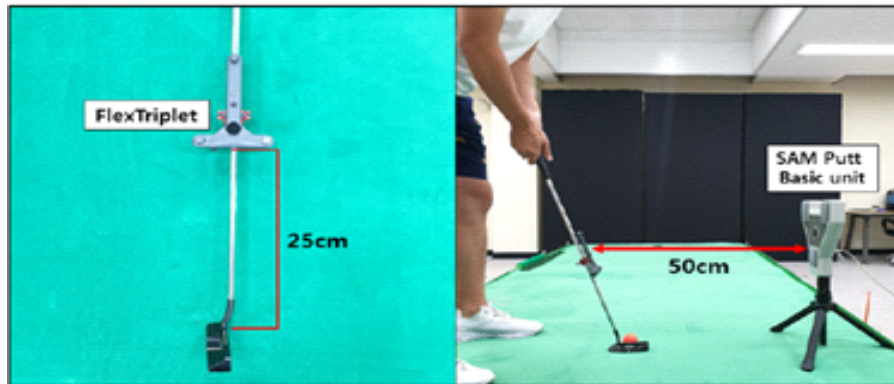


Fig. 2. Placements of FlexTriplet and SAM Putt Basic Unit[15].

Table 2. Results of kinematic variables in flat putting

Variable (unit)	Pre	Post	<i>t</i>	<i>p</i>	Effect Size
Face at Aim (deg)	1.17±.84	-.66±1.03	4.875	.001***	1.95
Back Swing (deg)	-2.60±1.76	-4.84±1.46	2.525	.032*	1.38
Impact (deg)	.33±1.13	-1.10±1.47	2.104	.065	1.09
Follow-through (deg)	6.16±1.36	5.83±3.78	.270	.793	0.12
Impact Spot (mm)	-1.12±3.36	-1.30±4.69	.102	.921	0.04
Path Direction (mm)	.61±1.95	1.19±2.89	-.462	.655	0.23

p*<.05, **p*<.001

3. 결과

3.1. 평지(flat) 퍼팅 시 운동학적 변인 결과

평지 퍼팅 시 퍼터 헤드의 운동학적 결과는 <Table 2>와 같이 나타났다. 어드레스 시 목표 방향에 대한 퍼터 헤드면의 각도(FA: Face at Aim)는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($t=4.875$, $p=.001$, $d=1.95$). 백스윙 시 퍼터 헤드의 각도(BS: Back Swing)는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($t=2.525$, $p=.032$, $d=1.38$). 임팩트 시 퍼터 헤드의 각도(IM: Impact)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=2.104$, $p=.065$, $d=1.09$). 임팩트 후 팔로우스루 구간에서 퍼터 헤드의 각도(FT: Follow-through)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.270$,

$p=.793$, $d=0.12$). 퍼터 헤드면이 공에 임팩트되는 지점(IS: Impact Spot)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.102$, $p=.921$, $d=0.04$). 또한 퍼팅 스트로크 시 퍼터 헤드의 궤도(PD: Path Direction)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-.462$, $p=.655$, $d=0.23$).

3.2. 슬라이스(slice) 1° 퍼팅 시 운동학적 변인 결과

슬라이스 1° 퍼팅 시 퍼터 헤드의 운동학적 결과는 <Table 3>과 같이 나타났다. 어드레스 시 목표 방향에 대한 퍼터 헤드면의 각도(FA: Face at Aim)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.399$, $p=.699$, $d=0.19$). 백스윙 시 퍼터 헤드의 각도(BS: Back Swing)는 통계적으로 유

Table 3. Results of kinematic variables in slice 1° putting

Variable (unit)	Pre	Post	<i>t</i>	<i>p</i>	Effect Size
Face at Aim (deg)	1.44±2.20	1.03±2.09	.399	.699	0.19
Back Swing (deg)	-2.49±2.19	-3.44±2.25	.980	.353	0.43
Impact (deg)	1.27±2.13	1.46±2.45	-.165	.872	0.08
Follow-through (deg)	8.45±1.54	8.56±4.33	-.064	.950	0.03
Impact Spot (mm)	-1.43±3.91	-1.04±3.84	-.235	.820	0.10
Path Direction (mm)	-.36±3.69	-1.04±3.97	.329	.750	0.18

