KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2024; 34(1): 1-8
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2024.34.1.1
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Searching of Biomechanical Determination Factor for Improving Club Head Speed during the Driver Swing in Male Golf Players

남자 골프선수의 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드 향상을 위한 운동역학적 결정요인 탐색

Jae-Woo Lee[1], Young-Suk Kim[2], Jun-Sung Park[3]

[1]Sports Convergence Institute, Konkuk University, Chungju, South Korea
[2]Sports Science Institute, Changwon National University, Changwon, South Korea
[3]Department of Physical Education, Changwon National University, Changwon, South Korea

Received : 02 January 2024
Revised : 29 January 2024
Accepted : 03 February 2024

Corresponding Author
Jun-Sung Park
Department of Physical Education, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, South Korea
Email : jpark2471@changwon.ac.kr

Objective: The aim of this study was to identify the biomechanical determination factor for improving club head speed during the driver swing in male golf players.

Method: Twenty-seven golf players were participated in this study. Eight motion capture cameras (250 Hz) and two force plates (2,000 Hz) were used to collect peak angular velocity and ground reaction force data. It was performed stepwise multiple linear regression analysis and alpha set at .05.

Results: The peak plantar flexion angular velocity of the left ankle joint and the peak adduction angular velocity of the right shoulder joint were statistically significant. The peak plantar flexion angular velocity of the left ankle joint and the peak adduction angular velocity of the right shoulder during downswing.

Conclusion: It is suggested that applying body conditioning training aimed at improving related body functions to increase maximum plantar flexion angular velocity in the left ankle joint will be effective in improving club head speed.

Keywords: Golf, Distance, Club head speed, Ground reaction force, Angular velocity

INTRODUCTION

골프는 드라이버, 우드, 아이언, 웨지 그리고 퍼터를 사용하여 파(par) 3, 파(par) 4, 파(par) 5로 구성되어 있는 18개의 홀을 최소의 타수로 홀컵(hole cup)에 볼을 넣는 경기이다. 최근 대회를 개최하는 골프장의 총 전장은 7,000 야드 이상으로, 선수들의 롱게임(long game)이 경기 결과를 좌우한다(Lim, Park, Lee & Kwon, 2021). 롱게임(long game)은 드라이버(driver)와 우드(wood)같이 230 야드 이상 비거리를 낼 수 있는 클럽(club)을 사용하여 플레이 하는 것으로 많은 골퍼들이 이를 위해 시간을 할애하고 있다. 특히 대부분의 골퍼들은 파(par) 4와 파(par) 5홀(hole)의 티샷(tee shot)을 그린까지의 거리를 최소화시키기 위해 드라이버를 사용한다. 즉 비거리의 확보는 골프 경기에서 매우 중요한 부분을 차지하고 있

Copyright © 2024 Korean Journal of Applied 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.

어 프로와 아마추어 골퍼 모두 비거리를 증가시키려는 노력을 하고 있다.

전세계적으로 드라이버 비거리는 과거부터 현재까지 모든 골퍼들에게 관심사이며, 이에 대한 중요성은 연구자와 골프 코칭 측면에서 매우 중요한 요소로 강조되고 있다(Hellström, Nilsson & Isberg, 2014). 이에 대해 골프 방송과 같은 다양한 매체를 통해 많은 골퍼들에게 빠르게 전파되고 있고 있으며, 레슨 현장에서도 이를 적용시키려는 노력을 하고 있다. 비거리와 관련된 다양한 변인 중 운동역학적 관점에서 가장 첫 번째로 인식되고 있는 것은 지면반력이다(Toski & Love, 1998; Okuda, Armstrong, Tsunezumi & Yoshiike, 2012). 지면반력은 골프 스윙 시 체중이동(weight transfer)을 의미하며, 다운 스윙 초기에 최대의 크기로 발생되는데 이를 위해서 양쪽 무릎을 최대한 굴곡시키고 신체 질량 중심을 낮추는 것이 최대 지면반력을 발생시킬 수 있다(Ball & Best, 2012). 또한 지면반력은 다운 스윙 시 최대 클럽 헤드 스피드를 발생시키기 때문에 이를 통한 유기적인 협응 동작이 원활하게 이루어져야 비거리를 극대화 시킬 수 있다(Zumerchik, 2002). 그리고 지면반력은 골프 스윙 시 신체 균형 유지에도 영향을 미칠 수 있기 때문에 임팩트의 정확성까지 확보하는데 큰 도움이 될 수 있다(Hume, Keogh & Reid, 2005; Lim & Kwon, 2017; Toski & Love, 1998; Queen, Butler, Dai & Barnes, 2013; Leadbetter & Simmons, 2002).

