



골프 드라이버스윙 시 지면반력 반복측정 횟수와 지면반력 특성

Number of Trials for the Reliable Golf Swing Ground Reaction Force Data Collection and Its Characteristics

박영훈* · 염창홍 · 서국웅 · 서국은(부산대학교)

Park, Young-Hoon* · Youm, Chang-Hong · Seo, Kuk-Woong · Seo, Kook-Eun (Pusan National University)

ABSTRACT

Y. H. PARK, C. H. YOUM, K. W. SEO, and K. E. SEO, Number of Trials for the Reliable Golf Swing Ground Reaction Force Data Collection and Its Characteristics. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 17, No. 4, pp. 115-125, 2007. Ground Reaction force(GRF) is important in human movements and GRF measurements are one of the most frequently used tool in biomechanical studies. In the studies of the golf swing motion, people refer to GRF as weight transfer. A successful golf swing motion requires many segments activation sequences which are controlled by the nerve system. Due to the inter- and intra-individual variability of the human movement and the movement strategies, reliability of the measurements are important in human movement studies. Previous golf researches were based on group studies and certain events' values were analyzed. The purposes of this study were to determine the number of trials for the reliable golf swing GRF data collection, to reveal the variability level of the meaningful components of the golf swing GRF, and to classify the types of the golf swing GRF patterns. Twenty three male professional golfers(26.4±6.6 years, 174.3±5.2 cm, 71.3±6.5 kg) signed an informed consent form prior to participation in this study. GRFs of driver swings were collected with Kistler 9285 force platform and 9865A amplifier, and calculated by the KwonGRF program(Visol, Korea). Sampling frequency was 1080 Hz. GRF data were trimmed from 1.5 s prior to the impact to 0.5 s after the impact. The number of trials for the reliable GRF collection was determined when the change in floating mean overs the 25 % of the standard deviation of that variable. Variabilities of the variables were determined by the coefficient of variation(CV) of 10 %. The types of GRF patterns were determined by visual inspection of the peak GRF shapes. The minimum number of trials for the reliable golf swing GRF data collection was five. Ten-trial seems more conservative. The value of the peak GRF was more reliable than the value of the impact GRF. The CV of the peak GRF and impact GRF were 7.4 %, 15.2 %, respectively. Because of the +/- sign of the peak GRF appearance time, it was impossible to calculate CV of the peak GRF appearance time. Golf swing GRF patterns were classified as sing peak type, double peak type, and plateau peak type. This classification suggests the presence of the different golf swing weight transfer strategies.

KEYWORDS : GOLF SWING, GRF, NUMBER OF TRIALS, CV, STRATEGY, SWING STYLE.

I. 서론

지면반력(GRF, ground reaction force)은 인체 움직임에 큰 역할을 하므로 GRF를 이용한 연구는 스포츠 동작(Ball, & Best, 2006; Parker, 2001), 자세제어(Doyle, Hsiao-Wecksler, Ragan, & Rosengren, 2006; Onell, 2000), 보행(Veltink, Liedtke, & van der Kooij, 2005), 신발(Aguinaldo, & Mahar, 2003), 재활의학(Worthen, Kim, Kautz, Lew, Kiratli, & Beaupre, 2005), 무중력 상태 움직임(Schaffner, DeWitt, Bentley, Yarmanova, Kozlovskaya, & Hagan, 2005) 등 여러 분야에서 활발하다. GRF는 골프스윙동작 연구에서도 사용되어지고 있다. 역학적인 측면에서 볼 때 골프와 같은 치기운동에서 좌·우 양발 간 체중이동은 분절의 순차적인 움직임 결과(Okuda, Armstrong, Tsunozumi, & Yoshiiko, 2002)로 해석되어야 하지만 좋은 스윙의 필요조건인 것처럼 해석되고 지고 있다(Barrentine, Fleisig, & Johnson, 1994; Koening, Tamres, & Mann, 1994; Wallace, Grimshaw, & Ashford, 1994).

골프스윙은 연습스윙으로 스윙을 준비한 선수가 정지된 공을 자신의 의도에 따라 치는 동작으로 어떤 상황에서나 일정하게 반복 수행 가능한 기능을 갖는 것이 중요하다(Hardy, & Andrisani, 2005). 그러나 연속으로 스윙을 해도 개인 내 변이(intra-individual variability) 때문에 운동학적으로 동일한 동작을 수행하는 것은 불가능하다. 유기체인 인체의 이 본질적인 변이(variability)는 고전역학을 이용한 운동역학 연구에서 노이즈로 간주되어 처리가 미흡했다(Stergoiu, 2004). 개인 내 변이와 더불어 개인 간 변이(inter-individual variability) 또한 존재한다. 개인 간 변이는 개인의 신체적 특징, 훈련방법, 과거의 경험 등에 의한 다른 동작전략(strategy)의 존재 가능성으로 해석되고 있다(Bates, 1996; James, & Bates, 1997; James, Herman, Dufek, & Bates, 2007).

과학적인 자료 제시를 반드시 필요로 하지 않는 골프지도자들은 골프스윙에서 체중이동이 중요하며 스윙은 한 가지라는 전제로 한 가지 체중이동 모델을 제시하고 있다(Leadbetter, & Cannon, 2002; McLean, 2005;

Madonna, 2001; Mann, & Griffin, 1998). 즉, 백스윙 시 체중을 목표에서 먼 발(오른발, 뒤발) 방향으로 이동시켰다가 다운스윙 시 목표에 가까운 발(왼발, 앞발) 방향으로 신속히 이동시켜 임팩트 직전 혹은 직후에 체중을 왼 발에 최대로 이동시켜야 한다는 것이다.

