KJSB Korean Journal of Sport Biomechanics 2020; 30(3): 217-223
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2020.30.3.217
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Correlation Analysis between Postural Sway and Kinematics Variables of Putter Head during Golf Putting

골프 퍼팅 시 자세 흔들림과 퍼터 헤드의 운동학적 변인 간 상관성 분석

Jae-Woo Lee[2,3], Moon-Seok Kwon[3], Jun-Sung Park[3], Young-Tae Lim[1,3]

[1]College of Biomedical & Health Science, Golf Industry Major, Konkuk University, Chungju, South Korea
[2]Department of Sports Science, Graduate School of Konkuk University, Chungju, South Korea
[3]Sports Convergence Institute, Konkuk University, Chungju, South Korea

Received : 14 May 2020
Revised : 20 July 2020
Accepted : 25 July 2020

Corresponding Author
Young-Tae Lim
College of Biomedical & Health Science, Golf Industry Major, Konkuk University, Chungwon-Daero, Chungju-si, Chungchongbuk-do, 27478, South Korea
Tel : +82-43-840-4770
Fax : +82-43-840-3498
Email : ytlim@kku.ac.kr

Objective: The purpose of this study was to analyze the effect of postural sway on the kinematic variables of the putter head during golf putting and to provide information to the importance of postural sway control in the putting stroke for novice golfers.

Method: The center of pressure (CoP) and Kinematics variables of the putter head were calculated during 2 m flat golf putting using 8 motion capture cameras (250 Hz) and 2 force plate (1,000 Hz). SPSS 24.0 was used to perform Pearson's correlation coefficient and simple regression analysis, and the statistically significance level was set to .05.

Results: As a result of analyzing the correlation between CoP variables and the putter head rotation angle, the CoP moving length, CoP moving range (ML direction), and CoP moving velocity (ML direction) showed a positive correlation with the putter head rotation angle (yaw axis) and were statistically significant.

Conclusion: Therefore, In order to perform the accurate putting stroke maintaining the ball's directionality, it is determined that it is important to control posture sway in the ML directions by minimizing the movement and velocity of the CoP.

Keywords: Putting, Postural sway, Center of pressure, Putter head, Kinematic variable

INTRODUCTION

골프는 드라이버, 우드, 아이언, 퍼터 등 다양한 형태의 클럽을 이용하여 최소한의 타수로 경기의 우열을 겨루는 스포츠 종목이다. 골프의 스윙 동작은 드라이버나 아이언 클럽을 이용하는 샷과 퍼터를 이용하는 퍼팅 스트로크로 구분한다. 퍼팅은 골프 경기의 매 홀 마다 그린 위에 위치한 홀 컵에 볼을 넣어야 하는 최종 단계로, 퍼팅의 실패는 전체 경기 스코어에 직접적인 영향을 주기에 많은 프로 골퍼들은 퍼팅 횟수를 줄이기 위해 노력한다(Kim, 2016). 실제로 여러 선행연구에서 골프 경기에서 이루어지는 전체 샷 중 퍼팅이 약 40% 이상을 차지하는 것으로 나타났으며(Gwyn & Patch, 1993; Har & Cho, 2015), 이러한 이유로 프로 골프 선수들은 낮은 경기 스코어를 내기 위해 훈련 중 약 70%를 숏게임에 비중을 두는 것으로 알려졌다.

드라이버나 아이언 스윙은 비거리를 향상시키기 위해 체중을 이동함으로써 클럽 헤드 스피드를 증가시킨다(Gryc, Zahalka, Maly, Mala & Hrasky, 2015). 반면, 퍼팅은 퍼터를 이용하여

Copyright © 2020 Korean Journal of Sport Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