운동역학적 측면에서는 지면반력이 비거리에 매우 중요한 변인인 것처럼 운동학적 측면에서는 클럽 헤드 스피드와 관련이 있는 신체 분절의 각속도가 중요하다. 특히 신체 분절의 각속도는 운동학적 사슬(kinematic sequence)로 표현되며, 골프 스윙 시 운동학적 사슬은 지면에 고정되어 있는 발을 시작으로 무릎, 골반, 몸통, 팔, 손목, 클럽 헤드 순으로 순차적으로 회전이 되는데 신체 분절들이 발휘하는 각속도가 점차적으로 증가할수록 클럽 헤드 스피드는 증가하는 것으로 알려져 있다(Bourgain, Rouch, Rouillon, Thoreux & Sauret, 2022; Cheetham, Martin, Mottram & St Laurent, 2000; Wheare, Nelson, Lumsden, Buttfield & Crowther, 2021). 그리고 임팩트 직전에 클럽 헤드의 각속도는 최대에 이르는 반면, 골반, 몸통, 그리고 팔은 감소하는 경향을 나타낸다. 이에 각 분절들의 최대 각속도 타이밍과 분절이 반응하는 순서 등 많은 정보들은 효율적인 스윙을 평가하는 척도로 사용될 수 있다(Parker, Hellström & Olsson, 2022). 결국 상체와 하체의 유기적인 회전 동작과 타이밍으로 인해 지면에 가하는 힘이 크게 발생되고 이는 곧 비거리와 방향성에 중요한 영향을 미치는 요인으로 판단할 수 있다(Kim et al., 2019). 이처럼 신체 분절의 운동학적 사슬은 골프 스윙에서 굉장히 중요한 부분을 차지하고 있음에도 최근까지 각속도에 대한 자세한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 방향 별 신체 분절의 각속도와 지면반력 분석을 통해 신체 분절의 연쇄 반응과 단계 별 골프 스윙 동작을 분석할 필요가 있다.

또한 최근 드라이버와 골프공의 반발계수의 규제가 이슈화되면서 장비의 성능을 통한 비거리 향상에 한계가 나타날 수 있다. 이와 같은 이유로 골프 드라이버 비거리 향상을 위한 근력, 근파워 등의 신체 능력이 더욱 중요할 것으로 판단되며, 특히 골프 선수들은 드라이버 스윙 시 빠른 골반 회전 속도, 빠른 상체 회전 속도, 강한 지면반력 생성, 오른손 잡이 골퍼의 경우 좌측 무릎의 빠른 회전 속도 등의 다양한 방법을 통해 비거리 향상 효과를 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구를 통해 비거리 향상에 직접적으로 영향을 주는 요인을 탐색할 것이며, 이는 드라이버 비거리 향상을 위한 레슨 및 코칭 관점에서 기초자료로 활용될 것으로 생각된다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구는 최근 12개월 내에 신체 근골격계 손상 이력이 없는 성인 남자 골프 선수 27명이 참여하였다(Table 1). 연구참여자는 한국프로골프협회(KPGA) 프로 골퍼 및 프로 골퍼 지망생으로, 핸디캡 5개 이하인 인원을 선별하여 연구대상자로 참여시켰다.

2. 실험방법 및 절차

본 연구의 참여자는 연구목적, 실험절차 및 주의사항을 설명받은 뒤, 실험 참여에 동의한 인원에 한해서 본 연구의 참여 및 자료 수집을 진행하였다. 연구참여자는 스판덱스 소재의 실험복으로 환복한 뒤, 실험 중에 발생할 부상을 예방하기 위해 약 10분간 충분한 스트레칭과 골프 드라이버 스윙

Table 1. Physical characteristic of participants

Variables (unit)	Participants (n = 27)			
	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Handicap
Mean ± SD	23.22±2.67	175.70±5.05	74.93±7.72	2.04±2.36

예비 동작을 통해 준비 운동을 수행하였다. 이후 Vicon사에서 제공하는 Plug-In-Gait Model을 기반으로 신체 주요 관절 및 분절에 15 mm 반사마커(reflective marker) 47개를 부착하였으며, 골프 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드를 측정하기 위해 드라이버 헤드의 윗면인 크라운(crown)에 1개의 반사마커를 추가 부착하였다.

연구참여자의 신체 및 드라이버 클럽에 반사마커를 부착한 뒤, Vicon사에서 제공하는 Active Wand를 이용하여 캘리브레이션(calibration)을 수행했으며, X 축은 좌·우(medial·lateral, ML) 방향, Y 축은 전·후(anterior·posterior, AP) 방향, Z 축은 수직(vertical, VT) 방향으로 전역좌표계(global reference)를 설정하였다. 골프 드라이버 스윙 시 신체 부착된 반사마커의 위치 데이터는 8대의 적외선 모션캡쳐 카메라(MX-T10S, Vicon, USA)를 이용하여 수집하였고(sampling rate: 250 Hz), 지면반력 데이터는 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI, USA)를 이용하여 수집하였다(sampling rate: 2,000 Hz).

