

Effects of Skill and Distance Factors on Center of Mass and Center of Pressure during Golf Putting

골프 퍼팅 시 숙련도와 거리 요인이 신체 무게 중심과 압력 중심에 미치는 영향

JunSung Park^{2,3}, Young-Tae Lim^{1,2}, JaeWoo Lee^{2,3}, Moon-Seok Kwon²

¹Division of Sports Health Science, Konkuk University, Chungju, South Korea

²Konkuk University Sports Convergence Institute, Chungju, South Korea

³Graduate School of Konkuk University, Chungju, South Korea

Received : 31 October 2019
Revised : 19 November 2019
Accepted : 19 November 2019

Corresponding Author

Moon-Seok Kwon
Konkuk University Sports
Convergence Institute, 268
Chungwon-daero, Chungju-si,
Chungcheongbuk-do, 27478,
South Korea

Tel : +82-43-840-4770
Fax : +82-43-840-3498
Email : mjsanstjr@kku.ac.kr

Objective: The purpose of this study was to analyze the effects of skill and distance factors on CoP (Center of pressure) and CoM (Center of mass) during golf putting.

Method: 38 golfers were participated in this study. 8 motion capture cameras (250 Hz) and 2 force plates (1,000 Hz) were used to collect CoP and CoM during 2 m and 3 m of distance golf putting. To identify main effect and interaction effect, it was performed Two-Way ANOVA at a significant level of a .05.

Results: In the novice group, CoP distance was significantly difference in the A/P direction and main effect between skill level and distance. Both groups indicated that CoP distance was significantly different and main effect between skill level and distance in the M/L direction. Finally, both groups showed that CoM was significantly different and main effect between skill level and distance in the M/L direction.

Conclusion: Therefore, novice golfers are expected to be able to perform more accurate and proper putting exercise through the practice of minimizing the center of mass(CoM) and center of pressure (CoP) in the M/L direction, which is the pendulum movement of the putter head.

Keywords: Putting, Distance, Center of Mass (CoM), Center of Pressure (CoP)

INTRODUCTION

골프는 드라이버, 우드, 아이언, 퍼터 등의 다양한 클럽을 이용하여 최소한의 타수로 홀 컵에 볼을 넣는 경기이다(Lim & Kwon, 2017; Lim et al., 2006). 골퍼들은 목표한 지점으로 볼을 보내기 위하여 클럽을 선택하고 이는 기술적 관점에서 드라이버, 우드, 아이언과 같은 클럽을 이용한 샷과 퍼터를 이용한 퍼팅으로 구분된다. 골퍼들의 샷과 퍼팅은 백스윙과 다운스윙으로 이어지는 복합적인 클럽 헤드의 진자 운동을 동반한다(Okuda, Gribble & Armstrong, 2010). 그리고 클럽 헤드의 운동 크기와 속도는 볼을 보내고자 하는 목표 거리에 의해 결정된

다(Ball & Best, 2012). 이에 많은 골퍼들은 목표한 방향으로 볼을 보낼 수 있는 정확성을 향상시키기 위해 오랜 시간 동안 클럽을 이용한 진자 운동을 연습한다. 특히, 골프 경기 중 클럽을 이용하여 볼을 타격하는 동작의 빈도에서는 퍼터를 이용한 퍼팅 동작이 40% 이상을 차지함에도 불구하고(Park, 2000; Lim et al., 2006), 아마추어 골퍼들의 경우 전체 샷의 19%에 해당하는 드라이버 스윙 훈련을 퍼팅에 비해 약 14배 이상 연습 비중이 높게 나타났다(Wiren, 1987).

골프 선수들의 경우 연습 중 약 70 %를 숏 게임에 비중을 두는데 반해 아마추어 골퍼들은 샷 연습에 많은 중점을 두고 있다(Lee & Kim, 2013). 퍼팅의 경우 다양한 조건에서 10.8 cm

Table 1. Characteristics of participants

Group	Mean			
	Age (yrs)	Height (cm)	Mass (kg)	Handicap
Elite	22.9±2.3	170.35±8.39	67.85±13.76	6.15±4.75
Novice	22.78±2.35	168.78±8.08	66.44±9.97	20.55±2.81

홀 컵에 볼을 넣어야 하기 때문에 거리와 방향성의 측면에서 매우 정교한 신체 운동을 요구한다(Kim, 2012; Pelz, 2000). 퍼팅의 시 퍼터 헤드의 운동의 일관성, 정확성, 일정한 속도는 올바른 볼의 타격을 위해 요구되는 요인들로 알려져 왔다(Choi & Park, 2002). 이러한 퍼터 헤드의 운동은 어깨를 중심으로 회전하는 백스윙과 다운스윙의 진자 운동을 통해 수행되며, 이는 퍼팅 시 임팩트의 정확성을 향상시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다(Hwang, 2006).