그러나 골프스윙 시 체중이동에 관한 이러한 일반적인 내용은 과학적인 연구결과와 상이한 경우가 많다. Robinson(1994), Mason, McGann, & Herbert(1995)는 임팩트 순간 클럽헤드 속도와 체중위치는 관련이 없으며, Richard, Farrell, Kent, & Kraft(1985)는 임팩트 순간 압력중심점 위치는 골프숙련자와 미숙련자 간 차이가 없다고 밝혔다. 근래에는 모든 사람에게 공통으로 적용할 수 있는 한 가지 스윙모델은 없으며 유연성, 체력, 연습가능시간 등에 따라 몇 가지 골프 동작모델을 제시한 골프지도서도 나오고 있다(Hardy, & Andrisani, 2005; Suttie, 2006; Utley, & Rudy, 2007; Utley, & Rudy, 2006).

스포츠 동작연구에서 피험자를 기술 숙련도에 따라 그룹으로 나누고 각 그룹 평균을 비교하여 차이를 분석하는 경우가 많다. 반복측정(repetition of measurement)은 실험연구(empirical research)에서 기초 중 하나지만(Kanis, 1996) 인체 동작연구에서는 과도한 분석시간 소요, 경제적 여건, 제한된 실험시간, 피험자 모집 등 이유로 각 피험자 당 한 번의 동작을 분석 대상으로 하는 경우가 많다. 동일한 동작의 반복수행에서 변이는 연구대상 변인이 안정한 값을 나타낼 때 까지 반복실험 후 평균값 분석으로 통제가 가능하다(Bates, Osternig, Sawhill, & James, 1983; Hamil, & McNiven, 1990; James, Herman, Dufek, & Bates, 2007; Radano, & Squadrone, 2002). 동일한 목적을 위한 동작에서 개인 간 서로 다른 동작전략이 존재할 때 이를 무시하고 그룹의 평균을 사용하여 비교·분석하는 것은 동작차이점은 상쇄되고 공통점이 상대적으로 더 현저하게 되어 통계력을 저하시키고 동작 주요특징이 가려져 잘못된 결론을 내릴 오류 가능성이 대단히 높다(Ball, Best, & Wrigley, 2003; Bates, 1996; Dufek, Bates, Stergoiu, & James, 1995; Schollhorn, Nigg, Stefanyshyn, & Liu, 2002).

골프스윙 시 동작특징과 GRF 특징은 일치하지 않지

만 대부분 연구는 시각적으로 관찰이 용이한 어드레스, 백스윙 완료, 임팩트 등 특정 순간의 GRF, 체중분포를 분석하여 골프스윙 시 체중이동 패턴의 다른 주요특징을 도출하지 못하였을 수도 있다. 개인 차 혹은 동작전략 차이를 고려한 골프 스윙동작 연구는 간간히 수행되어 왔으나(Nagano, & Sawada, 1977; Neal, 1998) 골프스윙 체중이동 전략차이 연구는 활발하지 않다(Ball, & Best, 2006).

따라서 각 개인의 반복된 스윙동작에서 연구대상 GRF 변인의 변이수준과 동작 특징을 대변할 수 있는 GRF 성분을 도출할 필요가 있으며 골프스윙 시 개인의 독특한 체중이동 패턴, 스윙타입 존재 여부를 확인할 필요가 있다. 이 연구는 드라이버스윙 중 안정된 왼발 GRF 획득을 위해 필요한 반복실험 횟수를 산출하고, GRF 성분 중 변이가 낮으며 개인의 스윙특징을 나타내는 성분을 도출하여, 드라이버스윙 중 왼발 GRF 패턴타입을 구분하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구방법

이 연구는 연구취지를 이해하고 실험참여에 동의한 남자프로골퍼 23명(26.4±6.6 year, 174.3±5.2 cm, 71.3±6.5 kg)을 대상으로 하였다. 연구실험은 실험목적과 피험자 일정에 따라 3차례 수행되었으며 모든 실험장비는 설치된 상태를 유지하였다. 1차 실험은 골프스윙 시 GRF 주요성분이 안정되는데 필요한 반복실험 횟수를 산정하기 위하여 9명을 대상으로 드라이버스윙을 10회(Ball, & Best, 2006; Bates, Ostering, & Sawhill, 1983) 수행하였다. 1차 실험 분석결과에 따라 2, 3차 실험에서는 14명을 대상으로 드라이버스윙을 5회 수행하였다.

실내 체육관에 드라이버스윙을 안전하고 완전하게 수행 할 수 있는 공간을 확보한 다음 이 공간에 GRF 힘판(Kistler 9285, Switzerland)과 안전망을 설치하고 실험을 실시하였다. 전자적 드리프트(drift)를 최소화하기 위하여 GRF 측정 전에 힘판과 앰프(Kistler 9865A, Switzerland)에 전원을 1 시간 이상 연속으로 공급하여 힘판과 앰프를 예열하였으며(Lafond, Duarte, & Prince,

2004) 신발과 힘판 사이 미끄럼을 억제하기 위하여 힘판 표면에 미끄럼 방지용 테이프(폭 5 cm, 3M)를 부착하였다. 실험 전 충분한 연습시간을 가진 선수들이 목표에 가까운 발(왼발)을 힘판 위에 두고 안전망을 향하여 가능한 실제와 유사하게 드라이버스윙을 하게 하였다. 각 스윙 사이에는 GRF 데이터 저장, 안전망 확인, 다음 스윙준비 등으로 약 1분간의 충분한 시간이 주어졌다. 실험 시 미국골프협회 공인 드라이브(HawkEye Pro 10°, Callyway, US)를 사용하였으며 각 피험자에게 맞는 동일한 제품의 일반운동화를 착용시켰다. GRF 데이터는 샘플링 주파수 1080 Hz, 앰프 range x/y 5,000 pC, z 10,000 pC, 12 비트 A/D 카드(DT3002, DataTranslation, US)를 이용하여 20 s 동안 수집하였으며 KwonGRF 2.0 상용 프로그램(비술, 경기도 광명시)을 이용하여 GRF를 산출하였다. 마이크를 사용하여 임팩트 순간 발생하는 클럽페이스와 공의 타격 음을 동기신호발생기(VSAD-101-USD-V2, 비술)에 입력하고 이 입력신호에 따라 동기신호발생기에서 발생하는 신호를 이벤트 신호로 인식하는 GRF 프로그램의 기능을 이용하여 임팩트 순간을 포착하였다.