연구참여자는 골프 드라이버 스윙 시 신체 관절 및 분절의 운동학적 및 지면반력 변인과 드라이버 클럽 헤드 스피드의 원자료 수집을 위해 해부학적 자세로 정적(static) 자세를 촬영하였다. 동적(dynamic) 자세는 연구자의 신호에 맞춰 총 5번의 드라이버 스윙을 실시하였으며, 이 중 연구참여자 및 연구자의 정성적 평가를 통해 베스트(best) 드라이버 스윙과 워스트(worst) 드라이버 스윙을 각각 선정하여 실험 데이터에서 배제하였고, 남은 3개의 드라이버 스윙의 분석 변인을 평균 값으로 산출하여 본 연구의 분석 자료로 사용하였다.

3. 자료처리

본 실험에서 수집한 자료는 Vicon Nexus 2.15.0 (Vicon, Denver, USA)과 Visual 3D (C-Motion, USA)를 사용하여 데이터 처리 및 분석을 실시하였다. 신체에 부착된 반사마커의 위치 데이터는 6 Hz (Kwon, Han, Como, Lee & Singhal, 2013), 지면반력 데이터는 50 Hz로 버터워스 2차 저역통과 필터(butterworth second-order low pass filter)를 사용하여 필터링(filtering)하였다.

골프 드라이버 스윙 시 분석 이벤트는 백 스윙(back swing) 시 클럽 헤드가 최고점에 위치하는 탑 오브 백 스윙(top of Backswing, TB), 다운 스윙의 초기 시점이자, 드라이버 샤프트가 지면과 수직 상태인 얼리 다운 스윙(early downswing, ED), 드라이버 샤프트가 지면과 수평 상태인 미드 다운 스윙(mid downswing, MD), 클럽 헤드와 골프공이 접촉하는 시점인 볼 임팩트(ball impact, BI), 골프 스윙 동작이 끝나는 시점인 피니쉬(finish, FIN) 이벤트로 구분하였으며, 드라이버 클럽의 최대 헤드 스피드 생성에 직접적인 영향을 주는 TB 이벤트부터 BI 이벤트까지의 다운 스윙 구간(down swing phase)을 분석 구간으로 설정하였다(Figure 1) (Hellström, 2009).

본 연구는 남성 골프 선수의 드라이버 스윙 시 신체 관절 및 분절의 각속도 변인 및 지면반력 변인이 클럽 헤드 스피드에 영향을 미치는 주요 요인을 찾고자 하였으며, 이를 위해 다운 스윙 구간의 신체 관절 및 분절의 각속도와 방향 별 지면반력을 산출하였다. 신체 관절의 각속도 변인은 좌·우측의 발목, 무릎, 엉덩 관절과 골반, 몸통, 그리고 좌·우측의 어깨, 팔꿈치 관절의 방향 별 각속도를 분석 변인으로 설정하였으며, 산출된 결과 해석을 위해 각 관절 및 분절의 지역좌표계에 따라 <Table 2>와 같이 정의하였다. 지면반력 변인은 좌·우측 발에서 생성되는 전·후, 좌·우, 수직 방향의 지면반력 크기 및 양 발의 지면반력 합력과 자유회전력(free moment)를 분석 변인으로 설정하였으며, 수집된 지면반력 데이터는 연구참여자 별 체중으로 일반화(normalizaion)하였다(N/BW). 클럽 헤드 스피드는 드라이버 헤드의 크라운에 부착된 반사마커를 통해 선속도를 계산하였다. 본 연구는 골프 드라이버 스윙 시 다운 스윙 구간에서 발생하는 모든 분석 변인의 최대값을 산출하여 분석에 이용하였다.