108 mm의 홀 컵에 공을 굴려 넣는 정교한 신체 움직임이 필요한 동작으로 최소한의 체중이동을 필요로 한다(Park, Lim, Lee & Kwon, 2019; Park, 2002; Choi & Park, 2002). 퍼팅 동작은 신체의 전후 축을 중심으로 양 어깨와 상지(upper limb)를 좌우로 회전해 퍼터 헤드의 진자 운동을 만들고, 백 스윙과 다운 스윙으로 발생한 에너지를 볼에 전달함으로써 퍼팅 스트로크로 연결된다(Lim et al., 2007; Park, 2012). 이때 퍼터 헤드 운동의 정확성과 일관성은 성공적인 퍼팅을 위한 요인이며 이를 충족하기 위해서는 기본적으로 신체 운동 시 동적 자세 안정성(Dynamic Postural Stability)을 유지하는 것이 필수적이다(Park et al., 2019). 신체의 동적 자세 안정성은 양 발이 지면과 접촉하여 발생하는 지면반력의 작용점 즉, 압력중심(Center of Pressure: CoP)의 제어를 통해 결정된다. Choi & Park (2002)는 안정적인 자세에서 지면반력의 이동이 작은 동작이 퍼팅 성공률을 높인다고 보고하였으며 Richardson, Hughes & Mitchell (2012)는 전후 방향의 압력중심 이동 폭을 감소시키는 것이 퍼팅 수행력의 향상에 도움이 된다고 보았다. 이와 같이 불안정한 자세 유지 능력으로 인해 발생하는 자세 흔들림(Postural Sway)은 퍼터 헤드 운동의 정교한 제어가 필요한 퍼팅 스트로크에서 퍼팅의 정확성을 감소시킬 수 있으므로 안정적인 자세를 유지하는 것이 중요하다.

퍼팅 수행 시 목표한 방향과 거리에 맞춰 볼을 운동시키기 위해서는 퍼터 헤드 운동은 일관적이고 정확해야 한다(Pelz, 2000). 이를 위해서는 볼이 퍼터 헤드 페이스에 접촉하는 시점인 볼 임팩트에서 퍼터 헤드의 이동변화를 최소화하고 퍼터 헤드에서 전달되는 힘의 방향이 공이 움직이는 방향인 퍼트선(Putt Line)과 일치해야 하며 퍼터 헤드 페이스는 퍼트 선과 수직을 유지해야 한다. 앞선 조건들이 충족될 경우 퍼터 헤드 페이스의 정중앙인 스윗스팟(Sweet Spot)에 볼을 스트로크할 수 있는 것을 보고하였다(Alastair & John, 2005; Heuler, 1995; Pelz, 2000; Rha, 2011). 위와 같이 퍼터 헤드의 움직임은 퍼팅 성공률에 영향을 주는 요인이며, 특히 볼 임팩트 시 퍼터 헤드의 운동학적 변인인 위치와 각도는 볼이 홀 컵까지 도달하는 궤적을 결정짓는 중요한 요소로 볼 수 있다.

퍼팅 스트로크와 관련된 대부분의 선행연구들은 퍼팅 시 신체와 퍼터 헤드의 움직임에 대한 운동학적, 운동역학적 요소들을 독립적으로 분석하는데 중점을 두었다. 하지만 퍼팅은 신체 움직임이 만들어낸 힘을 퍼터를 통해 공으로 전달하는 동작이므로 신체의 불필요한 흔들림이 퍼터 헤드 움직임과 볼의 운동에 영향을 미칠 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 둘의 관계성을 확인할 수 있는 복합적 분석을 함께 진행하는 것이 보다 유의미할 것이다. 그러나 이를 규명하기 위한 정량적 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

그러므로 본 연구는 골프 퍼팅 스트로크 시 자세 흔들림이 퍼터 헤드의 운동학적 변인에 미치는 영향을 확인하는데 목적이 있다. 이를 위해 퍼팅 동작 시 연구참여자의 압력중심 변인을 통해 자세 흔들림의 크기와 속도를 측정하고 볼 임팩트 시점의 퍼터 헤드의 이동과 회전각도의 변화를 분석함으로써 이 연구의 결과가 초보자들에게 퍼팅 수행 시 자세 흔들림 조절의 중요성에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구는 최근 12개월 이내에 근골격계 부상 이력이 없는 신체 건강한 골퍼 34명이 참여하였으며 아마추어부터 KPGA, KLPGA 소속의 엘리트 골퍼까지 다양한 수준의 골퍼들로 구성하였다(Table 1). 본 연구에서는 퍼팅 동작에서 발생하는 미세한 자세 흔들림이 퍼터 헤드의 움직임에 미치는 영향을 확인하기 위해 상관관계와 회귀분석을 수행했기 때문에 연구대상자들의 골프 수준은 고려하지 않았다.