분석은 임팩트 전 1.5 s 부터 임팩트 후 0.5 s 까지 2.0s 동안 왼발 GRF 수직성분(Fz)을 대상으로 하였으며 1회 스윙 GRF 데이터 세트는 2,160(=1,080 Hz x 2 s)개 데이터로 구성되어있다. 각 스윙 별 GRF 데이터 세트에서 임팩트 전 첫 번째 최소 Fz(GRF_{mini}), 임팩트 전 최소 Fz 발생시점(t_{mini}), 피크 Fz(GRF_{peak}), 피크 Fz 발생시점(t_{peak}), 임팩트 순간 Fz(GRF_{impact}), 두 번째 최소 Fz(GRF_{min2}), 두 번째 최소 Fz 발생시점(t_{min2}), 임팩트 전 0.1 s 동안 GRF 변이(CV_{-0.1s}), 임팩트 후 0.1 s 동안 GRF 변이(CV_{+0.1s}), GRF 부하율(R_{load}), GRF 감소율(R_{unload}) 등을 산출 후 피험자 별 각 변인의 평균, 표준편차, CV(coefficient of variation)를 산출하였다. 피험자 간 비교를 위하여 모든 Fz 값은 피험자의 체중으로 나눈 BW(body weight)를 사용하였다.

골프스윙 중 안정된 GRF 데이터 획득에 필요한 반복실험 횟수는 각 변인의 인접 유동평균 변화(change in floating mean) 차이가 표준편차의 25 % 보다 처음으로 작아질 때(1st threshold cross) 횟수로 산정하였으며(Bates, Ostering, Sawhill, & James, 1983; James,

Herman, Dufek, & Bates, 2007), 두 번째 혹은 마지막으로 작아지는 경우(2nd or last threshold cross)는 참고로 산출하였다(Ball, & Best, 2006). 발생시간 혹은 시간 분석에서 “-” 부호는 임팩트 이전, “+” 부호는 임팩트 이후를 의미한다.

드라이브스윙 중 GRF 패턴은 각 피험자 별 5~10회 데이터를 임팩트 순간을 기준으로 단순 평균하여 피험자 별 GRF 패턴을 산출 후 GRF_{peak} 형태에 따라 드라이브스윙을 3 가지로 구분하였다.

필요 시 SPSS 12.0 통계프로그램의 paired t-test을 이용하여 비교하였으며 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다. 선행연구(Atkinson, & Nevill, 1998; Stokes, 1985)에 따라 CV가 10 % 미만일 경우 데이터가 안정된 것으로 하였다. CV가 계산된 <표 2, 4, 5, 6>에서 평균, 표준편차, CV는 각 피험자의 평균, 표준편차, CV의 평균을 의미한다.

III. 결과 및 논의

1. 스윙 반복횟수

남자 프로골퍼 아홉 명의 드라이브스윙 10회 중 분석대상 GRF 변인이 안정화하는데 필요한 반복스윙 횟수 산출결과는 <표 1>과 같다.

<표 1>은 각 변인의 인접 유동평균 변화 차이가 표준편차의 25 % 보다 처음으로 작아질 때(1st cross) 횟수로 계산한 결과이다. 드라이브스윙 시 안정된 GRF_{peak} 산출을 위해서는 평균 4.0±0.87 회 스윙이 필요하며 최대 5 회 스윙이 필요한 경우도 있음을 의미한다. 안정된 GRF_{impact} 산출을 위해서는 3.6±0.88 회, CV_{-0.1s}, CV_{+0.1s} 각각 3.4±0.73 회, 3.8±0.97 회, GRF_{min1}, t_{min1} 4.0±0.71 회, GRF_{min2} 4.0±0.71 회, R_{load}, R_{unload} 각각 4.0±0.71 회, 3.9±0.84 회 스윙이 필요하다. 그러나 GRF_{peak} 발생시간(t_{peak}), GRF_{min2} 발생시간(t_{min2})은 동일한 피험자에서도 임팩트 전에 발생하는 경우와 임팩트 후에 발생하는 경우가 있어 유동평균 차이범으로는 필요 스윙 횟수를 산출할 수 없는 것으로 나타났다. 이는

역으로 만약 임팩트 순간을 기준으로 스윙특징을 연구한다면 GRF_{peak} 발생시간(t_{peak}), GRF_{min2} 발생시간(t_{min2}) 이 스윙특징을 구분하는 적절한 변인이 될 수 있음을 의미한다. 즉, 연구대상 변인의 특징을 고려하지 않고 골프수준, 성별 등에 따라 집단을 구분한 일반적인 집단연구(group study)에서는 +/- 값이 상쇄되어 의미 없는 평균시간이 산출되지만 한 피험자의 반복된 동작 특징을 연구(single subject study) 후 이 결과를 이용하여 집단을 구분한 집단연구에서는 이 두 변인이 그룹 구분의 기준이 될 수 있기 때문이다. t_{peak}에 관해서는 다음 항에서 언급한다.