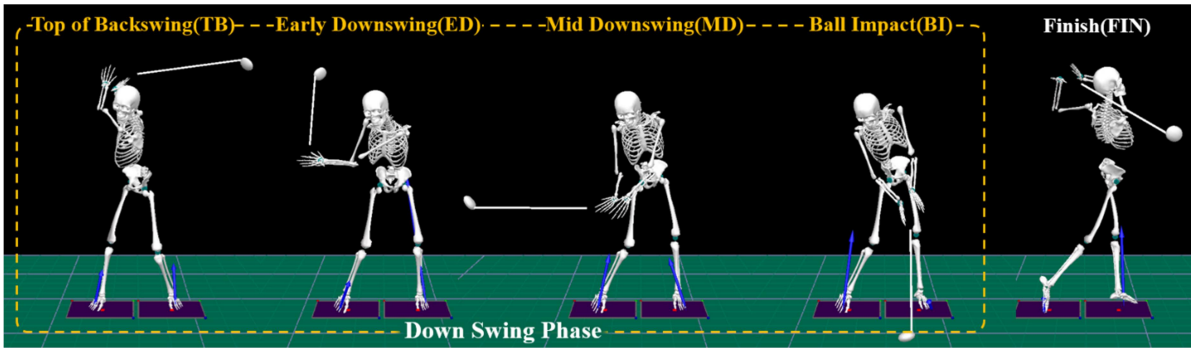

Figure 1. Events and phase of golf driver swing

Table 2. Definition of the local reference of joints and segments

Joints & Segment variables	Local reference		
	Medial-lateral (ML) axis	Anterior-posterior (AP) axis	Superior-inferior (SI) axis
Ankle	+: dorsi flexion −: plantar flexion	+: inversion −: eversion	(Left side) +: ER /−: IR (Right side)+: IR / −: ER
Knee	+: extension −: flexion		
Hip	+: flexion −: extension	(Left side) +: Abd. / −: Add. (Right side)+: Add. / −: Abd.	
Shoulder			
Elbow			
Pelvis	+: posterior tilt −: anterior tilt	+: left tilt −: right tilt	+: CCW −: CW
Thorax	+: extension −: flexion	+: left bending −: right bending	

Abbreviation. Abd. = abduction / Add. = adduction, ER = external rotation / IR = internal rotation, CCW = counter clock wise, CW = clock wise

4. 통계처리

본 연구는 골프 드라이버 스윙 시 신체 관절 및 분절의 각속도와 지면반력이 클럽 헤드 스피드에 미치는 영향을 확인하여, 클럽 헤드 스피드 향상에 주요 요인을 탐색하였다. 이를 위해 성인 남성 골프 선수 27명을 대상으로 골프 드라이버 스윙 동작에서 다운 스윙 시 발생하는 신체 관절 및 분절의 방향 별 최대 각속도와 지면반력 변인의 최대값을 산출하였다. 산출된 결과값은 정규성 검정을 통해 정규 분포임을 확인한 뒤, 단계적 다중 선형 회귀분석(stepwise multiple linear regression analysis)을 통해 검증하였다.

통계분석은 IBM SPSS 27.0 (Armonk, New York, USA) 소프트웨어를 이용하였으며, 유의수준은 .05로 설정하여 통계적 유의성을 검증하였다.

RESULTS

1. 최대 클럽 헤드 스피드와 신체 관절 및 분절의 최대 각속도

본 연구는 연구참여자 별 골프 드라이버 스윙 시 다운 스윙 구간에서 발생하는 최대 클럽 헤드 스피드와 신체 관절 및 분절의 최대 각속도를 산출하였으며, 산출된 결과값은 평균과 표준편차를 계산하였다. 그 결과, 골프 드라이버 스윙 시 최대 클럽 헤드 스피드는 103.8±5.8 mile/h로 나타났다. 골프 드라이버 스윙 시 다운 스윙 구간의 신체 관절의 최대 각속도는 좌·우측으로 구분하여 각각 제시하였고, 골반과 몸통은 단일 분절이기 때문에 구분없이 <Table 3>에 제시하였다.

2. 지면반력 변인

본 연구는 연구참여자 별 골프 드라이버 스윙의 다운 스윙 구간에서 발생하는 지면반력 변인인 방향 별 최대 지변반력 크기와 최대 자유회전력을 산출하였으며, 산출된 결과값은 평균과 표준편차로 계산하였다. 결과는 <Table 4>와 같다.

3. 신체 관절 및 분절의 최대 각속도와 지면반력 변인이 클럽 헤드 스피드에 미치는 영향

본 연구는 골프 드라이버 스윙의 다운 스윙 구간에서 신체 관절 및 분절의 최대 각속도와 지면반력 변인이 클럽 헤드 스피드에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 이를 위해 다운 스윙 구간에서 발생하는 신체 관절 및 분절의 최대 각속도, 방향 별 최대 지면반력 크기 및 최대 자유회전력과 최대 클럽 헤드 스피드의 다중 회귀분석(stepwise multiple regression analysis)을 실시하였다(Figure 2).

