

Original Article

The Effect of Biomechanics Information on Driver Swing Learning of Intermediate Golfers

Song-Yi Choi^{1*}, Sang-Hyun Kwon² and Dong-Won Yook²

¹Severance Health Check-up, Yonsei Golf Science

²Yonsei University

Article Info

Received 2023. 07. 07.

Revised 2023. 12. 05.

Accepted 2023. 12. 12.

Correspondence*

Song-Yi Choi

schoi7685@naver.com

Key Words

Motor Learning,
Biomechanics Information,
Feedback, Golf Driver Swing,
Intermediate

본 논문은 최송이의 박사학위 논문을 수정
및 요약한 것임.

PURPOSE This study investigates the effectiveness of biomechanics information on intermediate golfers driver swing learning. It analyzes changes in center of pressure (COP) patterns, GRF Direction Inclination, driver performance, and learners psychological responses to determine the learning effects. **METHODS** Subjects were 32 right-handed male golfers (handicap 15-23) who had no difficulty in performing the golf driver swing (Full swing). Four groups were selected, BF (Biomechanics Feedback group), BVC (Biomechanics Verbal Cue group), CB (Combination group), and CT (Control group), and assigned randomly. Driver swing learning showed results after 6 weeks, and a transfer test was conducted 1 week after the completion of the learning. **RESULTS** Analysis of COP patterns and GRF Direction Inclination indicated changes in the BF, BVC, and CB groups. Furthermore, analysis of driver distance (m), club head speed (km/h), and ball spin rate (rpm) revealed that during the 6-week acquisition phase, all three groups (excluding the control group) showed improvements in driver distance, club head speed, and ball spin rate. However, there were no statistically significant differences among the groups. In contrast, the transfer test showed statistically significant differences among the groups, with the CB group exhibiting the highest driver distance. Learners' psychological responses during the learning process were trust, understanding, and satisfaction. The understanding factor was relatively higher in the CB and BVC groups compared to the BF group. **CONCLUSIONS** In summary, biomechanics information (BI) was effective in improving driver performance, and changes appeared in the COP pattern and GRF Direction Inclination, indicating a change in movement. Therefore, BI can be fully utilized for athletes or high-level advanced players and for motor learning for intermediate-level students. However, BI can only improve learning effects by strengthening learners' "understanding" when visual feedback forms and verbal cues are provided together.

서론

운동 동작과 기술은 어떻게 습득하고 훈련하는지에 따라 효과가 매우 다르기에 운동기술을 학습하는데 중요한 요소 중 하나는 피드백이다(Newell, 1976). 운동학습에서 수행지식(KP), 결과지식(KR) 피

드백의 효과는 선행연구를 통해 규명됐으며, 일반적으로 KR 피드백이 운동학습에 효과적인 것으로 알려졌다(Adams, 1971; Newell, 1974; Salmoni et al., 1984; Schmidt & Young, 1991; Swinnen, 1988). 하지만 KR 피드백은 다음 동작 시 무엇을 수정해야 하는지에 대한 정보가 제공되지 않는다는 큰 제한점과 운동학습 과정을 설명할 때 피드백의 효과를 수행 결과에만 집중하고 학습과정에서 동작을 발생시키는 원인이나 동작의 특성이 무시되어 버리는 오류가 있다고 언급되었으며(Kernodle & Carlton, 1992; Schmidt, 1988; Smith & Loschner, 2002), 복잡한 과제나 다자유도 움직임에는

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

KR 피드백보다 KP 피드백이 더 효과적이라고 논의되었다(Magill, 2001; Newell et al., 1983).

Newell & Walter(1981)는 다자유도 움직임 또는 동작이 능숙한 수행자일수록 오류를 감지하는데 매우 정확한 정보가 필요하며 수행과 관련되지만, KP 피드백의 다른 형태인 운동역학(Kinetic)적 피드백의 제공이 운동학습에 바람직하다고 주장하였으며, 다자유도의 움직임이나 주기적인 패턴의 운동(런닝, 사이클링, 조정)의 경우 동작과 동작 사이의 변동성이 매우 작고, 연속적인 움직임이 반복되기 때문에 수행의 오류를 감지하기 위해서는 매우 정확한 정보가 필요하여 수행과 관련된 단순 KP 피드백보다 생체역학적(Biomechanics) 피드백이 효과적이고, 그중에서도 운동역학적 정보의 형태가 더욱 학습효과가 있다고 하였다(Dabnichki & Baca, 2008). 생체역학 정보는 교정적 기능과 피드백의 역할을 한다고 하였는데(Schmidt & Young, 1991) 생체역학 정보는 관절의 각도나 위치 등을 의미하는 운동학적(Kinematic) 정보 또는 힘의 응용 즉, 힘의 크기나 방향, 속도나 토크와 같은 물리적 힘을 의미하는 운동역학적 정보를 뜻한다(Schmidt & Young, 1991). 생체역학적 정보를 학습에 적절히 활용하기 위해서는 반드시 특정 기술 및 움직임 특성에 대한 통찰이 우선시 되어야 하며, 현장과 유사한 시뮬레이터를 활용하여 운동 수행 직후 제공하는 것이 바람직하다(Dabnichki & Baca, 2008; Newell & Walter, 1981; Schmidt & Young, 1991).