<표 1>은 모든 연구대상 변인의 인접 유동평균 변화 차이가 표준편차의 25 % 보다 작아진 후 다시 커져서 두 번째 작아질 때(2nd cross)가 발생함을 보여주고 있다. 예를 들어 GRF_{peak}는 전체 아홉 명 중 세 명에게서 2nd cross가 발생하였으며 이 세 명의 2nd cross 평균은 7.7±0.58 회, 최대 8 회에서 발생하였음을 의미한다. 보수적인 연구에서는 2nd cross 혹은 last cross를 적용하여 반복실험 횟수를 정하기도 하지만

표 1. 지면반력 성분 별 반복스윙 횟수 (unit: trial)

variable	1st cross		2nd cross			
	m±sd	max	frq	m±sd	max	
GRF _{peak}	value	4.0±0.87	5	3	7.7±0.58	8
	t _{peak} #	-	-	-	-	-
GRF _{impact}	3.6±0.88	5	6	6.7±1.51	8	
GRF _{cv}	CV _{-0.1s}	3.4±0.73	5	4	7.8±1.71	10
	CV _{+0.1s}	3.8±0.97	5	4	7.2±1.30	8
GRF _{min1}	value	4.0±0.71	5	3	9.0±2.00	9
	t _{min1}	4.0±0.71	5	2	7.0±1.41	8
GRF _{min2}	value	4.0±0.71	5	2	7.0±0.00	7
	t _{min2} #	-	-	-	-	-
GRF _{rate}	R _{load}	4.0±0.71	5	4	7.5±1.73	9
	R _{unload}	3.9±0.84	5	3	6.0±0.00	6

1st, 2nd cross: 1st, 2nd threshold cross, frq: frequency
: due to the +/- sign of the appearance time relative to the impact, it was impossible to calculate threshold cross

(Ball, 2006) 이 연구에서는 1st cross를 적용하여 추가 14 명을 대상으로 드라이버스윙 5회를 분석 하였다.

2. GRF 수직성분(Fz) 변인

1) GRF 크기

드라이버스윙 중 GRF 주요 성분 크기는 <표 2>와 같다.

<표 2>는 각 피험자 별 평균의 평균으로 GRF_{min1} , GRF_{peak} , GRF_{impact} , GRF_{min2} 는 각각 0.27 ± 0.02 BW, 0.89 ± 0.07 BW, 0.59 ± 0.08 BW, 0.36 ± 0.06 BW, 각 변인의 CV는 GRF_{min1} 6.7 %, GRF_{peak} 7.4 %, GRF_{impact} 15.2 %, GRF_{min2} 18.2 %로 나타났다. 백스윙 중 체중이 오른발 방향으로 최대로 이동되었을 때 왼발 GRF를 나타내는 GRF_{min1} 와 임팩트를 위하여 다시 왼발 방향으로 최대로 이동되었을 때 왼발 GRF를 나타내는 GRF_{peak} 의 CV가 각각 6.7 %, 7.4 %로 드라이버스윙 중 안정성 높은 GRF 변인인 반면 임팩트 순간 GRF_{impact} 와 두 번째 GRF 최저값을 나타내는 GRF_{min2} 의 CV는 15.0 % 이상인 것으로 나타났다. 드라이버스윙 중 대표적인 지면반력 분석변인 중 하나인 GRF_{impact} 의 CV가 15.2 %에 이른다는 것과 드라이버스윙이라는 큰 동작 중 GRF_{peak} 의 CV가 7.4%에 불과하다는 두 가지 모두 의미 있는 사실이다. 드라이버스윙 중 왼발 GRF_{peak} 를 밝힌 연구는 의외로 적다.

프로골퍼 23명을 대상으로 한 이 연구의 GRF_{impact} 0.59 BW는 Barrentine, Fleisig, & Johnson(1994)의 프로골퍼~핸디캡 16 까지 60명을 대상으로 한 연구의 1.12 BW, Richard, Farrell, Kent, & Kraft(1985)의 핸디캡 10 이하 10명을 대상으로 한 연구의 96 %, Wallace, Graham, & Breakley(1990)의 82 %, Williams, & Cavanagh(1983)의 100 % 와 차이가 있는 것으로 나타났다. 이 차이가 드라이버스윙 시 체중이동 전략 차이

표 2. 드라이버스윙 중 GRF 수직성분 주요 변인 크기 (n=23)

variable	m(BW)	sd(BW)	CV(%)
GRF_{min1}	0.27	0.02	6.7
GRF_{peak}	0.89	0.07	7.4
GRF_{impact}	0.59	0.08	15.2
GRF_{min2}	0.36	0.06	18.2

가 있음에도 불구하고 그룹연구에 의한 단순 평균 문제 때문인지 명확하지 않다. 그러나 GRF_{impact} 의 CV가 10%를 초과하는 점을 고려할 때 GRF_{impact} 는 드라이버스윙 타입을 구분할 수 있는 변인으로는 부적절한 것으로 보인다. 또, 이 연구대상이 모두 프로골퍼라는 점에서 어떤 체중이동 방법 혹은 체중이동 수준이 더 좋다고 판정할 수 없으며 단지 다른 점이 있다는 것을 밝히는 것에 가치를 두어야 할 것이다. Rae, Fairweather, & Sanders(2001)는 체중이동 그 자체가 중요한 것이 아니라 스윙동작을 최적으로 하기 위하여 필요한 것이고 밝혔다.

2) 피크 GRF 발생시간

각 피험자별 GRF_{peak} 발생시간(t_{peak})의 임팩트 전·후 빈도는 <표 3>과 같다.