Table 1. Physical characteristics of participants

Group	Mean ± SD			
	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Handicap
Golfer (n = 34)	24.0±2.3	170.3±8.6	69.6±13.6	8.4±1.7

2. 실험방법 및 절차

이 연구를 진행하기 전 연구참여자에게 연구목적과 실험 절차를 설명한 뒤, 실험 참여에 동의를 얻어 진행하였다. 연구참여자는 부상 방지를 위해 약 10분 간 충분한 스트레칭과 퍼팅 스트로크 연습을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 퍼터는 퍼터 헤드 페이스와 동일 수직선 상에 neck 마커를 부착할 수 있는 퍼터였으며, 모든 연구대상자들에게 충분한 연습 후 이 퍼터를 사용하게 하였다. 이후 spandax 소재의 실험복으로 환복한 뒤, Vicon (Vicon, Denver, USA)사에서 제공하는 Plug-in-gait 모델을 기반으로 15 mm 반사마커(reflective marker) 47개를 각 분절과 관절에 부착하고 퍼터 헤드의 toe, heel, 샤프트의 neck, grip에 총 4개의 마커를 추가적으로 부착하였다. 3차원 공간의 전역좌표계를 설정하기 위해 active wand를 이용하여 캘리브레이션(calibration)을 실시하였으며 이를 통해 X 축을 AP (anterior-posterior) 방향, Y 축을 ML (medial-lateral, targeted direction) 방향, Z 축을 SI (superior-inferior) 방향으로 설정하였다. 퍼터 헤드의 지역좌표계는 퍼터 헤드에 부착된 toe,

heel, neck 마커를 통해 x 축(anterior-posterior / roll axis), y 축(medial-lateral / pitch axis), z 축(superior-inferior / yaw axis)을 설정하였다(Figure 1). 퍼팅 수행 시 3차원 운동학 및 운동역학적 자료를 수집하기 위해 8대의 적외선 모션캡쳐카메라(T10S, Vicon, LA, USA, sampling rate: 250 Hz)와 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI, Watertown, MA, USA, sampling rate: 1,000 Hz)를 사용하였다.

퍼팅 수행 시 자세 흔들림과 퍼터 헤드의 움직임 간 상관관계를 확인하기 위해 연구참여자들은 지면반력기 위에 올라가 퍼팅 준비 자세를 취하였으며 연구자의 신호에 따라 2 m 거리에 위치한 홀 컵을 향해 평지 퍼팅을 1회 실시하였다. 수집된 자료는 Nexus software ver. 1.8.3 (Vicon, Denver, USA)과 Kwon3DXP (Visol, Korea)를 사용하여 위치데이터는 8 Hz, 지면반력 데이터는 50 Hz의 fourth-order low-pass Butterworth filter로 smoothing하여 퍼팅 동작 시 발생하는 운동학적 및 운동역학적 변인을 분석하였다.

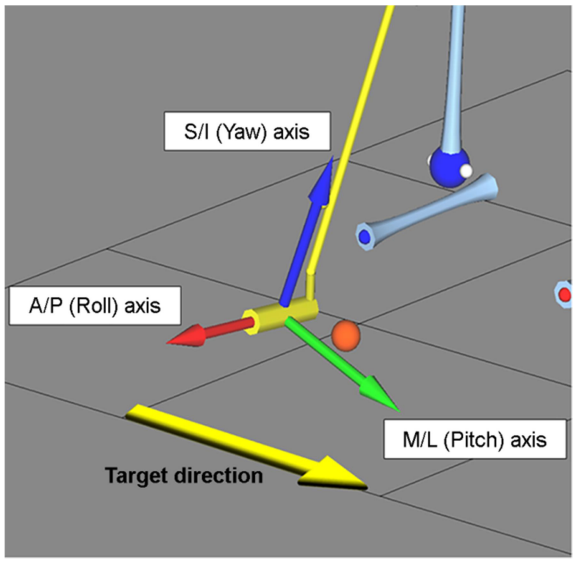

Figure 1. Definition of putter head's local reference

연구참여자의 자세 흔들림 크기와 속도를 확인하기 위해 2대의 지면반력기를 이용하여 지면반력을 측정하였으며 측정된 양 발의 AP, ML 방향의 지면반력 자료를 이용하여 압력중심 자료를 산출하였다. 산출된 압력중심은 Matlab R2016a (MathWorks, USA)를 이용하여 퍼팅 동작 시 압력중심이 이동한 거리(moving path length), AP, ML 방향의 최대 이동범위(moving range)와 이동 평균속도(moving velocity)를 계산하였으며 압력중심의 이동거리, 이동범위의 크기와 이동 평균속도의 증가는 자세 흔들림 크기와 속도의 증가로 해석하였다(Palmieri, Ingersoll, Stone & Krause, 2002).