Smith & Loschner(2002)는 조정 경기 노젓기 기술 중 보트 속도에 영향을 미치는 운동역학 파라미터(Parameter) 측정 시스템에서 얼마나 유용한 생체역학적 피드백을 얻을 수 있는지를 검증하였다. 선수그룹이나 상급자 그룹 모두에 생체역학적 피드백을 제공한 결과 추진력이 향상된 것으로 나타났으며, 힘의 크기에 대한 피드백이 두 사람의 힘을 최적화시켜 불균형 모멘트를 최소화하여 보트 스피드를 향상시켰다. 결론적으로 엘리트 선수나 상급자 그룹은 모든 유형의 생체역학적 피드백에 긍정적인 반응을 보였지만, 생체역학 피드백이 수행자와 코치의 이해를 향상하게 하여 학습효과가 나타난 것인지, 아니면 코치의 언어가 학습효과에 영향을 미친 것인지에 대한 정량적 연구가 추가적으로 필요하다고 하였다. 현장의 선수나 코치는 이미 생체역학적 정보(Biomechanics information)가 수행을 향상하는 데 도움이 된다는 것을 알고 있지만, KP를 중점으로 한 구두(Verbal)의 피드백처럼 전통적 피드백 형태와 비교할 수 있는 추가적인 연구가 매우 필요하며, 복잡한 다자유도 과제를 통해 생체역학 정보의 학습효과를 정량적으로 검증하는 것이 필요하다.

PGA투어 상급순위 상위랭크 10명 중 10명 모두 300야드 이상 드라이버 거리를 보내는 것으로 집계될 만큼 지속해서 프로골퍼의 평균 드라이버 거리는 증가하고 있다(PGA Tour, 2023). 이에 골프 경기에서 드라이버 거리는 더는 옵션이 아닌 경기력에 중요한 요인으로 인식되고 있으며(Adlington, 1996; Chu et al., 2010), 드라이버 거리와 관련한 연구들이 활발하게 이뤄지고 있다. 그중 지면반력 특성에 관한 생체역학적 연구는 발전을 거듭해오고 있는데 CoP(압력중심)는 스윙 동작 시 발생하는 체중 분포와 체중 이동 분석에 중요한 지표로서 발에서 측정되는 데이터이며 발의 X축, Y축의 각 CoP 변위를 측정하고 합산하여 산출한다. 스윙 동작에서 나타나는 CoP는 일관된 패턴을 보이며, 크게 두 가지 형태로 분류된다(Ball & Best, 2007; Ball et al., 2002; Linm, 2004). 첫 번째는 'Front foot style'로 백스윙 동작 시 오른발(Trail foot)방향으로 이동되었다가 다운스윙 시 목표 방향 즉, 왼발(Lead foot) 방향으로 이동된

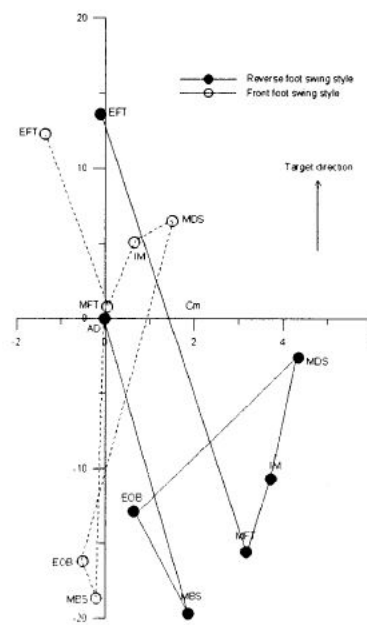


Fig. 1. Linm(2004) Comparisons of mean CP position of critical events for front and reverse foot swing style Model

다. 두 번째 'Reverse foot style'은 다운스윙 동작 시 왼발로 이동하였다가 임팩트 시점에 다시 오른발로 이동되는 형태이다(Figure 1).

두 패턴 간의 효과는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났지만, 프로골퍼의 경우 'Front foot style'의 비율이 높은 것으로 보고되었다(Ball & Best, 2007; Linm, 2004). CoP 이동 패턴과 신체 동작 및 수행력과의 관계를 살펴보면, 프로골퍼나 상급 골퍼의 다운스윙 시 왼발로 CoP의 이동속도가 초급 골퍼에 비해 상대적으로 빠른 것으로 나타났으며(Choi et al., 2016), CoP의 이동 범위와 속도는 드라이버 헤드 스피드와 높은 상관관계가 있는 것으로 보고되었다(Ball & Best, 2012; Smith et al., 2017).