신체 운동 시 운동의 목적을 달성하기 위해 동적 균형성 유지의 필수적이며, 이러한 신체의 동적 균형성은 질량 중심(Center of Mass: CoM)과 지면과 접촉한 압력 중심(Center of Pressure: CoP)의 제어를 통해 결정된다(Tsang & Hui-Chan, 2004; Gao, Hui-Chan & Tsang, 2011; Winter, 1995). 신체의 선운동과 회전 운동을 통해 수행되는 골프 동작의 경우, 신체 근육의 수축과 이완을 동원하여 클럽 헤드를 가속시켜 볼을 타격하게 되며 이때 신체 질량 중심과 압력 중심 변화는 목표한 거리와 방향에 영향을 미칠 수 있다(Sell, Tsai, Smoliga, Myers & Lephart, 2007; Stemm, Jacobson & Royer, 2006; Wrobel, Marclay & Najafi, 2012). 특히, 클럽 헤드의 운동을 정교하게 제어해야 하는 퍼팅 동작은 더 높은 신체의 동적 밸런스의 유지 능력을 요구한다. 이와 관련하여 Ryu & Kim (2007)은 퍼팅 시 필요 이상의 힘의 사용은 부정확한 퍼팅을 유발할 수 있는 것으로 보고하였다. 그리고 Choi & Park (2002)은 퍼팅 시 양 발에서 큰 지면반발력이 발생하게 되면 퍼팅의 성공 확률이 낮아지는 것으로 보고하였다. 이와 같이 퍼팅 시 힘의 불균형성은 신체 밸런스를 유지하는데 어려움을 야기시킬 뿐만 아니라 퍼팅의 정확성을 감소시킬 수 있다.

퍼팅 성공 확률을 감소시키는 또 하나의 요인은 거리이다(Karlsen & Nilsson, 2008; Mackenzie & Springs, 2005). 일반적으로 퍼팅 거리가 홀 컵에서 가까울수록 퍼팅의 직선 운동을 통해 볼을 넣을 수 있는 확률은 증가한다(Park, 2000). 반면 퍼팅 거리의 증가는 홀 컵에 정확하게 볼을 보낼 수 있는 가능성을 감소시킬 뿐만 아니라 아마추어 골퍼들의 경우 퍼팅 시 볼과 홀의 타겟 방향선과 거리에 맞는 퍼터의 운동 강도를 결정하는 힘의 강도를 조절하는데 많은 어려움을 겪게 된다(Bowen, 1968; Campbell & Moran, 2014). 이로 인해 많은 골퍼들은 그린 위 퍼팅 시 볼이 홀 컵에서 많이 벗어나는 결과를

경험할 때가 많다. 이러한 퍼팅 방향과 퍼터 헤드의 가해지는 힘의 조절은 골퍼의 운동 수행에 의해 결정되며 임팩트에 의해 볼의 운동 방향과 거리의 결과로 나타난다. 퍼팅 동작 시 근수축을 통해 발생한 힘은 퍼팅 헤드의 운동 시간과 관련성이 있으며 이는 볼과 헤드의 임팩트 시 홀 컵까지 운동하는 볼의 운동 거리에도 영향을 준다(Delay, Nougier, Orliaguet & Coello, 1997). 퍼팅 거리가 멀어질수록 홀 컵까지 볼을 운동시키기 위한 헤드의 움직임과 힘의 증가가 요구되기 때문에, 퍼팅 시 거리가 멀어질수록 더욱더 안정적인 신체의 동적 밸런스가 더욱 요구된다.

따라서 본 연구의 목적은 골프 퍼팅 시 숙련도와 퍼팅 거리 요인이 신체 질량 중심과 압력 중심 요인들에 미치는 영향을 분석하는데 목적이 있다. 이를 통해 숙련도와 퍼팅 거리의 변화가 동적 안정성에 미치는 영향을 규명하고, 초보자들의 경우 퍼팅 시 신체 밸런스 유지의 필요성에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

METHODS

1. 연구대상자

이 연구에는 최근 12개월 이내에 근골격계 부상 이력이 없는 신체 건강한 엘리트 골프 선수 20명과 초보자 18명, 총 38명이 참여하였다(Table 1).