<표 3>을 엄격히 적용할 경우 GRF_{peak} 발생시간이 임팩트 전 13명(56.5%), 임팩트 후 3명(13.0%), 임팩트

표 3. 임팩트를 기준으로 했을 때 각 피험자의 반복스윙 중 GRF_{peak} 발생시간(t_{peak}) 빈도 (unit: trial)

subject	prior to impact	after impact	total trial	
E1 (n=9)	s1	2	8	10
	s2	4	6	10
	s3	10	-	10
	s4	2	8	10
	s5	-	10	10
	s6	9	1	10
	s7	10	-	10
	s8	10	-	10
	s9	10	-	10
E2 (n=7)	s10	5	-	5
	s11	5	-	5
	s12	5	-	5
	s13	-	5	5
	s14	5	-	5
	s15	5	-	5
	s16	3	2	5
E3 (n=7)	s17	5	-	5
	s18	-	5	5
	s19	5	-	5
	s20	1	4	5
	s21	5	-	5
	s22	4	1	5
	s23	5	-	5

표 4. 임팩트를 기준으로 했을 때 GRF_{peak} 발생시간(t_{peak})의 평균

variable	mean	sd	CV(%)
prior to impact (n=13)	-0.069	0.015	21.5
after impact (n=3)	+0.069	0.038	55.2
around impact (n=7)	+0.009	0.031	326.7
total (n=23)	-0.027	0.062	229.1

전·후에 걸쳐 있는 경우 7명(30.4%)인 것으로 나타났다. GRF_{peak} 발생시간을 임팩트 전·후로 구분하거나 비교를 위하여 단순 평균한 결과는 <표 4>와 같다.

GRF_{peak} 발생시간 평균은 임팩트 전(n=13) -0.069±0.015 s, 임팩트 후(n=3) 0.069±0.038 s, 임팩트 전·후(n=7) - 0.009±0.031 s, 전체(n=23) - 0.027±0.062 s로 나타났으며 CV는 임팩트 전 21.5 %, 임팩트 후 55.2 %로 변이가 큰 것으로 나타났다. GRF_{peak}가 임팩트 전·후에 걸쳐 발생한 경우 발생시간을 단순 평균할 경우 CV 값이 300.0%가 넘는 의미 없는 시간이 산출되었다.

골프에서 임팩트는 공의 비행형태와 거리를 결정하는 순간(moment of truth)이므로 중요하며 음향센서를 이용할 경우 임팩트 순간을 손쉽게 식별 가능하여 골프 연구에서 빈번히 사용되고 있다. 그러나 연구변인이 임팩트와 같은 어떤 기준점 전·후에서 발생할 경우 +/- 값들이 서로 상쇄되어 평균의 의미가 달라지며 잘못된 결론을 낳을 수 있다.

Barrentine, Fleisig, & Johnson(1994)은 프로골퍼~헌디캡 16까지 60명을 대상으로 한 연구에서 왼발 GRF_{peak}가 임팩트 0.02±0.10 s 후에 발생한다고 밝혔다. 이는 왼발 GRF_{peak}가 임팩트 전에 발생한다는 다른 연구결과(Koenig, Tamres, & Mann, 1994)와 상이하며 <표 4> 결과에서 유추할 때 그룹의 단순평균이 가져온 오류로 보여 진다.

따라서 GRF_{peak} 발생시간은 스윙타입을 구분할 수 있는 변인으로 바람직하지 않을 뿐 아니라 그룹을 단순히 평균하여 GRF_{peak} 발생시간을 산출하는 것은 더 큰 오류를 낳을 수 있으므로 구분하여 GRF_{peak} 발생시간을 해석하는 노력이 필요하다.

3) GRF 부하율과 감소율

GRF 부하율과 감소율은 <표 5>와 같다.

표 5. 지면반력 부하율과 감소율 (unit: BW/s)

variable	m	sd	CV(%)
R _{load}	3.7	0.6	18.7
R _{unload}	-5.4	1.4	24.6
t-value	-3.052**		-1.583

*: p<.05, **: p<.01

<표 5>는 체중이동 크기와 소요시간 관계를 부하율(R_{load}), 감소율(R_{unload})로 정의하고 다음 식으로 산출한 결과다. R_{unload}의 "-" 부호는 기울기의 방향이므로 절대값으로 변환 후 R_{load}와 비교하였다.

다운스윙 구간에서 체중을 왼발방향으로 이동하는 율을 나타내는 R_{load}가 GRF_{peak} 후 체중이 다시 오른 발 방향으로 이동되는 율인 R_{unload} 보다 작은 것으로 나타났다(p<.01), CV는 R_{load}, R_{unload} 모두 18.0 % 이상으로 스윙타입을 구분하는 요소로 사용하기에는 변이가 큰 것으로 나타났다.

$$R_{load} = \frac{GRF_{peak} - GRF_{min1}}{t_{peak} - t_{min1}}$$

$$R_{unload} = \frac{GRF_{min2} - GRF_{peak}}{t_{min2} - t_{peak}}$$

임팩트 구간에서 체중이동은 체중이동 크기 뿐 아니라 이동 소요시간 또한 중요하며 일반적으로 임팩트 전 왼발방향으로 체중이동 속도는 골프속력자가 미숙력자보다 빠르다(Koenig, Tamres, & Mann, 1993; Wallace, Graham, & Breakley, 1990). 체중이동 계산 구간을 백스윙 완료 시점으로 했을 때 부하율은 프로 선수 3.9 BW/s, 아마추어 3.0 BW/s 로 나타났다(Robinson, 1994).

3. GRF 수직성분(Ez) 패턴

1) GRF 패턴구분

남자프로골퍼 23명의 드라이브스윙 중 왼발 GRF 수직성분을 시각적으로 관찰한 결과 임팩트 구간에서 GRF_{peak} 형태를 기준으로 할 때 GRF 패턴은 <그림 1>과 같이 3가지로 구분되었다.