골프 스윙에서 지면반력은 스윙 패턴과 클럽 궤도에 영향을 미치지만, 효율적인 지면반력 활용은 단순 지면반력 크기의 증가보다 적절한 타이밍에 이동시키는 것이 중요하다(Ball & Best, 2007; Chu et al., 2010; Queen et al., 2013; Richards et al., 1985). 프로골퍼들이 거리를 조절하는 요인을 검증하기 위해 왼발(Lead foot)과 오른발(Trail foot)의 지면반력 수직축의 힘과 더불어 작용 방향(Magnitude & Direction)을 정량화하여 측정된 결과 왼발과 오른발의 전, 후방 작용 반응력이 거리 조절과 관계하는 것으로 나타났는데(McNitt-Gray et al., 2013; Williams & Cavanagh, 1983; Worsfold et al., 2008), 오른발의 수평 반응력(Horizontal reaction force)을 선택적으로 조절하여 거리를 증가 또는 감소시키는 것으로서 거리에는 왼발 또는 오른발의 개별적 힘의 크기보다 양발의 작용 반응력을 살펴보는 것이 적합하다고 할 수 있다. 이와 유사하게 무게중심을 이동시키는 능력을 살펴보기 CoM(Centre of Mass)과 CoP를 직선으로 연결하여 스윙동안 기울어지는 경사도를 측정해 동적 균형 능력을 평가한 결과 좌, 우 경사도에서 프로골퍼가 상급과 초급 골퍼에 비해 작은 경사도 및 각속도를 나타냈는데 이

는 스윙 중 왼발(Lead foot)은 21%에서 142%로 오른발(Trail foot)은 85%에서 32%로 부하가 급격히 변화하기 때문에 적절한 동적 균형이 수행 능력에 중요한 요인이라 할 수 있다(Choi et al., 2016; Selicki & Segall, 1996; Tsang & Hui-Chan, 2010).

골프 스윙 학습 현장에는 여전히 동영상을 활용한 KP 중심의 피드백 또는 KP를 중점으로 한 구두 피드백에 의존하고 있으며 초, 중급자를 대상으로 한 생체역학적 정보의 효과에 관한 정량적 연구는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 골프 드라이버 스윙 과제를 통해 생체역학적 정보가 학습에 효과적인지 CoP 이동 패턴의 변화와 지면반력 작용 방향의 변화 그리고 수행력과 학습자들의 심리적 반응을 확인하여 생체역학적 정보가 운동학습에 미치는 효과를 검증해 골퍼 및 다자유도 과제 운동학습에 유효한 정보를 제공하는 것이 본 연구의 목적이다. 연구 목적을 달성하기 위해 생체역학적 정보가 CoP 이동 패턴과 지면반력 작용 방향을 변화시키고 수행력과 학습자들의 심리적 요인에 반응할 것이라는 연구 문제를 설정하였다.

연구 방법

연구참여자

본 연구의 대상자는 신체적 또는 정신적 질환이 없는 오른손잡이 남자 골퍼 32명을 선정 하였다(Age:45.6±6.6years, Height:175.6±5.1cm, Mass:77.4±7.3kg, Handicaps:20.2±3.1). 대상자는 골퍼 스윙 전체 동작을 하는데 어려움이 없는 중급(Intermediate) 골퍼들로 구성하였다. 참여자는 생체역학적 정보 제공 집단인 Biomechanics Information Feedback group(BF), 생체역학적 정보를 바탕으로 언어적 단서를 제공한 집단인 Biomechanics Information Verbal Cue group(BVC), 결합 집단인 Combination Feedback group(CB), 통제 집단인 Control group(CT) 총 네 그룹으로 분류되었으며, 각 집단에 8명씩 무선으로 배정하였다. 실험에 앞서 대상자들에게 자발적 참여 동의서를 받았고, 연세대학교 생명연구윤리 위원회의 승인을 받아 연구를 진행하였다(7001988-201905-HR-463-03). 연구참여자의 세부적인 내용은 <Table 1>과 같다.

Table 1. The Characteristics of subjects

Section	BF (M±SD) N=8	BVC (M±SD) N=8	CB (M±SD) N=8	CT (M±SD) N=8
Age, years	45.6 (5.9)	43 (5.1)	46.6 (6.7)	47.3 (8.7)
Height, cm	174.2 (6)	178.3 (4.5)	174.0 (2.5)	175.7 (6.1)
Weight, kg	81.2 (9)	78.5 (5.9)	75.5 (7.5)	74.5 (2.5)
handicap	18.9 (2.9)	22 (2.1)	19 (3.1)	20.8 (3.4)