퍼터 헤드의 운동학적 변인인 이동변화는 어드레스 이벤트를 기준으로 임팩트 시점에서 퍼터 헤드가 방향별 이동한 거리를 통해 오차를 확인하였으며 퍼터 헤드의 AP 방향(+: 전, -: 후), ML 방향(+: 좌, -: 우), SI 방향(+: 상, -: 하)으로 이동하는 움직임을 정의하였다. 퍼터 헤드의 회전각도는 설정된 지역좌표계의 상대지향각을 계산하는 Cadan orientation 방법을 이용하여 산출하였다. 볼 임팩트 이벤트에서 퍼터 헤드의 회전각도 오차를 확인하기 위해 어드레스 이벤트 시점에서의 퍼터 헤드 회전각도 수치로 일반화하였으며 퍼터 헤드의 Roll 축(+: open, -: close), Pitch 축(+: putter heel-up, -: putter toe-up), Yaw 축(+: close, -: open)으로 회전 움직임을 정의하였다.

퍼팅 수행 시 압력중심과 퍼터 헤드의 이동변화, 회전각도를 분석하기 위해 어드레스(Address: AD), 탑 오브 백스윙(Top of Backswing: TB), 볼 임팩트(Ball Impact: BI), 피니쉬(Finish: FIN)

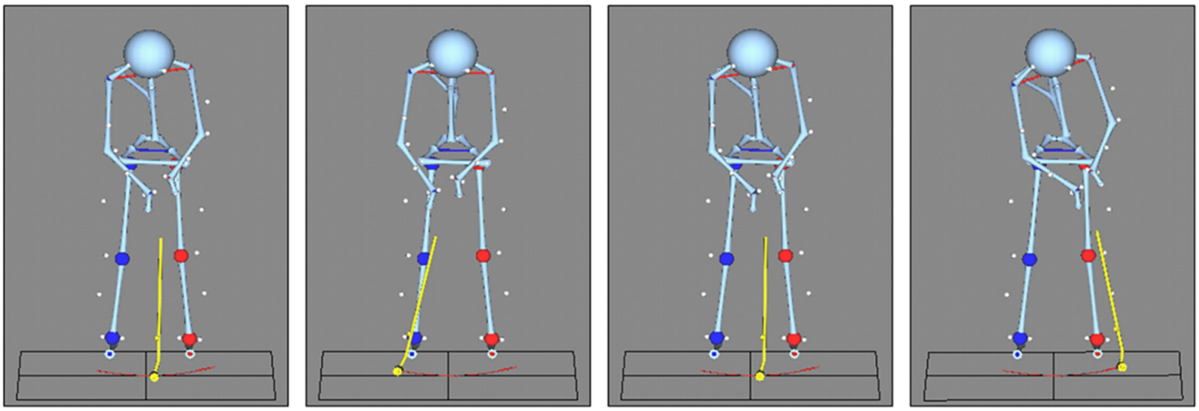

Figure 2. Event of golf putting

로 4개의 이벤트를 정의하였다. 자세 흔들림을 측정하기 위한 압력중심의 분석구간은 어드레스부터 피니쉬 이벤트까지 전체 구간으로 설정하였고 퍼터 헤드의 운동학적 변인은 볼 임팩트 이벤트에서 분석하였다(Figure 2).

3. 통계분석

이 연구에서 획득한 자료는 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 산출하여 SPSS 24.0 통계프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL 60606, USA)에 입력하였다. 이후 골프 퍼팅 시 압력중심 변인과 퍼터 헤드의 운동학적 변인 간 상관관계를 검증하기 위해 pearson의 적률상관계수를(pearson's correlation coefficient) 이용하여 분석하였으며, 통계적으로 유의미한 상관관계를 나타낸 변인 간 단순 회귀분석(simple regression analysis)을 실시하였다. 분석 결과의 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

RESULTS

1. 골프 퍼팅 시 자세 흔들림이 퍼터 헤드 이동변화에 미치는 영향

골퍼 34명을 대상으로 골프 퍼팅 수행 시 압력중심의 이동거리, 방향별 이동범위, 방향별 이동속도와 볼 임팩트 시점에서 퍼터 헤드의 이동변화 간 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 2). 퍼팅 수행 시 압력중심의 이동거리는 퍼터

Table 2. Results of correlation between postural sway and putter head transition during golf putting

CoP variables (unit)	Putter head transition at ball impact					
	A/P		M/L		S/I	
	r	*p*	*r*	*p*	*r*	*p*
Moving path length (cm)	0.098	.581	0.188	.287	0.096	.588
Moving range (cm)						
A/P range	0.139	.432	-0.089	.619	-0.101	.570
M/L range	0.101	.571	0.167	.345	0.137	.439
Moving velocity (cm/s)						
A/P velocity	0.108	.544	-0.099	.578	-0.097	.585
M/L velocity	0.114	.521	0.278	.111	0.229	.192