Table 4. Results of kinematic variables in slice 2° putting

Variable (unit)	Pre	Post	<i>t</i>	<i>p</i>	Effect Size
Face at Aim (deg)	1.56±1.24	2.65±3.26	-1.344	.212	0.44
Back Swing (deg)	-2.58±2.37	-2.06±3.61	-.462	.655	0.17
Impact (deg)	1.50±1.60	3.01±3.27	-1.877	.093	0.59
Follow-through (deg)	8.58±2.40	10.82±4.56	-1.281	.232	0.61
Impact Spot (mm)	-2.35±4.55	-2.48±4.46	.073	.943	0.03
Path Direction (mm)	-.98±2.31	-2.65±5.50	1.020	.334	0.39

의한 차이가 나타나지 않았다($t=.980$, $p=.353$, $d=0.43$). 임팩트 시 퍼터 헤드의 각도(IM: Impact)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-.165$, $p=.872$, $d=0.08$). 임팩트 후 팔로우스루 구간에서 퍼터 헤드의 각도(FT: Follow-through)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-.064$, $p=.950$, $d=0.03$). 퍼터 헤드면이 공에 임팩트되는 지점(IS: Impact Spot)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-.235$, $p=.820$, $d=0.10$). 또한 퍼팅 스트로크 시 퍼터 헤드의 궤도(PD: Path Direction)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.329$, $p=.750$, $d=0.18$).

3.3. 슬라이스(slice) 2° 퍼팅 시 운동학적 변인 결과

슬라이스 2° 퍼팅 시 퍼터 헤드의 운동학적 결과는 <Table 4>와 같이 나타났다. 어드레스 시 목표 방향에 대한 퍼터 헤드면의 각도(FA: Face at Aim)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-1.344$, $p=.212$, $d=0.44$). 백스윙 시 퍼터 헤드의 각도(BS: Back Swing)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-.462$, $p=.655$, $d=0.17$). 임팩트 시 퍼터 헤드의 각도(IM: Impact)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-1.877$, $p=.093$, $d=0.59$). 임팩트 후 팔로우스루 구간에서 퍼터 헤드의 각도(FT:

Follow-through)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-1.281, p=.232, d=0.61$). 퍼터 헤드면이 공에 임팩트되는 지점(IS: Impact Spot)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.073, p=.943, d=0.03$). 또한 퍼팅 스트로크 시 퍼터 헤드의 궤도(PD: Path Direction)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=1.020, p=.334, d=0.39$).

3.4. 훅(hook) 1° 퍼팅 시 운동학적 변인 결과

훅 1° 퍼팅 시 퍼터 헤드의 운동학적 결과는 <Table 5>와 같이 나타났다. 어드레스 시 목표 방향에 대한 퍼터 헤드면의 각도(FA: Face at Aim)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=1.401, p=.195, d=0.63$). 백스윙 시 퍼터 헤드의 각도(BS: Back Swing)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=1.625, p=.139, d=0.70$). 임팩트 시 퍼터 헤드의 각도(IM: Impact)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.943, p=.370, d=0.43$). 임팩트 후 팔로우스루 구간에서 퍼터 헤드의 각도(FT: Face at Aim)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.355, p=.731, d=0.18$). 퍼터 헤드면에 공이 임팩트되는 지점(IS: Impact Spot)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-1.674, p=.128, d=0.48$). 또한 퍼팅 스트로크 시 퍼터 헤드의 궤도(PD: Path Direction)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-.137, p=.894, d=0.06$).

3.5. 훅(hook) 2° 퍼팅 시 운동학적 변인 결과

훅 2° 퍼팅 시 퍼터 헤드의 운동학적 결과는 <Table 6>과 같이 나타났다. 어드레스 시 목표 방향에 대한 퍼터 헤드면의 각도(FA: Face at Aim)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=1.505, p=.166, d=0.71$). 백스윙 시 퍼터 헤드의 각도(BS: Back Swing)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=1.422, p=.189, d=0.69$). 임팩트 시 퍼터 헤드의 각도(IM: Impact)은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.630, p=.545, d=0.31$). 임팩트 후 팔로우스루 구간에서 퍼터 헤드의 각도(FT: Follow-through)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=.006, p=.996, d=0.00$). 퍼터 헤드면이 공에 임팩트되는 지점(IS: Impact Spot)은 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($t=-2.265, p=.050, d=0.94$). 또한 퍼팅 스트로크 시 퍼터 헤드의 궤도(PD: Path Direction)는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($t=-.188, p=.855, d=0.08$).