2. 실험절차

본 연구를 진행하기 전 참여한 대상자들에게 연구 목적과 실험 진행 절차를 설명한 후 참여 동의를 얻어 진행하였으며, 신체의 질량 중심(CoM) 위치를 산출을 위해 각 분절의 길이와 둘레를 측정하였다(Zatsiorski, 1990). 모든 피험자들은 개인 퍼터를 가져와서 사용하게 하였으며, 동일한 조건에서 퍼팅을 동작을 수행할 있도록 홀 컵과 볼을 놓는 지점을 일직선상에 표시하여 두고 볼을 놓는 지점에 볼을 놓은 후 퍼팅 동작을 수행할 수 있도록 실험내용을 전달하였다. 퍼팅은 그린의 빠르기에 많은 영향을 받을 수 있으므로 약 10분간 퍼팅 매트 위에서 2 m, 3 m 직선상에 지점에 홀 컵을 놓고 퍼팅 연습을

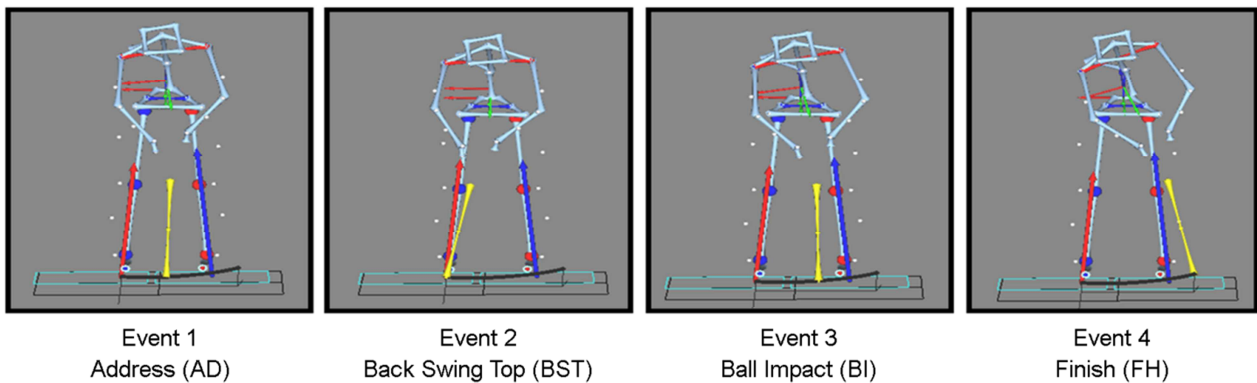


Figure 1. Event of putting stroke

실시하였으며, 홀 컵을 30 cm 지난 지점에 표시점을 두고 이를 넘지 않는 퍼팅을 수행하도록 하였다. 그리고 Pelz (2000)에 따르면 남성 성인 신장에 길이인 약 6 feet의 퍼팅 거리에서 PGA 투어 프로 선수들도 약 50%로 성공률을 보였으며, 3.05 m에서는 성공률이 25%로 급격히 감소하는 나타났다. 이에 본 연구에서는 퍼팅 성공률에 차이가 급격히 발생하는 2 m, 3 m 퍼팅 거리 조건에서 피험자들이 퍼팅을 수행하도록 실험하였으며, 연구자의 구두 신호로 전달하였으며, 홀 컵에 성공한 5회의 동작을 수집하였다.

모든 참여자들은 3차원 동작분석 시 위치데이터 수집에 용이한 spandex 소재의 실험복으로 착용하였으며, 인체에 지름 19 mm인 반사 마커(reflective marker) 35개를 Vicon (Vicon, Denver, USA)사에서 제공하는 plug-in-gait model에 적합하게 부착하였고 4개의 반사 마커를 이용하여 퍼터의 grip, neck, head에 부착하였다. 전역좌표계 설정을 위해 4개 반사마커가 있는 T자 모양의 완드(wand)를 이용하여 공간상에서 움직이며 촬영한 후 카메라들의 3차원 좌표수치를 생성한 후 NLT (nonlinear transformation) 방식의 캘리브레이션을 실시하였으며, 홀 컵으로 볼이 운동하는 퍼팅 방향을 Y축, 피험자의 앞·뒤 방향을 X축, 수직 방향을 Z축으로 정의하였다. 인체에 부착한 반사마커를 이용하여 골프 퍼팅 동작 시 분절들의 질량 중심 운동을 계산하기 위하여 머리, 몸통, 골반, 대퇴, 하퇴, 발, 상완, 전완, 손 분절의 지역좌표계를 정의하였다(Figure 1).