Note. A/P: Anterior-Posterior, M/L: Medial-Lateral, S/I: Superior-Inferior

Table 3. Results of correlation between postural sway and putter head rotation angle during golf putting

CoP variables (unit)	Putter head rotation angle at ball impact					
	Roll		Pitch		Yaw	
	r	*p*	*r*	*p*	*r*	*p*
Moving path length (cm)	0.157	.376	-0.159	.368	.697	.000
Moving range (cm)						
A/P range	-0.091	.608	-0.157	.376	0.093	.601
M/L range	0.159	.370	-0.117	.510	.680	.000
Moving velocity (cm/s)						
A/P velocity	0.032	.856	-0.140	.428	0.234	.183
M/L velocity	0.110	.537	-0.116	.515	.653	.000

Note. A/P: Anterior-Posterior, M/L: Medial-Lateral

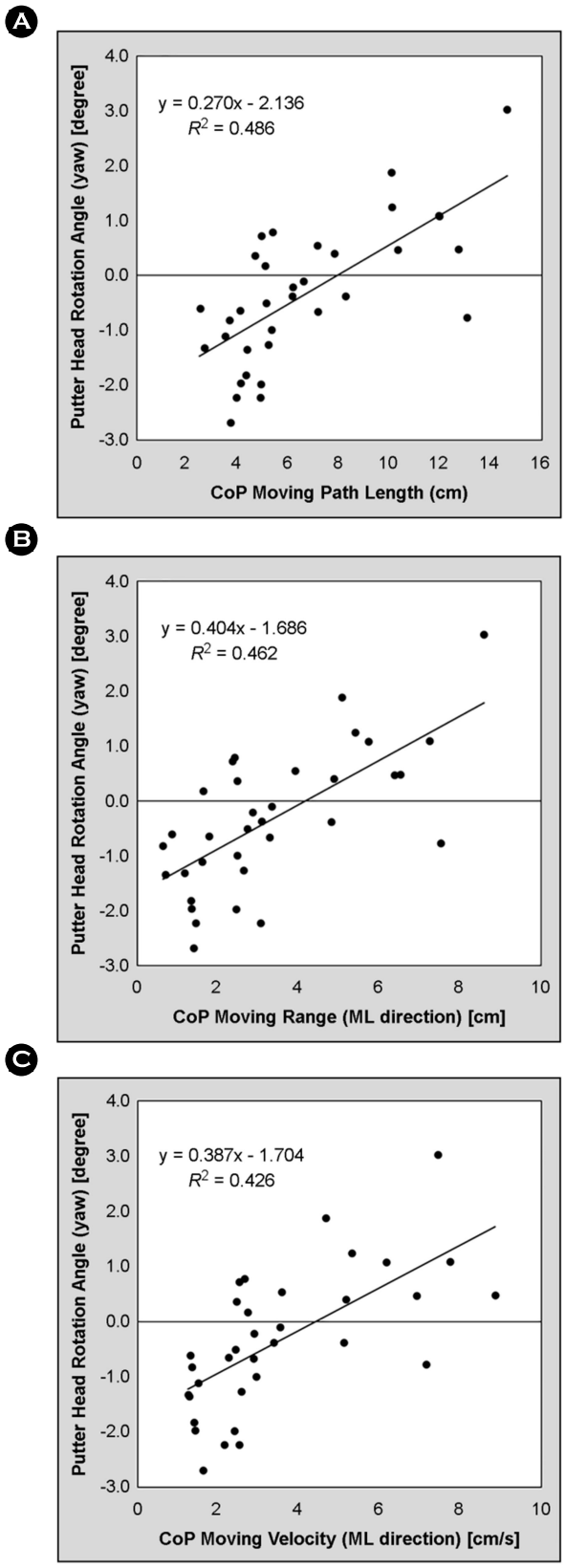

Figure 3. Results of simple regression analysis between postural sway and putter head rotation angle during golf putting

헤드의 AP 방향, ML 방향, SI 방향의 이동변화와 통계적으로 유의미한 상관관계가 나타나지 않았다. 압력중심의 이동범위는 퍼터 헤드의 AP 방향, ML 방향과 SI 방향에서 통계적으로 유의미한 상관관계가 나타나지 않았으며 압력중심의 이동속도에서도 퍼터 헤드의 AP 방향, ML 방향, SI 방향 이동속도와 통계적으로 유의미한 상관관계가 나타나지 않았다.