<그림 1>은 실험에 참여한 피험자 가운데 구분이

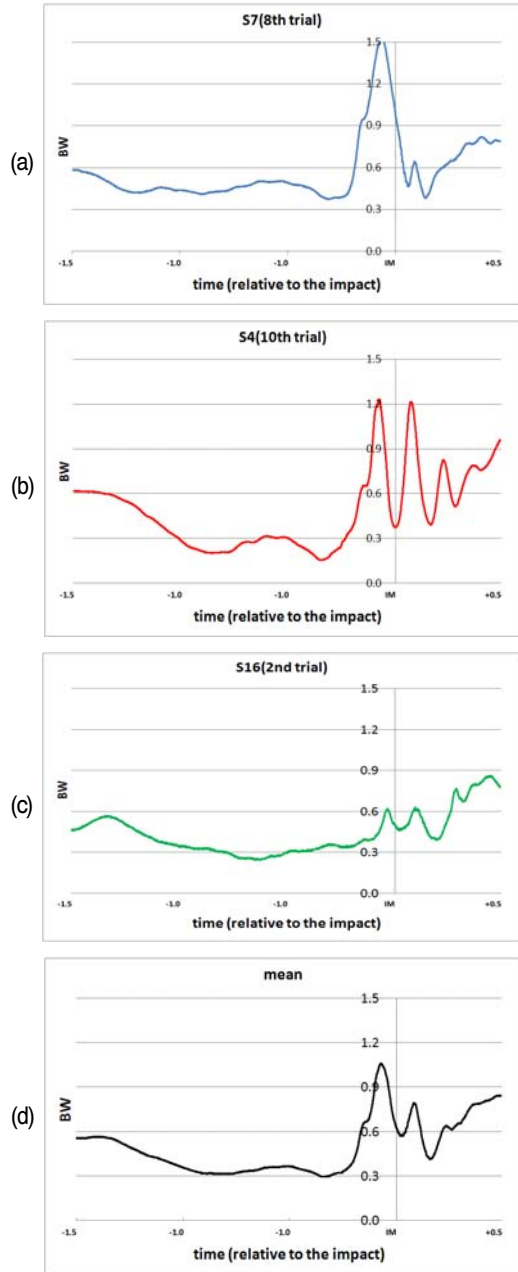


그림 1. 드라이버스윙 중 왼발 GRF 수직성분 변화 패턴 세 가지 예. (a)는 일반적으로 알려진 것과 같이 다운스윙에서 체중이 왼발 방향으로 신속히 이동되어 임팩트 직전에 피크(1.5 BW 이상)를 나타내고 임팩트 순간에는 감소하는 싱글 피크 타입. (b)는 다운스윙에서 신속히 체중을 왼발방향으로 이동했다가 임팩트 순간에는 감소 후 다시 증가하는 더블 피크 타입. (c)는 다운스윙에서 체중이동이 현저하지 않거나 체중이 왼발에 유지되는 고원(plateau) 타입. (d)는 임팩트 순간을 기준으로 위 가지타입을 단순 평균한 것으로 세 가지 지면반력 특성을 나타내지 못하고 있다.

뚜렷한 전형적인 세 피험자의 예이다. (a)는 일반적으로 알려진 것과 같이 임팩트 전에 GRF_{peak} 가 크게 한번 발생하는 싱글피크타입으로 11명(47.8 %)에서 관찰되었다. (b)는 GRF_{peak} 가 두 번 나타나는 더블피크타입으로 4명(17.4 %)에서 관찰되었다. 공을 치는 *lifting* 동작 때문에 발생하는 국부적인 최소(local minimum) 현상은 모든 피험자들에게서 관찰되었지만 이 현상이 뚜렷한 경우에 해당된다. (c)는 체중이 왼발로 원활하게 전달되지 않거나 왼발에 유지되는 고원(plateau) 타입으로 8명(34.8 %)에게서 관찰되었다. (d)는 (a), (b), (c) 세 타입을 단순 평균한 것으로 어느 타입도 정확하게 반영하지 못하는 집단연구의 단점을 보여주고 있다.

골프스윙 연구에서 프로.아마추어 혹은 핸디캡을 기준으로 집단을 구분하는 것은 이 기준이 스윙의 질을 의미하는 것이 아니며(Ball, & Best, 2006; Wallace, Grimshaw, & Ashford, 1994), 골프 점수가 풀스윙(full swing) 능력에만 의존하는 것이 아니므로 프로선수 혹은 핸디캡이 낮은 선수를 대상으로 할 경우 어느 것이 옳고 틀린 것을 판정할 수 없다. 따라서 이런 경우 동일한 목적을 위한 스윙동작이지만 개인에 따라 다른 체중이동 전략이 있다고 해야 할 것이다.

<그림 1>에서 관찰된 프로선수 간 현저히 다른 체중이동 패턴은 개인의 신체조건과 밀접한 관계가 있을 것으로 유추된다. Hardy, & Andricani(2005)는 유연성과 체력에 따라 스윙동작을 두 가지 타입으로 구분하였으나 Suttie(2006)는 체격조건에 따라 상체주도형(upper body), 하체주도형(lower body), 손주도형(hands), 전통형(classic), 네 가지로 구분하였다.

2) 임팩트 전·후 GRF 패턴 변이

임팩트 전·후 각 0.1 s 동안 GRF 수직성분(F_z)변이는 <표 6>과 같다.