모든 피험자들은 2 m 퍼팅 거리에서 홀 컵을 볼을 성공시키기 위한 퍼팅 동작을 차례로 수행한 후 3 m 퍼팅을 수행하였다. 2가지 퍼팅 조건에서 퍼팅 동작에 대한 3차원 운동자료는 8대의 적외선 모션 캡처 카메라(T10S, Vicon, LA, USA, sampling rate: 250 Hz)를 이용하였으며, 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI, Watertown, MA, USA, sampling rate: 1,000 Hz)를 이용하여 지면반력 자료를 수집하였다.

3. 자료처리

본 연구는 퍼팅 동작 시 데이터 분석을 위하여 (Figure 1)과 같이 어드레스(Address: AD)는 볼을 놓고 퍼팅을 준비하는 시점, 백스윙 탑(Back swing top: BST)을 퍼터를 볼의 운동 방향과 반대 방향으로 최대 운동시킨 시점, 임팩트(Ball impact: BI)는 퍼터 헤드와 볼을 타격하는 시점, 피니쉬(Finish: FH)는 임팩트 후 퍼터의 운동이 멈추는 시점으로 정의하였다.

퍼팅 동작 시 수집된 신체 마커의 3차원 자료는 지면반력 자료들은 Giganet (Vicon, UK)을 통해 동기화하고 컴퓨터에 저장한 후 Vicon Nexus Version 1.8.3 (Vicon Inc., Denver, CO, USA) 프로그램으로 신호처리를 실시하였다. 이때 인체에 부착한 반사 마커 데이터들을 fourth-order Butterworth filter (8 Hz)로 필터하였으며, 지면반력 데이터는 fourth-order low-pass Butterworth filter (50 Hz)로 필터한 후 C3D 파일로 저장하였다. Vicon Nexus 프로그램에 저장한 퍼팅 동작에 대한 C3D 자료들을 Kwon3d XP software (Visol Inc, Korea)에서 불러와서 데이터를 전환시키고 Kwon3d 인체 모델링에 입력하여 신체 질량 중심과 지면반력 데이터 중 압력 중심 요인들을 분석하였다. 퍼팅 시 개인의 신체적 조건과 퍼팅 기술의 차이에 의해 발생할 수 있는 차이에 대한 오류를 최소화하기 위하여 신체 질량 중심과 압력 중심 요인들은 어드레스 시점의 수치를 기준으로 퍼팅 동작 시 발생하는 데이터에 대한 표준화 작업을 실시하였다. 그리고 퍼팅 동작 시 산출된 압력 중심과 신체 질량 중심 요인들은 신체를 중심 A/P (Anterior/Posterior) 방향(+: 앞쪽, -: 뒤쪽), M/L (Medial/Lateral) 방향(+: 왼쪽, -: 오른쪽)으로 정의하였다.

4. 통계분석

본 연구에서 획득한 자료는 평균(mean)과 표준편차(standard

Table 2. The results of two way ANOVA for CoP variables

Unit: cm

Direction	CoP distance				Main effect		Interaction effect
	Elite		Novice		Group	Distance	
	2 m	3 m	2 m	3 m			
AP	0.95±0.45	1.12±0.56	1.14±0.45 [†]	1.57±0.84 [†]	.019 [*]	.032 [*]	.348
ML	1.82±0.77 ^{#†}	2.18±0.94 ^{#†}	6.20±2.60 [#]	7.92±3.07 [#]	.000 [*]	.031 [*]	.156

Note. *, #, †*p*<.05, Contrast between two groups: # = Elite vs. Novice, † = 2 m vs. 3 m distance

Table 3. The results of two way ANOVA for CoM variables

Unit: cm

Direction	CoM distance				Main effect		Interaction effect
	Elite		Novice		Group	Distance	
	2 m	3 m	2 m	3 m			
AP	0.71±0.37	0.81±0.49	0.77±0.41	0.97±0.60	.313	.173	.688
ML	0.82±0.36 ^{#†}	0.97±0.47 ^{#†}	3.05±1.26 ^{#†}	3.97±1.64 ^{#†}	.000 [*]	.029 [*]	.114