4. 고 찰

본 연구는 경두개직류자극(tDCS) 유무에 따른 골프 퍼팅 수행력을 비교 분석하는데 목적이 있었다. 이를 위해 다양한 경사도 조건에서 tDCS 처치 전·후 퍼팅 시 발생하는 운동학적 변인(회전 각도)을 비교한 결과, 평지 조건에서 어드레스 시 퍼터 헤드의 회전 각도(FA: Face at Aim)와 백스윙(BS: Back Swing)에서 유의한 차이가 나타

Table 5. Results of kinematic variables in hook 1° putting

Variable (unit)	Pre	Post	<i>t</i>	<i>p</i>	Effect Size
Face at Aim (deg)	-0.22 ± 1.48	-1.40 ± 2.18	1.401	.195	0.63
Back Swing (deg)	-4.29 ± 2.65	-6.14 ± 2.65	1.625	.139	0.70
Impact (deg)	-1.40 ± 1.88	-2.23 ± 2.01	.943	.370	0.43
Follow-through (deg)	5.07 ± 2.35	4.60 ± 2.90	.355	.731	0.18
Impact Spot (mm)	-0.31 ± 3.78	1.38 ± 3.26	-1.674	.128	0.48
Path Direction (mm)	2.30 ± 2.71	2.53 ± 4.88	-.137	.894	0.06

Table 6. Results of kinematic variables in hook 2° putting

Variable (unit)	Pre	Post	<i>t</i>	<i>p</i>	Effect Size
Face at Aim (deg)	.63±2.77	-.96±1.49	1.505	.166	0.71
Back Swing (deg)	-3.62±3.56	-5.65±2.15	1.422	.189	0.69
Impact (deg)	-.85±3.57	-1.73±1.73	.630	.545	0.31
Follow-through (deg)	5.50±3.76	5.49±2.79	.006	.996	0.00
Impact Spot (mm)	-1.06±3.41	2.37±3.90	-2.265	.050*	0.94
Path Direction (mm)	1.91±3.77	2.22±4.20	-.188	.855	0.08

**p*<.05

났으며, 왼쪽으로 2° 경사진 hook 조건에서 퍼터 헤드면 증앙을 기준으로 공이 임팩트 되는 지점인 IS(Impact Spot)가 유의한 차이가 나타났다. 하지만 나머지 경사도 조건에서는 tDCS 처치 전·후 퍼터 헤드의 회전 각도는 차이가 나타나지 않았다.

퍼팅(putting)은 그린(green)의 브레이크(break)와 잔디결을 읽는 능력, 홀까지의 거리조절(distance control)능력 그리고 일관된 퍼팅 스트로크(stroke mechanism) 능력이 요구된다[17]. 세 가지 퍼팅 능력은 개인의 퍼팅 스타일에 따라 다를 수 있지만 신체 정렬(body alignment) 즉 어드레스 시 어깨, 골반, 발, 그리고 클럽 헤드는 목표 방향과 평행을 이루어야 한다. 이에 Lee, et al. (2020)과 Pelz(2000)는 잘못된 신체 정렬은 퍼팅 시 과도한 근수축을 발생시켜 부정확한 진자운동(movement of pendulum)으로 퍼팅 성공확률을 낮추는 원인으로 보고하였다[14,18].

본 연구에서는 평지 조건에서 tDCS 처치 전 퍼터 헤드의 각도는 1.17° 로 열린(+) 자세를 취하는 것으로 나타났으며, 처치 후 퍼터 헤드의 각도는 -.66° 로 닫힌(-) 자세를 취하는 것으로 나타났다. 어드레스 시 퍼터 헤드의 회전 각도는 공이 출발하는 방향에 직접적인 영향을 미친다. 특히 FA(Face at Aim)의 각도가 '0'에 가까울수록 목표 방향으로 올바르게 정렬이 되었음을 알 수 있는데 tDCS 처치 후의 결과를 보면 처치 전과 비교해 거의 완벽한 정렬이 된 것으로 나타났다. Zhu, et al. (2015)는 27명의 골퍼들의 뇌의

좌측 배외측 전전두엽 피질영역에 tDCS 처치한 집단과 sham 집단 간의 집중력 차이를 확인할 결과 tDCS 처치 집단이 sham 집단과 비교해 퍼팅 시 집중력이 높은 것으로 나타났다[19]. 특히 집중력은 퍼팅 시 머리, 팔과 손목을 포함한 상지의 움직임의 자세 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 퍼터 헤드의 움직임을 억제하여 각도 변화를 최소화시켜 퍼팅의 정확성을 높이는 요인으로 보고하였다[20]. 선행 연구결과를 토대로 본 연구결과에서도 tDCS가 목표(홀컵)에 대한 집중력 향상에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