* $p<.05$

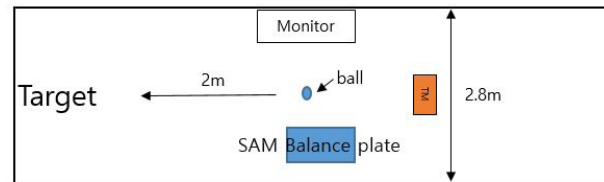


Fig. 2. Acquisition phase

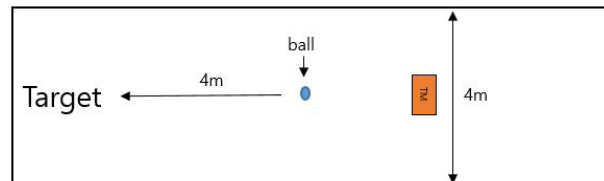


Fig. 3. Transfer test

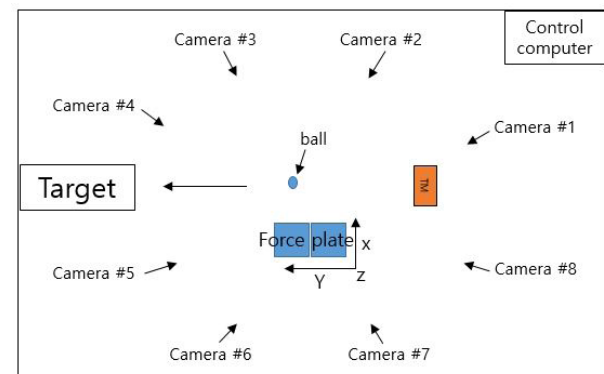


Fig. 4. Experiment Environment

측정 도구

1. 신체 움직임 변화 및 수행력 측정도구

학습 전과 후의 신체 동작의 변화를 살펴보기 위해 학습 전과 학습 종료 후에 CoP 이동 패턴과 지면반력 작용 방향 측정에 지면반력판 두 대 OR6-7(AMTI Inc., Newton, MA, USA)를 사용하였으며, 표본추출 비율은 2000Hz로 설정하여 데이터를 수집하였다(Figure 4). 골퍼 스윙의 좌표값과 지면반력의 위치값을 계산하기 위해 plug-in-gate-model에 맞게 대상자의 해부학 경계점에 총 6개와 골퍼 클럽 세 곳에 발광마커를 부착하였고, 3차원 위치 데이터는 8대의 적외선 모션 카메라(Vicon, USA)로 측정하였으며 250Hz로 Sampling하였다. 골퍼 수행력은 드라이버 거리(m), 클럽 헤드 스피드(km/h), 공 회전량(rpm)을 도플러 레이더 방식 TrackMan4(TrackMan A/S, Denmark) R&D 시스템을 통해 수집하였다. 습득단계에서 생체역학 정보를 제공하기 위해 CoP 이동패턴이 실시간 측정 가능한 SAM Balance(Science & motion sports, Germany)Plate(data sampling 100Hz)를 이용하여 측정 및 실시간 제공하였다(Figure 5).

2. 경험보고서

경험보고서는 선행연구(Smith & Loschner, 2002)에서 생체역학적 피드백이 코치와 학습자의 이해를 높여 학습효과가 나타난 것인지 혹은 코치의 언어가 학습효과에 영향을 미친 것인지에 대한 검증이 필요하다는 제언에서 비롯하여 경험보고서를 사용하고자 하였으며, 학습자가 생체역학적 정보를 활용한 학습 과정에서 느끼는 심리적 반응을 세부적으로 살펴보고자 하였다. 경험보고서는 학습 과정에서 경험하였던 인상 깊었던 사건과 감정에 대하여 자유롭게 작성하도록 하였다(Kwon et al., 2016; Seok, 2021).

연구 절차

학습효과 검증을 위해 다음과 같은 절차를 진행하였다. 실험은 사전 검사, 예비교육, 습득단계, 전이검사, 사후검사를 실시하였고, 심리적 반응은 모든 과정이 종료된 후 경험보고서를 작성 및 수집하였다. 사전검사 종료 후 모든 참여자에게 생체역학적 정보(BI)와 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서(BI Verbal cue)에 대한 예비 교육(40min)을 실시하였다. 예비교육은 대상자와 연구자 1:1의 교육으로 실시하였는데, 무게중심(Centre of gravity), 중력선(Line of gravity), 압력중심(Center of Pressure)에 대해 설명하였으며, 선행 연구를 인용하여 골프에서의 CoP 작용과 CoP 이동 패턴에 대해 설명하였다. 프로골퍼의 CoP 이동 패턴을 비디오(모니터)로 제공하였으며, 대상자의 CoP 이동 패턴을 SAM balance로 측정하여 좌, 우, 전, 후 움직임 방향과 위치에 대해 설명하였다.