Note. *, #, †*p*<.05, Contrast between two groups: # = Elite vs. Novice, † = 2 m vs. 3 m distance

deviation)를 산출하였다. 이 연구에서 숙련도와 퍼팅 거리에 따른 A/P, M/L 방향의 압력 중심 이동 거리와 신체 질량 중심 이동 거리의 차이를 확인하기 위해 완전요인모형 모델(full factorial model)의 이원분산분석(two-way ANOVA) factorial design을 실시하여 주효과 및 상호작용을 확인하였으며, 유의미한 결과가 관찰되었을 때 student *t*-test를 통해 숙련도와 퍼팅 거리에 따른 A/P, M/L 방향의 압력 중심 이동 거리와 신체 질량 중심 이동 거리의 차이를 확인하였다. 모든 통계분석은 SPSS 24 (IBM, Armonk, NY, USA)로 실시하였으며, 이 연구의 가설의 수락 수준은 *α*=.05로 설정하였다.

RESULTS

1. 숙련도와 퍼팅 거리에 따른 압력 중심(CoP)의 AP, ML 이동 거리 비교

엘리트 골프 선수 20명과 초보자 18명을 대상으로 2 m와 3 m 거리의 퍼팅 수행 시 A/P, M/L 방향의 압력 중심 이동 거리를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 2). 퍼팅 수행 시 숙련도에 따른 주효과를 확인한 결과, A/P 방향(*F*=5.789, *p*=.019)과 M/L 방향의 압력 중심 이동 거리(*F*=115.271, *p*=.000)에서 통계적으로 유의하게 나타났으며 퍼팅 거리에 따른 주효과는 A/P 방향(*F*=4.807, *p*=.032)과 M/L 방향의 압력 중심 이동 거리(*F*=4.834, *p*=.031)에서 통계적으로 유의하게 나타났다. A/P 방향(*F*=.893, *p*=.348)과 M/L 방향의 압력 중심 이동 거리(*F*=

2.053, *p*=.156)에서 숙련도와 퍼팅 거리에 따른 상호작용효과는 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다. 엘리트 그룹과 초보자 그룹 간 퍼팅 수행 시 A/P 방향과 M/L 방향의 압력 중심 이동 거리를 비교한 결과, 2 m 퍼팅(*t*=-6.889, *p*=.000)과 3 m 퍼팅(*t*=-7.615, *p*=.000)에서 초보자 그룹이 엘리트 그룹 보다 M/L 방향의 압력 중심 이동 거리가 통계적으로 크게 나타났다. 엘리트 그룹과 초보자 그룹 내 2 m, 3 m 퍼팅 수행 시 M/L 방향과 A/P 방향의 압력 중심 이동 거리를 비교한 결과, 초보자 그룹에서 3 m 퍼팅이 2 m 퍼팅 보다 A/P 방향의 압력 중심 이동 거리가 통계적으로 크게 나타났으며(*t*=-2.205, *p*=.042), 엘리트 그룹에서는 3 m 퍼팅이 2 m 퍼팅 보다 M/L 방향의 압력 중심 이동 거리가 통계적으로 크게 나타났으며(*t*=-2.376, *p*=.028).

2. 숙련도와 퍼팅 거리에 따른 신체 질량 중심(CoM)의 AP, ML 이동 거리 비교

엘리트 골프 선수 20명과 초보자 18명을 대상으로 2 m와 3 m 거리의 퍼팅 수행 시 A/P, M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 3).

퍼팅 수행 시 숙련도에 따른 주효과를 확인한 결과, M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리(*F*=117.399, *p*=.000)에서 통계적으로 유의하게 나타났으며, 퍼팅 거리에 따른 주효과는 M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리(*F*=4.982, *p*=.029)에서 통계적으로 유의하게 나타났다. A/P 방향(*F*=.163, *p*=.688)과 M/L