<표 6>은 각 피험자 별 5~10 회 GRF를 데이터를 임팩트 전 0.1 s, 임팩트 후 0.1 s 동안 각 순간(1/1,080

표 6. 임팩트 전·후 0.1 s 동안 지면반력 변이 (unit: %)

	$CV_{0.1s}$	$CV_{4.0.1s}$	<i>t</i> -value
m_{CVi}	9.5	17.3	-4.974***

m: mean of the GRF CVs, *** : $p < .001$

s)에서 평균(m_i), 표준편차(sd_i), CV_i 를 산출한 다음, 0.1 s 동안 CV_i 의 평균($m_{CV0.1s}$)을 산출한 결과이다. 0.1 s 동안 GRF 데이터 1세트는 108개(=1080 Hz x 0.1 s) 데이터로 이루어져 있으므로 각 피험자의 $CV_{0.1s}$ 는 이 108개 CV_i 의 평균을 의미한다.

$$m_i = \frac{\sum_{n=1}^{n=10} GRF_n}{10}, \quad CV_i = \frac{sd_i}{m_i} \times 100$$

$$m_{CV0.1s} = \frac{\sum_{i=1}^{i=108} CV_i}{108}$$

드라이브스윙 중 GRF 변화패턴은 <그림 1>과 같이 피험자 별로 상이하지만 각 피험자의 임팩트 직전 0.1 s 동안 GRF의 CV는 9.5%로 여러 인체분절이 동원되는 점을 고려할 때 프로선수들의 임팩트 직전 체중이동 일관성은 상당히 높은 것으로 해석할 수 있다. 반면 임팩트 직후 0.1 s 동안 체중이동 일관성은 현저히 떨어지는 것으로 나타났다.

골프스윙 중 GRF는 어드레스, 백스윙 완료, 임팩트 등 의미 있고 식별이 용이한 순간(event)을 기준으로 비교분석하는 경우가 많다. 그러나 동작의 일관성 혹은 변이수준은 순간보다 구간(phase)동안 변화패턴을 분석하는 것이 더 적절한 경우가 많다. 구간 소요시간이 다른 개인 간 비교를 위해서는 시간표준화(time normalization) 과정이 필요하지만 개인의 동작 일관성은 시간표준화 과정을 거치지 않고 어떤 순간을 기준으로 반복된 동작의 변이를 분석하는 것이 적절한 것으로 보인다.

IV. 결론 및 제언

골프 드라이브스윙 중 왼발 GRF 분석에 필요한 반복실험 횟수, 변이가 낮은 GRF 성분도출 및 지면반력 타입 구분을 위하여 남자프로골퍼 23명을 대상으로 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 드라이브스윙 중 안정된 GRF 획득을 위한 최소 반복실험횟수(1st threshold cross)는 5회로 나타났다. 그러나 모든 변인에서 준거점을 2번째 넘는 경우(2nd threshold cross)가 발생하므로 보수적인 연구에서는 10회 반복 스윙이 적절한 것으로 보인다.

2. CV 10 %를 기준으로 판정할 때 GRF_{\min} , GRF_{peak} 는 안정성이 높은 반면 GRF_{impact} 는 안정성이 낮은 변인으로 나타났다.

3. GRF_{peak} 형태를 기준으로 드라이브스윙 중 GRF 변화패턴을 구분할 때 싱글피크 타입, 더블피크 타입, 고원(plateau)피크 타입으로 구분되었다.

유사한 기술수준의 피험자라 하더라도 피험자 간 다른 동작전략이 존재할 경우 그룹평균을 이용한 연구결과는 잘못된 결론을 유도할 가능성이 높다. 따라서 예비실험이나 사전 연구를 통하여 다른 동작전략 수행여부를 확인할 필요가 있다. 만약 동작전략 차이가 존재한다면 전략차이를 구분할 수 있는 요소를 도출 후 이 요소에 따라 그룹을 분리하여 분석하여야 올바른 결론을 도출할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- Aguinaldo, A., & Mahar, A. (2003). Impact loading in running shoes with cushioning column systems. *Journal of Applied Biomechanics*, 19, 1-8.
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Ball, K. (2006). *Weight transfer styles in the golf swing: individual and group analysis*. Victoria University. Unpublished Doctoral Thesis.
- Ball, K. A., & Best, R. J. (2006). Different centre of pressure patterns within the golf stroke I: Cluster analysis. *Journal of Sports Sciences*, PreView.

- Ball, K. A., Best, R. J., & Wrigley, T. (2003). Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooting: inter and intra-individual analysis. *Journal of Sports Sciences*, 21, 559-566.
- Barrentine, S. W., Fleisig, G. S., & Johnson, H. (1994). Ground reaction forces and torques of professional and amateur golfers. In A. J. Cochran, & M. R. Farrally(Ed) *Science and Golf II*, Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. 33-39. Padstow, Cornwall, GB: E & FN Spon.
- Bates, B. T., Ostering, L. R., Sawhill, J. A., & James, S. L. (1983). An assessment of subject variability, subject-shoe interaction, and the evaluation of running shoes using ground reaction force data. *Journal of Biomechanics*, 16, 1181-191.
- Bates, B. T. (1996). Single-subject methodology: an alternative approach. *Medicine and Science in Sports and Science*, 28, 631-638.
- Doyle, R. J., Hsiao-Weckler, E. T., Ragan, B. G., & Rosengren, K. S. (2007). Generalizability of center of pressure measures of quiet standing. *Gait and Posture*, 25, 166-171.
- Dufek, J. S., Bates, B. T., Stergiou, N., & James, C. R. (1995). Interactive effects between group and single-subject response patterns. *Human Movement Science*, 14, 301-323.
- Hamill, J., & McNiven, L. (1990). Reliability of selected ground reaction force parameters during walking. *Human Movement Science*, 9, 117-131.
- Hardy, J., & Andrisani, J. (2005). *The plane truth for golfers*. Yew York, NY: McGraw-Hill.
- James, C. R., & Bates, B. T. (1997). Experimental and statistical design issues in human movement research. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 1(1), 55-69.
- James, C. R., Herman, J. A., Dufek, J. S., & Bates, B. T. (2007). Number of trials necessary to achieve performance stability of selected ground reaction force variables during landing. *Journal of Sports and Medicine*, 6, 126-134.
- Kanis, H. (1997). Variation in results of measurement repetition of human characteristics and activities. *Applied Ergonomics*, 28(3), 155-163.
- Koenig, G., Tamres, M., & Mann, R. W. (1993). An analysis of the kinetics and kinematics of golf swing. In J. Hamill(Ed) *Biomechanics in sport XI: Proceedings of the XIth, Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports*. 328-333. Amherst, MA: University of Massachusetts.
- Koenig, G., Tamres, M., & Mann, R. W. (1994). The biomechanics of the shoe-ground interaction in golf. In A. J. Cochran, & M. R. Farrally(Ed) *Science and Golf II*, Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. 40-45. Padstow, Cornwall, GB: E & FN Spon.
- Koslow, R. (1994). Patterns of weight shift in the swings of beginning golfers. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 1296-1298.
- Lafond, D., Corriveau, H., Hebert, R., & Prince, F. (2004). Intrasession reliability of center of pressure measures of postural steadiness in health elderly people. *Arch Phys Med Rehabil*, 85, 896-901.
- Leadbetter, D., & Cannon, D. (2002). *100% golf: unlocking your true golf potential*. New York, NY: Harper Collins Publisher, Inc.
- Madonna, B. (2001). *Coaching Golf Successfully*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Mann, R., & Griffin, F. (1998). *Swing like a pro*. New York, NY: Broadway Books.
- Mason, B. R., McGann, B., & Herbert, R. (1995). Biomechanical golf swing analysis. In T.