학습 전과 종료 후 CoP 이동 패턴에 대한 검사를 실시하였는데, Zheng et al.(2008)의 연구를 참고하여 드라이버 스윙 10회 중 학습자 스스로가 가장 좋았다고 표현한 3개의 샷을 분석에 사용하였다. 습득단계는 주 1회 실시하였으며, 주 1회 방문 시 드라이버 스윙 20번(약 40분간)을 실시하였으며, 스윙과 스윙 간에 30초의 휴식을 제공하였다. 매주 1회(20번)씩 총 6주간(6회, 120번)을 실시하였으며, 수행력 데이터 측정은 1회(20번)를 1분단으로 총 6분단을 측정하였다. 피드백 제공은 대상자가 쉽게 볼 수 있는 거리 전면에 모니터(LG 000 42 inch TV)를 설치한 후 매 시행 직후 모니터를 통해 BI (CoP 이동 패턴)를 제공하였으며, BI Verbal cue는 CoP 이동 패턴에 대한 단서를 언어적으로 제공하였다(Table 2). Combination Feedback 그룹은 수행 직후 BI를 모니터를 통해 제공한 직후 BI Verbal cue를 제공하였다. 전이검사는 6주간의 습득단계가 종료된 일주일 후 다른 장소에서 실시하였으며(Figure 3), 모든 집단에 어떠한 정보도 제공되지 않은 상태에서 드라이버 스윙을 총 20번(1분단)을 실시하였다. 전이검사에서도 스윙과 스윙 간 30초의 휴식을 제공하였다.

1. Feedback

1) BF 그룹

압력중심 이동 패턴은 SAM balance(Science & motion sports, Germany)를 이용하여 매 시행마다 수행 직후 모니터를 통해 시각적으로 제공하였다(Figure 5).

2) BVC 그룹

생체역학 정보를 바탕으로 언어적 단서를 매 시행마다 수행 직

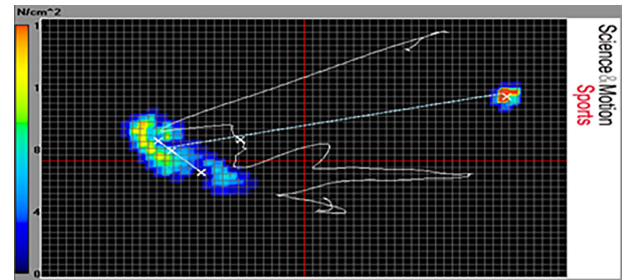


Fig. 5. Biomechanics Information Feedback(CoP pattern)

Table 2. BVC Group

	Contents
1	When making the address position, the CoP should be between the left foot and the right foot.
2	When making the address position, the CoP should be in the middle of the soles of the feet.
3	When making the takeaway position, the CoP should move to the right foot.
4	When making the takeaway position, the CoP should move to the heel.
5	When making the mid back swing position, the CoP should be between the center of the body and the right foot.
6	When making the top swing position, the CoP should move to the heel of the right foot.
7	When making the early down swing position, the CoP should be on the right foot more than the center of the body.
8	When making the mid down swing position, the CoP should move from center of the body to the left foot.
9	When making the mid down swing position, the CoP should be on the toes.
10	When making the impact position, the CoP should move to the left foot.
11	When making the impact position, the CoP should move to the heel of the left foot.
12	When making the follow through position, the CoP should move to the left foot.
13	When making the follow through position, the CoP should move to the heel of the left foot.

후 제공하였는데, 코치의 언어가 학습효과에 영향을 미친 것인지 살펴보기 위해 생체역학 정보를 바탕으로 한 언어적 단서를 활용하였으며, Ball et al.(2002)와 Linm(2004)의 연구 중 Front style 패턴(Figure 1)을 참고하여 다음 수행 시 CoP 이동 패턴이 어떻게 수정되어야 하는지에 대한 단서를 언어적으로 제공하였다(Table 2). 사전검사와 예비교육에서 측정된 CoP 이동패턴을 선행연구와 비교하여 가장 수정되어야 할 3가지의 스윙 이벤트를 선정해 그 중점으로 제공하였다.

3) CB Feedback 그룹

BI(CoP 이동 패턴)와 BI Verbal cue를 결합한 것으로 BI를 제공한 직후 생체역학 정보를 바탕으로 한 언어적 단서를 제공하였다.

4) CT그룹

아무런 정보를 제공하지 않았다.

전이검사 종료 직후 CoP 이동 패턴과 지면반력 작용 방향 경사도를 측정하기 위해 드라이버 스윙 10회를 실시하였으며, 그중 학습자 스스로가 가장 좋았다고 표현한 3개의 샷을 분석에 사용하였다. 경험보고서는 모든 실험이 종료된 후 자기 보고서 형식으로 자유롭게 서술하여 수집하였다. 부상 예방을 위해 매 실험이 시작되기 전 5분간의 워업(Warm up)을 실시하였다.