2. 골프 퍼팅 시 자세 흔들림이 퍼터 헤드 회전각도에 미치는 영향

골퍼 34명을 대상으로 골프 퍼팅 수행 시 압력중심의 이동거리, 방향별 이동범위, 방향별 이동속도와 볼 임팩트 시점에서 퍼터 헤드의 회전각도 간 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 3). 이후 유의미한 상관관계를 나타낸 변인들은 단순 회귀분석을 실시하였다(Figure 3). 퍼팅 수행 시 압력중심의 이동거리는 퍼터 헤드의 yaw 축 회전각도와 정적 상관관계가 나타났으며(r = 0.697, R^2 = .486, p = .000) (Figure 3.A) 통계적으로 유의미한 결과를 보였다. 압력중심의 ML 방향 이동범위는 퍼터 헤드의 yaw 축 회전각도와 정적 상관관계가 나타났으며 통계적으로 유의미한 결과가 나타났다(r = .680, R^2 = .462, p = .000) (Figure 3.B). 압력중심의 ML 방향 이동속도는 퍼터 헤드의 yaw 축 회전각도와 정적 상관관계를 보였으며 통계적으로 유의미한 결과가 나타났다(r = .653, R^2 = .426, p = .000) (Figure 3.C).

DISCUSSION

골프 퍼팅은 골프 경기에서 구사되는 여러 스윙 기술 중 경기 스코어에 직접적으로 영향을 주는 중요한 기술이다(Kim, Lee & Lee, 2012; Kim, 2016). 성공적인 골프 퍼팅을 수행하기 위해서는 정교한 퍼터 헤드 움직임으로 목표한 방향을 향해 볼을 운동시켜야 한다. 볼 임팩트 시점에서 퍼터 헤드의 이동거리 변화는 스윗스팟에서 벗어난 퍼팅 스트로크가 될 가능성이 있으며, 퍼터 헤드의 회전각도는 홀 컵까지 이동하는 볼 운동 궤적에 영향을 주기 때문에 일정하고 정확한 퍼팅 스트로크를 위해서는 퍼터 헤드의 운동학적 변인 요소를 고려해야 한다(Alastair & John, 2005; Heuler, 1995; Palmer, 1987). 퍼팅이란 신체 운동에 의해 생성된 힘을 퍼터를 통해 공으로 전달하는 동작이므로 불필요한 자세 흔들림이 퍼터 운동에 영향을 미칠 수 있으나 이와 관련된 정량적 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 골프 퍼팅 시 자세 흔들림이 퍼터 헤드 운동에 미치는 영향을 확인하기 위해 34명의 골퍼를 대상으로 압력중심 변인과 퍼터 헤드 운동의 운동학적 변인인 퍼터 헤드의 이동변화, 회전각도 간 상관분석과 회귀분석을 실시하였다.

퍼팅 스트로크 시 임팩트 시점에서 퍼터 헤드의 이동변화 증

가는 스윗스팟으로부터 벗어난 위치에서 볼이 접촉될 가능성을 높이며 이는 퍼팅 결과에 영향을 준다(Rha, 2011; Lee & Lee, 2019). 이에 Park (2002)은 연구를 통해 골프 숙련자와 초보자의 퍼팅 수행 시 임팩트 시점에서의 퍼터 헤드 이동변화를 관찰했으며, 스윗스팟으로부터 떨어진 지점에서 볼의 접촉은 볼의 이동거리와 방향에 영향을 주는 것을 확인했다. Pelz & Mastroni (1989)는 퍼팅 시 볼이 스윗스팟에서 6 mm 이상 떨어진 지점에서 접촉될 경우 95% 이상의 퍼팅 실패확률을 제시하였다. 이와 같이 골프 퍼팅에서 홀 컵까지의 거리에 따른 정확한 스트로크를 수행하기 위해서는 임팩트 시 볼이 스윗스팟에 접촉한 상태로 출발해야 하며 동적 자세 안정성을 유지한 상태로 퍼터 헤드의 진자 운동 크기와 가속을 제어하는 과정을 통해 조절된 힘을 공으로 전달해야 한다(Park et al., 2019). 이에 본 연구는 퍼팅 시 압력중심 변인과 임팩트 시점에서 퍼터 헤드 이동변화의 관계를 확인하기 위해 임팩트 시 볼이 스윗스팟에서 벗어난 정도를 측정하였다. 측정된 자료를 토대로 골프 퍼팅 시 압력중심 변인과 퍼터 헤드의 이동변화의 상관관계를 분석한 결과, 압력중심 변인인 이동거리, 이동범위, 이동속도와 AP, ML, SI 방향의 퍼터 헤드 이동거리는 통계적으로 유의미한 상관관계가 나타나지 않았다. 이는 퍼팅 스트로크 시 자세 흔들림의 크기와 속도가 퍼터 헤드의 방향별 선 운동에 미치는 영향이 낮은 것으로 해석할 수 있다.