그 결과, 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도와 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도가 포함된 회귀모형이 도출되었으며, 통계적으로 유의미하게 나타났다(F = 14.633, p <. 001). 도출된 회귀모형에 포함된 두 변인은 최대 클럽 헤드 스피드에 대해서 약 51.2%의 설명력을 보였고, Durbin-Watson 통계치는 1.494로 본 회귀모형에서 사용된 모든 변인

Table 3. Results of peak angular velocity (Mean ± SD) of body Joints and segments in the down swing phase of the golf driver swing

Unit: deg./s

Variables	Left side			Right side		
	ML axis	AP axis	SI axis	ML axis	AP axis	SI axis
Ankle	-207.3±80.4	-73.0±38.9	-250.5±74.1	-179.2±87.0	-57.7±44.1	-226.7±54.7
Knee	277.3±87.7	122.4±30.2	-214.4±67.8	209.8±92.7	134.8±45.7	-186.6±40.1
Hip	-220.3±76.6	-285.4±58.4	38.6±56.2	-368.9±79.0	-253.5±47.3	113.6±60.1
Shoulder	-325.7±69.7	254.6±47.5	-194.0±100.1	-273.5±93.5	177.5±61.4	321.5±120.8
Elbow	184.9±114.8	222.5±70.5	570.8±374.6	-830.5±130.1	217.7±128.9	772.7±278.8
Pelvis†	133.0±39.8	138.2±55.1	510.2±68.1	–	–	–
Thorax†	88.3±31.8	145.9±51.3	762.1±75.0	–	–	–

Note. †The Pelvis and Thorax are not classified as left and right sides (Single Segment), Abbr. ML = medial-lateral, AP = anterior-posterior, SI = superior-inferior

Table 4. Results of peak Ground Reaction Force (GRF) and peak Free Moment (FM) variables in the down swing phase of the golf driver swing

Variables (unit)		Peak GRF (N/BW)			Peak FM (Nm/BW)
		Lead Foot	Trail Foot	Combined	
Direction	ML	-1.997±.801	2.132±.628	1.207±.780	–
	AP	2.018±.263	-2.989±.507	-1.315±.629	–
	VT	8.488±1.700	10.953±2.107	16.975±3.158	1.396±.229

Note. Abbr. ML = medial-lateral, AP = anterior-posterior, VT = vertical

Table 5. Multiple linear regression analysis on the peak club head speed during the downswing phase of the golf driver swing

Variables	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients beta	*t*	*p*	Collinearity statistics	
	B	Std. error				Tolerance	VIF
Constant	87.897	3.114		28.225	.000		
Left Ankle J. Peak PF AV	-.043	.010	-.602	-4.389**	.000	.999	1.001
Right Shoulder Peak Add. AV	.039	.013	.414	3.020*	.006	.999	1.001
R = .741, R^2 (adj. R^2) = .549 (.512) F = 14.633, p <.001, Durbin-Watson = 1.494							

Note. Abbr. PF = plantar flexion, Add. = adduction, AV = angular velocity, *p < .05, **p < .01

이 상호 독립적임을 확인하였다(Table 5).

본 연구의 결과는 드라이버 스윙의 다운 스윙 시 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도(t = -4.389, β = -.602, p = .000), 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도(t = 3.020, β = .414, p = .006) 순으로 최대 클럽 헤드 스피드에 영향을 주며, 통계적으로 유의미하게 나타났다(p < .01).

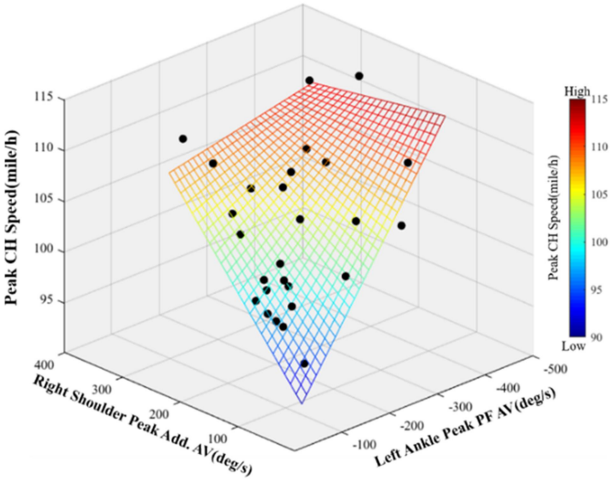

Figure 2. Correlation between left ankle peak plantar flexion (PF) angular velocity (AV), right shoulder peak adduction (Add.) AV and peak club head (CH) speed in the downswing phase of the Golf driver swing