방향의 압력 중심 이동 거리($F=2.565$, $p=.114$)에서 숙련도와 퍼팅 거리에 따른 상호작용효과는 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다. 엘리트 그룹과 초보자 그룹 간 퍼팅 수행 시 A/P 방향과 M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리를 비교한 결과, 2 m 퍼팅($t=-7.263$, $p=.000$)과 3 m 퍼팅($t=-7.472$, $p=.000$)에서 초보자 그룹이 엘리트 그룹 보다 M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리가 통계적으로 크게 나타났다. 엘리트 그룹과 초보자 그룹 내 2 m, 3 m 퍼팅 수행 시 A/P 방향과 M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리를 비교한 결과, 초보자 그룹의 3 m 퍼팅이 2 m 퍼팅 보다 M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리가 통계적으로 크게 나타났으며($t=-2.257$, $p=.037$), 엘리트 그룹에서 3 m 퍼팅이 2 m 퍼팅 보다 M/L 방향의 신체 질량 중심 이동 거리가 통계적으로 크게 나타났다($t=-2.345$, $p=.030$).

DISCUSSION

골프 퍼팅은 홀 컵까지 정확하게 볼을 운동시키는 정교한 동작의 스윙 운동이다. 골프의 스코어를 줄이기 위해서는 그린 위에서 수행되는 퍼팅의 정확성을 향상시키는 것이 가장 확실한 방법이 될 수 있다(Kim, 2012). 퍼팅 시 퍼터 헤드의 운동은 백스윙과 피니쉬 지점에서 위치가 가장 높고 볼을 타격하는 임팩트 지점에서 가장 낮은 위치를 보이는 진자 운동의 형태를 나타낸다(Hwang, 2006; Wren, 1990). 이러한 골프 클럽의 진자 운동은 골프의 스윙 동작에서 나타나며 퍼팅의 경우 다른 클럽의 진자 운동에 비해 더욱 세밀한 퍼터 헤드의 운동을 필요로 한다. 이에 본 연구에서는 엘리트와 초보자 골퍼들을 대상으로 2 m와 3 m의 조건에서 퍼팅 동작을 실시하게 한 후 숙련도와 퍼팅 거리에 따른 동적 안정성 요인들인 CoP와 CoM의 움직임에 대한 주효과와 상호작용효과를 분석하였다.

본 연구에서 엘리트와 초보 골퍼 그룹들을 대상으로 2 m와 3 m 거리 조건의 퍼팅 동작 시 CoP 요인을 분석한 결과, (Table 2)에서 보는 바와 같이 초보자 골퍼 그룹은 엘리트 골퍼 그룹에 비해 2 m와 3 m 조건에서 볼의 운동 방향인 ML 방향으로 통계적으로 많은 움직임을 나타내었다. 그리고 2 m에서 3 m로 퍼팅 거리의 증가는 ML 방향으로의 CoP 이동 거리 증가를 가져왔으며 이는 엘리트와 초보자 그룹에서 공통적으로 나타났다. AP 방향으로의 CoP 움직임에서는 초보자 그룹이 엘리트 그룹에 비해 상대적 큰 수치를 나타내었지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 그리고 엘리트 그룹은 2 m와 3 m 조건의 퍼팅 시 AP 방향 CoP 이동 거리에 차이를 보이지 않았던 반면, 초보자 그룹에서는 퍼팅 거리 증가에 따라 AP 방향 CoP 이동 거리의 증가를 나타내었다.

기저면 상에서 발생하는 압력 중심의 움직임은 동적 안정성을 판단하는데 중요한 요인 중 하나이다. 기저면 상에서 CoP의 움직임의 증가는 동적 안정성에 저하를 가져올 수 있는 원

인으로 작용할 수 있다. 퍼팅의 경우 볼이 그린과 지속적으로 마찰을 하면서 목표 지점까지 굴러가야 하기 때문에 홀 컵까지 볼의 직진성을 유지하기 위해서 더욱 정확한 임팩트가 필요하다. Ryu & Kim (2007)은 퍼팅 동작을 분석한 결과 퍼팅의 기술 수준이 높을수록 퍼터 헤드의 진자 운동 시 시간 변화에 따라 부드러운 퍼터 헤드의 가속 현상을 나타내며, 특히 퍼팅의 피니쉬 시점에서 퍼터의 제어 능력이 높은 것으로 보고하였다. 퍼팅 동작 시 퍼터 헤드의 진자 운동 크기와 가속 제어 능력은 퍼팅 성공률과 높은 관련성을 가진다(Lee & Kim, 2013). 그리고 퍼팅 거리에 따라 퍼터 헤드 운동을 조절하는 힘은 압력 중심 움직임을 최소화하여 동적 안정성을 유지한 상태에서 임팩트를 수행함으로써 명확하게 볼에 전달될 수 있을 것이다.