양 발이 지면에 접촉하여 발생하는 압력중심의 움직임은 자세 흔들림을 확인할 수 있는 중요한 요인이다(Palmieri et al., 2002). 퍼팅 동작은 양 발을 지면에 고정한 상태에서 홀 컵까지의 거리에 따라 양 어깨와 상지 분절의 진자 운동 크기와 속도를 제어함으로써 백 스윙과 다운 스윙이 이루어진다(Delay, Nougier, Orliaguet & Coello, 1997). 이때 압력중심 움직임 제어는 안정적인 자세에서 퍼팅 스트로크를 수행하기 위한 요소로 알려져 있다. 이에 Richardson et al. (2012)의 연구에서는 골프 퍼팅 시 골퍼의 수준에 따른 압력중심의 변화를 확인한 결과, 낮은 핸디캡을 가진 골퍼가 높은 핸디캡을 가진 골퍼에 비해 전후 방향의 압력중심 이동 폭이 작게 나타났다. 퍼팅 스트로크 동작에서 프로 선수와 아마추어 선수의 압력중심 이동거리를 비교한 Hurrion (2009)의 연구는 프로 선수가 아마추어 선수에 비해 통계적으로 작은 압력중심의 이동거리가 나타난 것으로 보고하였다. 이와 같이 앞선 연구들을 통해 수준 높은 골퍼들은 압력중심의 이동을 최소화하여 안정적인 자세에서 스트로크를 수행하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 신체와 공의 매개 역할을 하는 퍼터의 움직임과의 관계성에 대해서는 확인하지 못한 제한점이 존재한다.

퍼팅 스트로크에서 볼 운동의 방향은 퍼팅 성공유무를 결정짓는 주요 요인이며 볼 운동의 방향에는 퍼터 헤드 운동의 궤적과 페이스의 각도가 영향을 미친다. 그 중 퍼터 헤드 페이스의 각도는 볼 운동의 방향성에 약 83% 이상 영향을 주는 것으로 보고하였다(Pelz, 2000). 볼 운동의 방향성을 유지한 채 스트로크를 진행하기 위해서는 임팩트 시 수평면을 기준으로 퍼터 헤드 면이 퍼트 선과 수직을 이루도록 하는 것이 중요하다. 즉 퍼터 헤드 페이스가 회전하지 않는 스퀘어(square) 상태를 유지한 채 타구가 이루어져야 정확한 퍼팅 스트로크를 구사할 수 있다. Park (2012)은 퍼팅 스트로크 시 퍼터 헤드 페이스의 변형이 2° 이상 발생될 경우 퍼팅이 실패할 가능성이 증가하는 것으로 판단하여 퍼팅에서 퍼터 헤드 페이스 각도 유지에 대한 중요성을 강조하였다. 이에 본 연구는 골프 퍼팅 시 압력중심 변인과 임팩트 시 퍼터 헤드의 회전각도의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 압력중심의 이동거리, 압력중심의 ML 방향 이동범위와 압력중심의 ML 방향 이동속도가 퍼터 헤드의 Yaw 축 회전각도와 정적 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 결과를 보였다(Table 3 & Figure 3). 이와 같은 압력중심 변인들의 수치가 높아지는 것은 자세 흔들림의 크기와 속도의 증가로 인한 동적 안정성의 저하를 의미하며 Yaw 축을 기준으로 퍼터 헤드 각도의 양(+)의 증가는 퍼터 헤드 페이스가 닫히는 것을 나타낸다. 따라서 퍼팅 스트로크 시 자세 흔들림 크기와 속도의 증가, 특히 ML 방향에서의 증가는 퍼터 헤드의 회전 운동에 영향을 주기 때문에 임팩트 시 퍼터 헤드 페이스가 닫힌 상태로 스트로크 되는 결과가 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 이는 퍼팅 스트로크 시 자세 흔들림으로 발생된 미세한 진동이 신체 관절과 분절을 통해 퍼터로 전이된 결과로 보여진다.

그러므로 골프 퍼팅 시 어깨와 상지 분절의 회전 운동은 자세 흔들림을 발생시키지만, 압력중심 이동과 속도를 최소화해 동적 자세 안정성을 유지시키므로 퍼터 헤드를 보다 일관되고 정확하게 운동시킬 수 있을 것으로 판단된다.