어드레스 시 퍼터 헤드의 회전 각도와 마찬가지로 백스윙 시 퍼터 헤드의 회전 각도도 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. tDCS 처치 전 회전 각도는 -4.84° 로 나타났으나 처치 후 회전 각도는 -2.60° 로 나타나 회전 각도가 작아진 것을 확인하였다. 이와 같은 결과는 퍼팅 스트로크 시 손목의 움직임을 최대한 통제된 것으로 볼 수 있다. 이에 Pelz(2000)는 손목의 움직임을 자제한 퍼팅 스트로크는 긴장이나 흥분 상태에 있는 근육의 영향을 거의 받지 않아 퍼팅 성공률을 높일 뿐만 아니라 거의 대부분의 프로 선수들이 수행하고 있는 스트로크 방법이며, 특히, 어깨 양쪽 끝을 잇는 선과 두 팔이 퍼팅 트라이앵글을 형성하는 시계추형 스트로크는 홀(hole)까지의 거리감과 공의 스피드를 조절하는데 효과적인 방법이라고 보고하였다[14]. 이는 tDCS를 이용한 대뇌피질의 직접적인 자극을 통해 운동을 보다 정확하고 빠르게 학습한 결과로 생각되며, 골프와 마찬가지로

가지로 고도의 집중력을 요구하는 양궁과 사격에서도 tDCS의 긍정적인 효과가 나타났다[21].

평지 조건을 제외한 slice 1°, slice 2°, hook 1° 조건에서는 모든 운동학적 변인이 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나 흥미로운 점은 tDCS 처치 전 퍼터 헤드의 회전 각도, 임팩트 스팟(IS: Impact Spot), 그리고 궤도(PD: Path Direction)가 처치 후 크기와 범위가 감소했다는 것이며, Borducchi, et al. (2016) 연구 결과와 같이 운동수행능력과 관련된 모든 조건에서 능력이 향상된 것으로 생각된다[22].

골프는 코스 내 수많은 환경적인 요인들과 동작 수행 시 발생하는 운동학적 및 운동역학적 요인들로 인해 샷(shot)의 결과가 결정된다. 특히 퍼팅은 그린의 경사도나 잔디결과 같은 환경적인 요인들에 대한 적응과 과학적 접근을 통한 동작 분석은 퍼팅 시 보다 정확한 임팩트(impact) 결과를 가져온다[23-25]. 본 연구에서 유일하게 hook 2° 조건에서 임팩트 지점(IS: Impact Spot)이 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 다른 경사도 조건과 마찬가지로 tDCS 처치 전보다 처치 후에 미세하게 퍼터 헤드 정중앙에 임팩트되는 것을 확인하였다. tDCS를 통한 뇌자극은 각 동작들을 연결할 수 있는 템포, 목표에 대한 집중력 등 퍼팅 동작에 영향을 줄 수 있는 요소들에 대한 긍정적인 효과가 나타난 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구는 골프 퍼팅 시 경두개직류자극 유무에 따른 퍼터 헤드의 회전 각도를 비교 분석하여 뇌 자극이 퍼팅 동작에 미치는 영향을 분석하는 것이 목적이었다. 본 연구 결과를 통해 경두개직류자극이 퍼터 헤드의 회전 각도에 긍정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 추후 퍼팅 시 경두개직류자극이 신체 안정성에 미치는 효과를 확인하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 학문후속세대(박사후국내연수)지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임

(NRF-2020S1A5B5A01043007)

References

1. Y. T. Lim, J. S. Choi, Y. M. Han, H. S. Kim, J. H. Yi, J. H. Jun, G. R. Tack, "Analysis of golf putting for elite & novice golfers using jerk cost function", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-10, (2006).
2. K. L. Gao, C. W. Hui-Chan, W. W. Tsang, "Golfers have better balance control and confidence than healthy controls", *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 111, No. 11, pp. 2805-2812, (2011).
3. S. J. Mackenzie, E. J. Springs, "Evaluation of the plumb-bob method for reading greens in putting", *Journal of Sports Sciences*, Vol. 23, pp. 81-87, (2005).
4. P. M. Van Vliet, N. R. Heneghan, "Motor control and the management of musculoskeletal dysfunction", *Manual Therapy*, Vol. 11, No. 3, pp. 208-213, (2006).
5. S. Kakei, D. S. Hoffman, P. L. Strick, "Muscle and movement representations in the primary motor cortex", *Science*, Vol. 285, No. 5436, pp. 2136-2139, (1999).
6. D. N. Lee, E. Aronson, "Visual proprioception control of standing in human infants", *Perception & Psychophysics*, Vol. 15, No. 3, pp. 529-532, (1974).
7. U. Röijezon, N. C. Clark, J. Treleaven, "Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions", *Manual Therapy*, Vol. 20, No. 3, pp. 368-377, (2015).
8. R. A. Speers, A. D. Kuo, F. B. Horak, "Contributions of altered sensation and feedback responses to changes in coordination of postural control due to aging", *Gait & Posture*, Vol. 16, No. 1, pp. 20-30, (2002).
9. S. Grosprêtre, C. Ruffino, F. Lebon,