- Bauer(Ed) *Proceedings of the XIII International Symposium for Biomechanics in Sport*. 67-70. Thunder Bay, Ontario: Lakehead University.
- McLean, J. (2005). *The 3 scoring clubs: how to raise the level of your driving, pitching, and putting*. New York, NY: Gotham Books.
- Nagano, N., & Sawada, Y. (1977). A kinematic analysis of the golf swing by means of fast motion picture in connection with wrist action. *Journal of Sports Medicine*, 17, 413-419.
- Neal, R. (1998). Golf swing analysis: A kinetic and 3D kinematic comparison. Communication to the Australian Conference of Science and Medicine in Sport (www.ausport.gov.au/fulltext/1998/acsm/amabs183.htm).
- Okuda, I., Armstrong, C. W., Tsunozumi, H., & Yoshiiko, H. (2002). Biomechanical analysis of professional golfer's swing: Hidemichi Tanaka. In E. Thain(Ed) *Science & Golf VI: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*. 18-27. Padstow, Cornwall, GB: TJ International Ltd.
- Onell, A. (2000). The vertical ground reaction force for analysis of balance? *Gait and Posture*, 12, 7-13.
- Parker, K. (2001). Use of force platforms in physics and sports. *Physics Education*, 11, 18-22.
- Radano, R., & Squadrone, R. (2002). Stability of selected lower limb joint kinetic parameters during vertical jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 18, 83-89.
- Rae, I., Fairweather, M., & Sanders, R. (2001). *Using your head to improve your golf swing*. Coaches Information Service. (www.coachesinfo.com/category/golf/58)
- Richard, J., Farrell, M., Kent, J., & Kraft, R. (1985). Weight transfer patterns during the golf swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56, 361-365.
- Robinson, R. L., (1994). A study of the correlation between swing characteristics and clubhead velocity. In A. J. Cochran, & M. R. Farrally(Ed) *Science and Golf II*, Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. 84-90. Padstow, Cornwall, GB: E & FN Spon.
- Schaffner, G., DeWitt, J., Bentley, J., Yarmanova, E., Kozlovskaya, I., & Hagan, D. (2005). *Effect of load levels of subject loading device on gait, ground reaction force, and kinematics during human treadmill locomotion in a weightless environment*. NASA, NASA/TP-2005-213169.
- Schollhorn, W. I., Nigg, B. M., Stefanyshyn, D. J., & Liu, W. (2002). Identification of individual walking patterns using time discrete and time continuous data sets. *Gait and Posture*, 15, 180-186.
- Stergiou, N. (2004). *Innovative analysis of human movement*. Champaign, IL; Human Kinetics.
- Stokes, M. (1985). Reliability and repeatability of methods for measuring muscle in physiotherapy. *Physiotherapy Practice*, 1, 71-76.
- Suttie, J. (2006). *Your perfect swing*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Utley, S., Rudy, M. (2006). *The art of putting: the revolutionary feel-based system for improving your score*. New York, NY: Gotham Books.
- Utley, S, & Rudy, M. (2007). *The art of the short game: tour-tested secrets for getting up and down*. New York, NY: Gotham Books.
- Veltink, P. H., Liedtke, C., & van der Kooij, H. (2005). Ambulatory measurement of ground reaction force. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 13(3), 423-427.
- Wallace, E. S., Graham, D., & Breakley, E. W. (1990). Foot to ground pressure patterns during the golf swing: a case study involving a low handicap players and a high handicap player. In A. J. Cochran(Ed), *Science & Golf*;

- Proceedings of the First World Scientific Congress of Golf. 25-29, London, GB: E & FN Spon.
- Wallace, E. S., Grimshaw, P. N., & Ashford, E. L. (1994). Discrete pressure profiles of the feet and weight transfer patterns during the golf swing. In A. J. Cochran, & M. R. Farrally(Ed) *Science and Golf II*, Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. 26-32. Padstow, Cornwall, GB: E & FN Spon.
- Williams, K. R., & Cavanagh, P. R. (1983). The mechanics of foot action during golf swing and implication for shoe design. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(3), 247-255.
- Worthen, L. C., Kim, C. M., Kautz, S. A., Lew, H. L., Kiratli, B. J., & Beaupre, G. S. (2005). Key characteristics of walking correlate with bone density in individuals with chronic stroke. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 42(6), 761-768.

투 고 일 : 10월 31일
심 사 일 : 11월 6일
심사완료일 : 12월 3일