DISCUSSION

골프 드라이버 스윙은 드라이버 클럽을 이용하여 골프공을 타구하는 기술로, 전체 골프 클럽 중에서 가장 긴 비거리를 낼 수 있다. 현대 골프에서 코스 전장이 연장됨에 따라 드라이버 비거리의 중요성은 더욱 강조되며, 높은 드라이버 비거리는 유리한 세컨 샷(second shot) 및 전반적인 경기력 향상을 위해 중요한 요소 중 하나이다(Lim et al., 2021). 이러한 이유로 비거리 향상을 위한 클럽 피팅(fitting), 드라이버 헤드의 반발력 향상 등의 용기구 발달이 수년간 지속적으로 이루어져 왔으나, 공식 경기에서는 골프선수들의 드라이버 헤드 반발계수를 제한함으로써 골프 용기구의 기술적 의존도를 낮추기 위해 규제하고 있다. 최근에 세계 골프규칙을 제정하고 골프 장비성능을 관장하는 영국왕립골프협회(R&A)와 미국골프협회(USGA)는 2028년도부터 골프공의 반발력을 기준 하향하는 규정을 발표하였으며(Driscoll, 2023), 이 때문에 골프 경기에서 선수들의 드라이버 비거리가 감소할 것으로 전망된다. 이처럼 골프 드라이버 비거리 향상은 골프 장비의 성능 규제에 따라 한계가 드러날 것으로 보이며, 이러한 골프 용기구의 성능 규제를 보완하고 드라이버 비거리 유지 및 향상을 위해서는 골프선수의 운동 기술과 신체적 능력이 더욱 중요해질 것으로 생각된다.

골프 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드는 비거리와 정적인 관계성을 가지며, 많은 골프 선수들은 높은 비거리를 위해 클럽 헤드 스피드(club head speed) 향상에 초점을 두고 있다. 이 때문에 여러 선행연구에서는 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드 향상을 위한 운동역학적 주요 요인을 제시하였으나(Han et al., 2019; Hume et al., 2005; Izumoto et al., 2020; Joyce, Burnett, Cochrane & Ball, 2013; Sinclair, Currigan, Fewtrell & Taylor, 2014), 대다수 연구는 일부 신체 관절 및 분절에 국한하여 클럽 헤드 스피드의 관계성을 확인하였다. 골프 드라이버 스윙은 짧은 시간에 여러 신체 관절과 분절이 복합적으로 운동을 수행하기에, 드라이버 스윙과 연관된 모든 신체 관절 및 분절을 분석 변인으로 설정하여 클럽 헤드 스피드에 미치는 영향을 확인하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

이에 따라 본 연구는 KPGA 프로 및 프로 지망생인 성인 남성 27명을 대상으로 골프 드라이버 스윙에서 요구하는 주요 신체 관절인 발목, 무릎, 엉덩, 어깨, 팔꿈치, 손목 관절과 골반, 몸통 분절의 방향 별 최대 각속도, 양 발의 방향 별 최대 지면반력 및 자유회전력을 산출하여 독립 변인으로 설정하였고, 종속 변인은 최대 클럽 헤드 스피드로 설정하여 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다. 이를 통해 골프 드라이버 스윙에서 발생하는 여러 신체 관절 및 분절의 운동역학적(biomechanical) 변인 중 클럽 헤드 스피드와 가장 높은 인과관계를 가지는 결정 요인을 확인하고, 도출된 결과를 근거로 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드 향상을 위한 운동 기술 및 신체 트레이닝 전략 수립의 근거 자료를 제시하고자 하였다.

그 결과, 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도와 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도 변인이 포함된 회귀모형이 도출되었다. 도출된 회귀모형은 약 51.2%의 설명력을 가지며, 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도, 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도 순으로 최대 클럽 헤드 스피드에 영향을 미치고, 정적인 관계를 보이는 것으로 나타났다. 이는 골프 드라이버 스윙의 다운 스윙 구간에서 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도와 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도가 증가할수록 최대 클럽 헤드 스피드가 향상되는 것으로 해석된다.

본 연구는 드라이버 스윙 시 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도가 최대 클럽 헤드 스피드에 통계적으로 영향을 주는 결과를 확인하였다. 골프 숙련자의 드라이버 스윙은 TB 이벤트 이후, TB - ED 구간에 접어들면, 클럽 헤드의 다운 스윙 궤적이 백 스윙 궤적 보다 작아지는 샬로윙(shallowing) 현상이 발생한다. 이런 현상은 골프 숙련자에게 주로 나타나는 골프 스윙 궤적으로 TB 이벤트 이후에 오른쪽 어깨 관절의 내전 움직임, 즉 오른쪽 상완이 몸통으로 근접과 동시에 손과 골프 클럽이 아래 방향의 이동으로 발생되며, 효율적인 지면반력의 사용 및 체중이동과 클럽 헤드 스피드의 향상에 도움을 주는 것으로 알려져 있다(Hao, 2022; Lamb & Glazier, 2017; Hume et al., 2005). 본 연구는 골프 숙련자가 참여하였고, 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도가 TB - ED 구간에서 발생한 점을 미루어볼 때(Figure 3), 골프 드라이버 스윙 시 다