- "Motor imagery and cortico-spinal excitability: a review", *European Journal of Sports Science*, Vol. 16, No. 3, pp. 317-324, (2016).
10. A. Sriraman, T. Oishi, S. Madhavan, "Timing-dependent priming effects of tDCS on ankle motor skill learning", *Brain Research*, Vol. 1581, pp. 23-29, (2014).
 11. L. S. Colzato, M. A. Nitsche, A. Kibele, "Noninvasive brain stimulation and neural entrainment enhance athletic performance: a review", *Journal of Cognitive Enhancement*, Vol. 1, No. 1, pp. 73-79, (2017).
 12. D. J. Edwards, M. Cortes, S. Wortman-Jutt, D. Putrino, M. Bikson, G. Thickbroom, A. Pascual-Leone, "Transcranial direct current stimulation and sports performance", *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 11, pp. 243, (2017).
 13. N. J. Davis, "Neurodoping: brain stimulation as a performance enhancing measure", *Sports Medicine*, Vol. 43, No. 8, pp. 649-653, (2013).
 14. D. Pelz, "*Dave Pelz's putting bible: the complete guide to mastering the green*(Vol. 2)", Doubleday Books, (2000).
 15. J. S. Park, Y. T. Lim, J. W. Lee, M. S. Kwon, "Comparison of kinematic variables between elite golfer and novice during golf putting", *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, Vol. 36, No. 3, pp. 789-796, (2019).
 16. J. Cohen, "*Statistical power analysis for the behavioral sciences*(2nd ed.)", Hillsdale, HJ: Erlbaum, (1988).
 17. K. B. Kim, J. O. Lee, J. H. Hong, "The effect of visual conditions on distance control and accuracy of golf putting", *Korean Journal of Sports Science*, Vol. 25, No. 2, pp. 297-305, (2014).
 18. J. W. Lee, M. S. Kwon, J. S. Park, Y. T. Lim, "Correlation analysis between postural sway and kinematic variables of putter head during golf putting", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 30, No. 3, pp. 217-223, (2020).
 19. F. F. Zhu, A. Y. Yeung, J. M. Poolton, T. M. Lee, G. K. Leung, R. S. Masters, "Cathodal transcranial direct current stimulation over left dorsolateral prefrontal cortex area promotes implicit motor learning in a golf putting task", *Brain Stimulation*, Vol. 8, No. 4, pp. 784-786, (2015).
 20. D. A. Gonzalez, S. Kegel, T. Ishikura, T. Lee, "Effects of vision on head-putter coordination in golf", *Motor Control*, Vol. 16, pp. 371-385, (2012).
 21. E. K. Kim, J. Y. You, J. H. Kim, "The effect of transcranial direct current stimulation on the performance of elite archers", *The Korean Journal of Sport*, Vol. 16, No. 3, pp. 437-446, (2014).
 22. D. M. Borducchi, J. S. Gomes, H. Akiba, Q. Cordeiro, J. M. H. Borducchi, L. S. S. Valentin, A. M. Dias, "Transcranial direct current stimulation effects on athletes' cognitive performance: an exploratory proof of concept trials", *Frontiers in Psychiatry*, Vol. 7, pp. 183, (2016).
 23. J. S. Park, S. H. Shin, Y. T. Lim, "Analysis of kinematic variables according to ground slope angle during golf putting", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 21, No. 1, pp. 44-49, (2021).
 24. N. Jaconson, Q. Berleman-Paul, M. Mangalam, D. G. Kelty-Stephen, C. Ralston, "Multifractality in postural sway supports quiet eye training in aiming tasks: a study of golf putting", *Human Movement Science*, pp. 102752, (2021).
 25. A. Richardson, G. Hughes, A. Mitchell, "Center of pressure excursion during the golf putting stroke in low, mid, and high handicap golfers", *International Journal of Golf Science*, (2012).