스윙 이벤트는 총 8구간으로 어드레스, 테이크어웨이, 미드 백스윙, 탑스윙, 얼리다운스윙, 미드다운스윙 임팩트, 팔로스루(Figure 6)로 설정하였다. 각 스윙 이벤트 별 압력중심 이동 위치(Figure 7)는 선행연구를 참고하여 선정하였다.

2. 스윙 이벤트

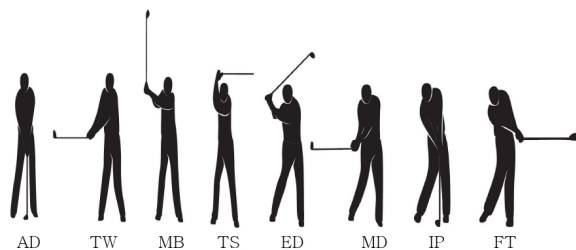


Fig. 6. Swing Event

AD: address, TW: take-away, MB: mid-back-swing, TS: top-swing, ED: early-down-swing, MD: mid-down-swing, IP: impact, FT: follow-through

3. 압력중심 이동 패턴 및 지면반력 작용 방향

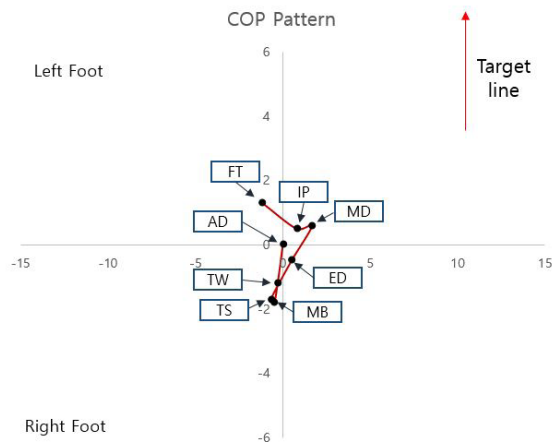


Fig. 7. CoP Pattern Example

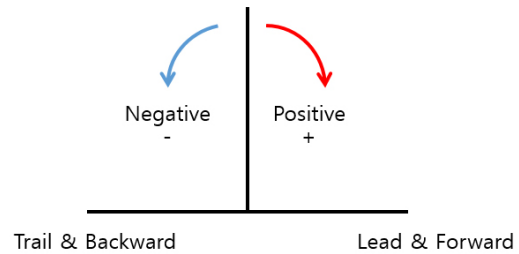


Fig. 8. GRF Direction Inclination

자료 분석

학습 전과 후의 CoP 이동 패턴의 변화를 살펴보기 위해 각 그룹 6명(무작위 추출)의 평균 데이터를 추출하고 도면화하여(Figure 7) 분석을 실시하였고, 지면반력의 작용 방향 변화를 살펴보기 위해 지면반력 좌, 우(Lead/Trail) 경사도(Inclination) 및 전, 후방(Forward/Backward) 경사도를 측정하여(Figure 8) 학습 전과 후의 작용 방향 변화에 대해 검증하였다. 통계적 유의수준은 .05로 설정하였으며 SPSS26 통계 패키지 프로그램(SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)을 활용하여 Paired t-test를 실시하였다. 수행력 학습효과도 SPSS24 통계 패키지 프로그램(SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)을 활용하여 분석하였으며 습득단계에서는 피드백 유형을 독립변수로 한 6(block)×4(group)설계로 분단을 반복측정하는 반복측정이원변량분석(Two-way ANOVA with repeated measure on block)을 실시하였다. 상호작용 및 단순 주효과와 전이검사에서 집단 간 주효과를 검증하기 위해 Paired t-test와 one-way ANOVA를 실시하였다. 사후검증은 Tukey를 실시하였으며, 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다. 또한 학습과정에서 학습자가 경험하는 심리적 반응을 살펴보기 위해 질적분석을 실시하였는데, 경험보고서를 수집하여 의미를 가진 자료들을 중심으로 주제별 약호화를 실시하였고, 귀납적 범주 분석 방법으로 범주화 과정을 거쳐 결과를 도출하였다.

연구결과

제공된 피드백에 따라 학습에 효과가 있는지 검증하기 위해 CoP 이동 패턴을 도면화 분석하였고 지면반력 작용의 좌, 우, 전, 후방 경사도를 분석하였다. 또한 드라이버 거리, 클럽 헤드 스피드, 공 회전량을 측정하여 분석하였으며 학습과정에서 학습자는 어떠한 심리적 반응을 보이는지 분석하였다.