CONCLUSION

본 연구의 목적은 골프 퍼팅 시 자세 흔들림이 퍼터 헤드 운동에 미치는 영향을 분석하여 초보자들에게 퍼팅 스트로크에서 자세 조절의 중요성에 대한 기초자료를 제공하는 것이다. 본 연구의 결과를 통해 골프 퍼팅 시 AP, ML 방향의 압력중심 변인들은 임팩트 시 퍼터 헤드의 이동변화와 통계적으로 유의한 상관관계가 나타나지 않는 것을 확인하였다. 반면 압력중심의 이동거리, ML 방향의 이동범위, ML 방향의 이동속도는 임팩트 시 퍼터 헤드의 Yaw 축 회전각도 변화와 통계적으로 유의한 정적 상관관계가 나타났으며 압력중심 변인의 수치 증가에 따른 퍼터 헤드 페이스가 닫힌 상태로 스트로크가 되는 결과가 나타났다. 이러한 결과를 통해 골프 퍼팅 시 자세 흔들림은 퍼터 헤드의 이동변화에 미치는 영향은 낮으나 수평면상에서 나타나는 퍼터 헤드의 회전각도에는 높은 영향을 미치는 것을 확인하였다. 따라서 볼의 방향성을 유지한 정확한 퍼

팅 스트로크를 수행하기 위해서는 압력중심의 이동과 속도를 최소화함으로써 좌우 방향의 자세 흔들림을 제어하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by Konkuk University in 2019.

REFERENCES

Alastair, C. & John, S. (2005). Search for the perfect swing.

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.

Gryc, T., Zahalka, F., Maly, T., Mala, L. & Hrasky, P. (2015). Movement's analysis and weight transfer during the golf swing. *Journal of Physical Education and Sport*, *15*(4), 781.

Gwyn, R. G. & Patch, C. E. (1993). Comparing two putting styles for putting accuracy. *Perceptual and Motor Skills*, *76*(2), 387-390.

Har, D. H. & Cho, D. H. (2015). The Kinematic Analysis of Change of Putter Head on Puuting Accuracy. *The Korean Journal of Physical Education*, *54*(6), 617-624.

Heuler, O. (1995). Perfecting your golf swing: New ways to lower your score. Sterling Publishing Company Incorporated.

Hurrion, P. (2009). A biomechanical investigation into weight distribution and kinematic parameters during the putting stroke. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *4*(1_suppl), 89-105.

Kim, S. H., Lee, J. W. & Lee, M. S. (2012). Effectiveness of golf skills to average score in PGA. *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, *23*(3), 505-514.

Kim, S. I. (2016). Analysis of Skill Factors of Golf Performance in LPGA Tour (1993~2015). *Korean Journal of Golf Studies*, *10*(4), 49-59.

Lee, M. Y. & Lee, H. J. (2019). Analysis of inclination of amateur golfer putting stroke face angle and club path. *The Korean Society of Sports Science*, *28*(2), 1121-1127.

Lim, Y. T., Choi, J. S., Han, Y. M., Kim, H. S., Yi, J. H., Jun, J. H. & Tack, G. R. (2007). Analysis of golf putting for Elite & Novice golfers Using Jerk Cost Function. *Korean Society of Sport Biomechanics*, *16*(1), 1-10.

Palmer, A. (1987). Play great golf: Mastering the fundamentals of your game Doubleday Books.

Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B. & Krause, B. A. (2002). Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control. *Journal of Sport Rehabilitation*, *11*(1), 51-66.

Park, J. (2002). Comparisons of Putting Stroke Characteristics between Expert and Novice Golfers (1). *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *12*(2), 197-206.

Park, J. (2012). A Study Affecting the Results of Putting Stroke Which Are Face Angle at Impact, Swing Path of Club, and Green Slope. *Korean Society of Golf Studies*, *6*(2), 169-176.

Park, J. S., Lim, Y. T., Lee, J. W. & Kwon, M. S. (2019). Effects of Skill and Distance Factors on Center of Mass and Center of Pressure during Golf Putting. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *29*(4), 205-211.

Pelz, D. & Mastroni, N. (1989). The battle of the 'lumpy doughnut'. Putt Like the Pros., 24-38.

Pelz, D. (2000). Dave pelz's putting bible: The complete guide to mastering the green Doubleday Books.

Rha, I. J. (2011). Toward a New Putting Theory Based on the Effects of Separating Putterface Angle from Swing Path. *Korean Society of Golf Studies*, *5*(1), 39-48.

Richardson, A., Hughes, G. & Mitchell, A. (2012). Center of pressure excursion during the golf putting stroke in low, mid and high handicap golfers. *International Journal of Golf Science*.