Karlsen, Smith & Nilsson (2008)은 골프 퍼팅 시 일정한 퍼터 헤드의 운동을 통해 임팩트의 정확성을 향상시키는 것이 퍼팅의 성공을 증가시킬 수 있을 것이라 보고하였다. 이에 대하여 Lim et al. (2006)은 초보자 골퍼들의 경우 엘리트 골퍼들에 비하여 타겟 방향으로의 질량 중심의 저크 수치가 크게 나타났고, 이는 초보자 골퍼들의 퍼팅 동작 시 엘리트 골퍼들에 비해 상대적으로 큰 퍼터 헤드의 운동과 관련성이 높은 것으로 보고하였다. 퍼팅 시 신체 분절들의 선 운동과 회전 운동에 의해 발생하는 신체의 복합적 움직임은 퍼터 헤드의 진자 운동과 함께 나타난다. 이에 본 연구에서는 퍼팅 동작 시 신체 분절들의 운동에 의해 결정되는 신체 질량 중심 요인을 분석하였다. 그 결과(Table 3)에서 보는 바와 같이 초보 골퍼 그룹과 엘리트 골퍼 그룹에서 2 m, 3 m 조건의 퍼팅 시 AP 방향의 CoM 이동 거리에는 차이를 보이지 않았으며, 두 그룹의 AP 방향의 CoM 이동 거리 수치에도 차이는 없었다. 이에 반해, ML 방향 CoM 이동 거리에서는 초보자 그룹이 엘리트 그룹에 비해 2 m와 3 m 조건에서 모두 퍼팅 시 상대적으로 큰 움직임을 나타내었다. 그리고 초보자와 엘리트 골퍼 그룹들은 2 m에 비해 3 m 조건에서 퍼팅 시 ML 방향으로 통계적으로 많은 CoM 이동 거리를 나타내었다. 이와 관련하여 Kim (2012)은 퍼팅 거리의 증가는 상지 관절 가동 범위와 퍼터 헤드의 운동 범위를 증가시키는 것으로 보고하였다. 그리고 Delay et al. (1997)는 퍼팅 시 백스윙의 크기는 일정한 퍼터 헤드 속도로 운동한다는 조건에서 퍼팅 거리를 조절할 수 있는 기준이 될 수 있는 것으로 보고하였다. 이와 같이 퍼팅 거리의 변화는 신체 관절과 퍼터 헤드 진자 운동에 영향을 주어 백스윙과 다운스윙 시 신체 질량 중심의 움직임에 차이를 가져올 수 있는 요인으로 작용한다. 특히, A/P 방향의 신체 운동 증가는 퍼터 헤드의 진자 운동에 부정적 영향을 주어 임팩트의 정확성을 감소시키는 것으로 보고되고 있다(Hwang, 2006; Choi & Park, 2002). 따라서 퍼팅 시 임팩트의 정확성과 거리의 조절 능력을 향상시키기 위해서는 신체 질량 중심 움직임을 최소화시킬 필요성이 있다.

이를 통해 퍼팅 시 신체 관절들의 회전 운동은 분절들의 위치를 연속적으로 변화시키지만 그럼에도 불구하고 신체 밸런스 유지를 통해 퍼터 헤드의 진자 운동의 궤적과 속도를 일정하게 제어함으로써 퍼팅의 일관성과 정확성을 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

CONCLUSION

본 연구 목적은 골프 퍼팅 시 숙련도와 퍼팅 거리 요인이 신체 질량 중심과 압력 중심 요인들에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 본 연구를 통해 숙련도와 퍼팅 거리 요인은 퍼팅 시 M/L 방향으로의 압력 중심과 신체 질량 중심 움직임에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 더욱이, 초보자들의 경우 엘리트 골퍼들에 비해 M/L 방향으로의 압력 중심과 신체 질량 중심이 매우 크게 나타났으며 이는 동적 안정성이 매우 낮다는 것을 의미한다. 그러므로 초보 골퍼들은 퍼터 헤드의 진자 운동인 M/L 방향의 압력 중심과 신체 질량 중심을 최소화하여 동적 안정성 향상을 도모할 수 있는 연습방법을 제안할 수 있다. 더불어 퍼팅 시 신체의 동적 안정성의 유지는 보다 퍼팅 스트로크 시 볼을 퍼터의 sweet spot에 타격할 수 있을 뿐만 아니라 퍼터 헤드 운동의 제어를 능력을 향상시켜 임팩트 후 볼의 운동 거리와 방향성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2017R1A2B4010785).