1. CoP 이동 패턴

학습 전과 후의 CoP 이동 패턴은 도면화로 분석하였다(Figure 9). 본 연구의 CoP 이동 패턴에서의 0점은 어드레스로서 움직이기 직전의 위치이며, 스윙 방향을 따라 오른쪽 방향(Target의 반대 방향) 테이크어웨이(TW), 미드백스윙(MB), 탑스윙(TS), 얼리다운스윙(ED), 미드다운스윙(MD), 임팩트(IP), 팔로스루(FT) 순서로 이어지며 각각의 점을 하나의 선으로 연결하면 CoP 이동 패턴이 나타난다. 선행연구에서는 CoP 이동 패턴은 골프 수행력과 관계가 있는 것으로 나

타났는데, 탑스윙-얼리다운스윙-미드다운스윙 까지 측면(원발 방향) 이동 범위가 드라이버 헤드 스피드와 높은 상관관계가 있는 것으로 보고되었고(Ball & Best, 2012; Aimée & Jonathan & Kong & Stephanie, 2017) 어드레스, 테이크어웨이, 미드백스윙까지의 CoP 이동 패턴은 임팩트 정타와 관계를 보인다고 하였다(Kim & So, 2016). 선행연구를 토대로 헤드 스피드와 관계를 보이는 탑스윙-얼리다운스윙-미드다운스윙의 CoP 측면 이동 범위를 도면으로 살펴 보았을 때, 네 개의 그룹 모두 학습 전과 후 측면으로 이동 변화는 크게 나타나지 않았다. 임팩트 정타와 관계를 보이는 어드레스-테이크어웨이-미드백스윙까지의 CoP 이동 범위에서는 네 개의 그룹 모두 변화한 것을 확인할 수 있었는데, 변화의 정도를 살펴보면 CB그룹의 어드레스-테이크어웨이-미드백스윙까지의 CoP 이동 위치가 음수(Negative)에서 양수(Positive) 방향으로 다른 그룹에 비해 상대적으로 크게 변화한 것을 확인할 수 있었다.

2. 지면반력 작용 방향 경사도(GRF Direction Inclination)

학습 전과 후 지면반력 작용 방향 경사도에 차이가 있는지 스윙 이벤트에 대한 집단별 Paired t-test을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 좌/우 경사도

왼발의 좌, 우 지면반력 작용 방향 경사도 변화를 살펴본 결과 어드레스에서 BVC집단과 CT집단에서 학습 전과 후에 차이가 있는 것으로 나타났고, 미드백스윙에서는 CB집단에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 미드다운스윙에서는 BF, BVC, CB집단에서 차이가 있는

것으로 나타났다. 오른발 좌, 우 경사도의 변화를 살펴보면 어드레스에서 학습 전과 후 네 집단 모두에서 차이가 있는 것으로 나타났으며, 미드백스윙에서는 CB집단에서 차이가 있는 것으로 나타났고, 탑스윙에서는 BF집단에서 차이가 있는 것으로 나타났다.

2) 전/후방 경사도

왼발의 전, 후방 지면반력 작용 방향 경사도 변화를 살펴본 결과 미드백스윙에서 BF집단에서 차이가 있는 것으로 나타났으며, 오른발 전, 후방 경사도 변화를 살펴본 결과 테이크어웨이에서 BF 집단이 차이가 있는 것으로 나타났다.

도면에서의 CoP 이동 패턴 변화와 지면반력 작용 방향의 경사도 변화가 수행력을 향상시킨 요인이라고 할 수는 없지만, 신체 동작의 변화는 예측할 수 있다.

3. 수행력

수행력의 Baseline 분석 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않아 그룹별 무선배정이 이루어 졌음을 확인 하였으며, 공분산 행렬에 대한 box의 동일성 검정이 확보 되었고($p>.05$), Mauchly와 Greenhouse-Geisser 방법으로 검정을 실시하였다.

1) 거리

드라이버 거리를 측정한 결과 6주간의 습득단계의 시행이 진행될수록 통제집단을 제외한 세 집단의 거리는 유의하게 $F(3.271, 91.596)=11.351$ 향상된 것으로 나타났고, 2block과 4block,