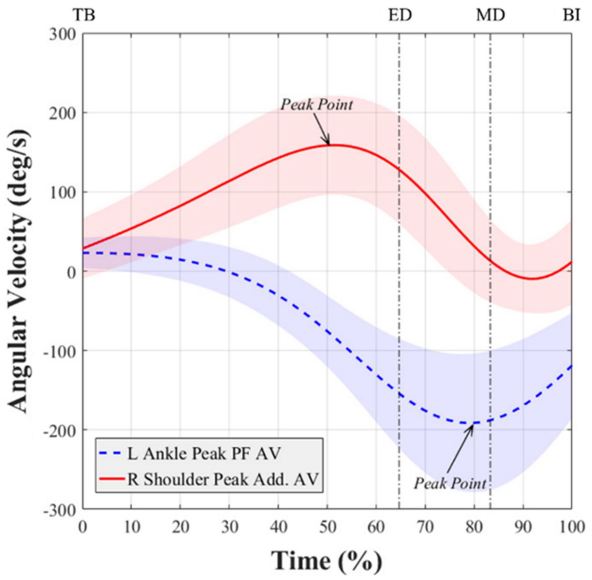

Figure 3. Mean ± SD of left ankle joint peak plantar flexion angular velocity and right shoulder peak adduction angular velocity from TB (0%) to BI (100%).

운 스윙 구간에서 오른쪽 어깨 관절의 내전 각속도 증가는 클럽 헤드 스피드 향상에 영향을 주는 것으로 판단된다.

골프 드라이버 스윙 시 지면반력은 운동학적 사슬(kinematic sequence)에 기인하여 신체 분절과 골프 클럽의 운동량을 높일 수 있는 외력(external force)으로 작용하고, 높은 클럽 헤드 스피드를 생성하는데 기여한다(Han et al., 2019). 특히, 다운 스윙 시 왼쪽 발(lead foot)의 높은 지면반력은 빠른 체중 이동, 최대 클럽 헤드스피드와 관계성을 가지는 것으로 알려져 있다(Hellström, 2009; Hume et al., 2005; McNally, Yontz & Chaudhari, 2014; Woo, 2020). 본 연구는 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도가 ED - MD 구간에서 발생하였고(Figure 3), 최대 클럽 헤드 스피드에 통계적으로 유의한 영향을 주는 결과를 확인하였다. 골프 스윙과 같이 양 발이 지면에 접촉한 상태에서 발목 관절의 저측굴곡 각속도의 증가는 지면을 향해 발목 관절의 신전력(extension force)을 전달할 수 있고, 이에 상응하는 지면반력이 발생한다(Toda, Nagano & Luo, 2015). 본 연구의 결과와 같이 드라이버 스윙 시 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도의 증가는 왼발의 지면반력을 증가시키고, 운동학적 사슬에 의해 클럽 헤드 스피드의 향상에 영향을 주는 것으로 보인다. 또한 다운 스윙 초기에는 몸과 클럽 전체를 최대로 가속해야 클럽 헤드 스피드를 증가시킬 수 있는 필수 조건이 되고, ED와 MD 구간에서는 회전운동량의 생성과 몸과 클럽으로부터 발생되는 회전운동량이 주요 요인으로 지면을 잘 활용하는 것이 클럽 헤드 스피드를 극대화시킬 수 있는 것이 매우 중요하다. 더불어 다운 스윙 시 골반이 아닌 팔의 움직임이 먼저 선행되는 경우 임팩트 시 클럽 헤드의 운동량을 극대화시키지 못해 지연 히팅(late hitting) 동작을 수행할 수가 없는 것으로 보고되고 있어(Cheetham et al., 2000) 레슨 및 코칭 시 면밀히 분석하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

CONCLUSION

본 연구의 목적은 남자 골프선수의 드라이버 스윙 시 신체 주요 관절 및 분절의 최대 각속도와 지면반력 변인이 최대 클럽 헤드 스피드에 미치는 영향을 확인하여, 클럽 헤드 스피드의 향상을 위한 운동역학적 결정 요인을 탐색하는데 있었다. 도출된 연구 결과를 종합하면, 드라이버 스윙 시 왼쪽 발목 관절의 최대 저측굴곡 각속도와 오른쪽 어깨 관절의 최대 내전 각속도 순으로 최대 클럽 헤드 스피드에 영향을 주는 것으로 확인하였다. 그러므로 드라이버 스윙 시 클럽 헤드 스피드의 향상은 탑 오브 백 스윙(Top of Backswing, TB) 이후에 오른쪽 상완을 몸통 쪽으로 빠르게 내전시켜, 최대 내전 각속도를 증가시키는 골프 기술이 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research is funded by the new faculty financial program at Changwon National University in 2023.

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.

Bourgain, M., Rouch, P., Rouillon, O., Thoreux, P. & Sauret, C. (2022). Golf swing biomechanics: A systematic review and methodological recommendations for kinematics. *Sports*, *10*(6), 91.