REFERENCES

- Ball, K. A. & Best, R. J. (2012). Centre of pressure patterns in the golf swing: individual-based analysis. *Sports Biomechanics*, 11(2), 175-189.
- Bowen, R. T. (1968). Putting errors of beginning golfers using different points of aim. *Research Quarterly: American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 39(1), 31-35.
- Campbell, M. J. & Moran, A. P. (2014). There is more to green reading than meets the eye! exploring the gaze behaviors of expert golfers on a virtual golf putting task. *Cognitive Processing*, 15(3), 363-372.
- Choi, S. J. & Park, J. J. (2002). Biomechanics analysis by success and failure during golf putting swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 12(2), 279-293.
- Delay, D., Nougier, V., Orliaguet, J. & Coello, Y. (1997). Movement control in golf putting. *Human Movement Science*, 16(5), 597-619.
- Gao, K. L., Hui-Chan, C. W. Y. & Tsang, W. W. N. (2011). Golfers have better balance control and confidence than healthy controls. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), 2805-2812.
- Hwang, G. Y. (2006). Golf putt performance with concomitant changes in the kinematic movements. *The Korea Journal of Sports Science*, 15(4), 731-739.
- Karlsen, J. & Nilsson, J. (2008). Distance variability in golf putting among highly skilled players: The role of green reading. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 3(1), 71-80.
- Karlsen, J., Smith, G. & Nilsson, J. (2008). The stroke has only a minor influence on direction consistency in golf putting among elite players. *Journal of Sports Sciences*, 26(3), 243-250.
- Kim, M. Y. (2012). A Comparative analysis on the kinematic variable factors by the distance of golf putting. *The Korean Journal of Sports*, 10(2), 209-216.
- Lee, S. H. & Kim, S. B. (2013). The Effect of fixation point change on performance golf putting performance. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 25, 707-175.
- Lim, Y. T. & Kwon, M. S. (2017). The effect of stance type on the club head speed and center of pressure and center of mass patterns during the driver swing. *Journal of Golf Studies*, 17(1), 203-215.
- Lim, Y. T., Choi, J. S., Han, Y. M., Kim, H. S., Lee, J. H., Jun, J. H. & Tack, G. R. (2006). Analysis of golf putting for elite & novice golfers using jerk cost function. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(1), 1-10.
- Mackenzie, S. J. & Springs, E. J. (2005). Evaluation of the plumb-bob method for reading greens in putting. *Journal of Sports Science*, 23, 81-87.
- Okuda, I., Gribble, P. & Armstrong, C. (2010). Trunk rotation and weight transfer patterns between skilled and low skilled golfers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 127-133.
- Park, J. (2000). Swing time analysis during the putting stroke. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 9(2), 187-193.
- Pelz, D. (2000). *Dave Pelz's putting bible: the complete guide to mastering the green* (Vol. 2). Doubleday Books.
- Ryu, J. K. & Kim, S. J. (2007). The Characteristics of control in golf putting on skill level and target distance. *Korean Journal*

- of Sport Psychology, 18*(3), 181-191.
- Sell, T. C., Tsai, Y., Smoliga, J. M., Myers, J. B. & Lephart, S. M. (2007). Strength, flexibility, and balance characteristics of highly proficient golfers. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 21*(4), 1166-1171.
- Stemm, J., Jacobson, B. & Royer, T. (2006). Comparison of stability and weight shift among golfers grouped by skill level. *Perceptual and Motor Skills, 103*(3), 685-692.
- Tsang, W. W. & Hui-Chan, C. W. (2004). Effects of exercise on joint sense and balance in elderly men: Tai chi versus golf. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 36*(4), 658-667.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture, 3*(4), 193-214.
- Wiren, G. (1990). *PGA Teaching Manual: The art and science of golf instruction*. Jenison, MI: PGA of America.
- Wiren, G. (1987). *Golf: Building a solid game* Prentice Hall.
- Wrobel, J. S., Marclay, S. & Najafi, B. (2012). Golfing skill level postural control differences: A brief report. *Journal of Sports Science & Medicine, 11*(3), 452-458.
- Zatsiorski, V. (1990). In vivo body segment inertial parameters determination using a gamma-scanner method. *Biomechanics of Human Movement, 18*6-202.