Cheetham, P. J., Martin, P. E., Mottram, R. E. & St Laurent, B. F. (2000). The importance of stretching the "X-Factor" in the downswing of golf: The "X-Factor Stretch". *Optimising Performance in Golf*, 192-199.

Driscoll, J. (2023, December 6). NEWS. Retrieved 12, 2023, from https://www.usga.org/content/usga/home-page/articles/2023/12/revised-golf-ball-testing-conditions-to-take-effect-in-2028.html

Han, K. H., Como, C., Kim, J., Lee, S., Kim, J., Kim, D. K. & Kwon, Y. (2019). Effects of the golfer-ground interaction on club-

head speed in skilled male golfers. *Sports Biomechanics*, *18*(2), 115-134.

Hao, Y. (2022). Research on the applications of artificial intelligence in golf. Paper presented at the *2022 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Education (IC-ICAIE 2022)*, 1588-1595.

Hellström, J. (2009). Competitive elite golf: A review of the relationships between playing results, technique and physique. *Sports Medicine*, *39*, 723-741.

Hellström, J., Nilsson, J. & Isberg, L. (2014). Driver for dough. PGA tour golfers' tee shot functional accuracy, distance and hole score. *Journal of Sports Science*, *32*(5), 462-469.

Hume, P. A., Keogh, J. & Reid, D. (2005). The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, *35*, 429-449.

Izumoto, Y., Kurihara, T., Sato, T., Maeo, S., Sugiyama, T., Kanehisa, H. & Isaka, T. (2020). Changes in angular momentum during the golf swing and their association with club head speed. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *20*(1), 42-52.

Joyce, C., Burnett, A., Cochrane, J. & Ball, K. (2013). Three-dimensional trunk kinematics in golf: Between-club differences and relationships to clubhead speed. *Sports Biomechanics*, *12*(2), 108-120.

Kim, K. H., Kwon, M. S., Lim, Y. T., Lee, J. W., Lee, S. G. & Park, J. S. (2019). Analysis of kinematic variables according to driver swing sequence in KLPGA. *Journal of Golf Studies*, *13*(2), 17-27.

Kwon, Y. H., Han, K. H., Como, C. S., Lee, S. & Singhal, K. (2013). Validity of the X-factor computation methods and relationship between the X-factor parameters and club-head velocity in skilled golfers. *Sports Biomechanics*, *12*(3), 231-246.

Lamb, P. F. & Glazier, P. S. (2017). The sequence of body segment interactions in the golf swing. *Routledge International Handbook of Golf Science*, 26-34.

Leadbetter, D. & Simmons, R. (2002). *David Leadbetter 100% Golf: Unlocking your true golf potential*. Harper Resource.

Lim, Y. T., Park, J. S., Lee, J. W. & Kwon, M. S. (2021). Analysis of relationship between biomechanical factors and driver's distance during golf driver swing. *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, *38*(1), 1-8.

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 golf swing. *Journal of Golf Studies*, *11*(1), 203-215.

McNally, M. P., Yontz, N. & Chaudhari, A. M. (2014). Lower extremity work is associated with club head velocity during the golf swing in experienced golfers. *International Journal of Sports Medicine*, 785-788.

Okuda, I., Armstrong, C. W., Tsunezumi, H. & Yoshiike, H. (2012). Biomechanical analysis of professional golfer's swing: Hidemichi Tanaka. *Science and Golf IV*, 18-27.

Parker, J., Hellström, J. & Olsson, M. C. (2022). Differences in kinematics and driver performance in elite female and male golfers. *Sports Biomechanics*, *21*(6), 731-747.

Queen, R. M., Butler, R. J., Dai, B. & Barnes, C. L. (2013). Difference in peak weight transfer and timing based on golf handicap. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(9), 2481-2486.

Sinclair, J., Currigan, G., Fewtrell, D. J. & Taylor, P. J. (2014). Biomechanical correlates of club-head velocity during the golf swing. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *14*(1), 54-63.

Toda, H., Nagano, A. & Luo, Z. (2015). Age and gender differences in the control of vertical ground reaction force by the hip, knee and ankle joints. *Journal of Physical Therapy Science*, *27*(6), 1833-1838.

Toski, B. & Love, D. (1998). *How to feel real golf swing*. New York. Three Rivers Press.

Wheare, M. J., Nelson, M. J., Lumsden, R., Buttfield, A. & Crowther, R. G. (2021). Reliability and validity of the polhemus liberty system for upper body segment and joint angular kinematics of elite golfers. *Sensors*, *21*(13), 4330.

Woo, B. H. (2020). Clubhead velocity on GRF magnitude and time during 7-iron swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 30*(1), 27-35.

Zumerchik, J. (2002). *Newton on the tee: A good walk through the science of golf*. Simon & Schuster, Inc.