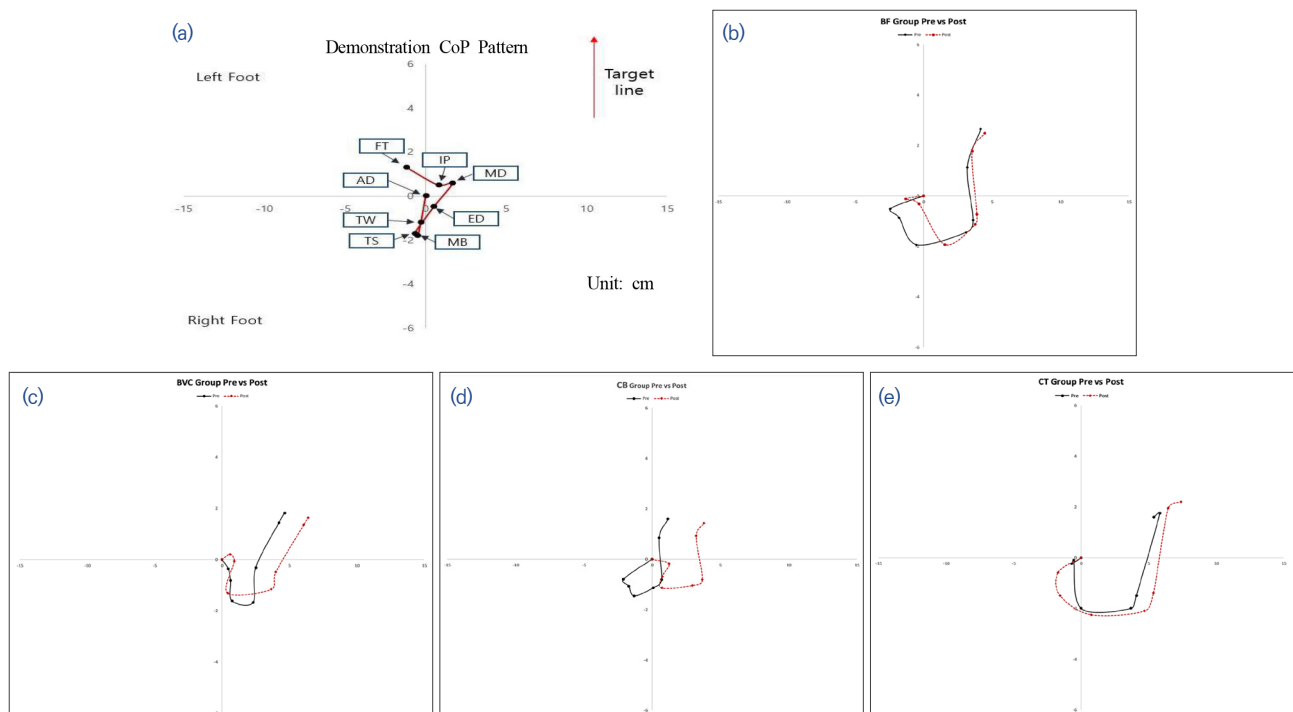


Fig. 9. CoP Pattern Pre vs Post

a) Demonstration, b) BF: Biomechanics Information feedback group, c) BVC: Biomechanics verbal cue group, d) CB: Combination Feedback(BVC+BF)group, e) CT: Control group. Black line: Pre, Red line: Post. AD: address, TW: take-away, MB: mid-back-swing, TS: top-swing, ED: early-down-swing, MD: mid-down-swing, IP: impact, FT: follow-through

5block에서 분단과 집단 간의 상호작용 효과($p<.05$)가 있는 것으로 나타났다. 습득단계에서 집단 간 차이는 나타나지 않았지만, 전이검사에서는 집단 간 유의한 차이($F(3, 31)=3.932$)가 있는 것으로 나타나 사후 검증을 실시한 결과 CB집단이 CT집단에 비해 거리가 우수한 것으로 나타났다(Figure 10a).

2) 클럽 헤드 스피드

드라이버 클럽 헤드 스피드를 측정한 결과 6주간의 습득단계의 시행이 진행될수록 세 집단의 클럽 헤드 스피드가 유의하게 향상된 것으로 나타났으나, 집단 간 차이는 나타나지 않았다. 분단과 집단 간 상호작용 효과도 나타나지 않았다. 전이검사 결과에서도 집단 간 유의한 차이는 없는 것으로 나타나 클럽 헤드 스피드는 피드백 제시 방법에 따른 학습효과를 보이지는 않는 것으로 나타났다(Figure 10b).

3) 볼 회전량

공이 날아갈 때의 높이와 거리에 영향을 미치는 공의 회전량은 rpm으로 측정된다. 6주간 습득단계를 살펴보면 습득단계의 시행이 진행될수록 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. $F(3.849,$

$107.762)=3.024$ 습득단계에서 분단과 집단의 상호작용 효과는 나타나지 않았지만, 학습의 효과를 확인하는 전이검사에서는 집단 간 차이가 있는 것으로 $F(3, 31)=3.526$ 나타났고, BVC집단의 평균 공 회전량이 가장 우수한 것으로 나타났는데 사후검증을 실시한 결과 BVC집단이 BF집단에 비해 우수한 것으로 나타났다(Figure 10c).

4. 심리적 반응

자기보고서 형태의 경험보고서를 수집하여 귀납적 분석 절차에 따라 분석한 결과 세 가지 요인이 도출되었다. 피드백을 제공 받은 세 그룹의 대상자는 신뢰, 이해, 만족감이라는 심리적 반응을 보이는 것으로 나타났으며, 집단별 심리적 반응 빈도를 살펴보면 CB 집단의 신뢰와 이해의 요인이 가장 높은 빈도를 보였고, 만족감 요인은 BVC 집단의 빈도가 BF 집단에 비해 상대적으로 높았다(Table 7). 또한 BF집단의 이해 요인 빈도는 낮은 반면 BVC와 CB집단의 이해 빈도가 상대적으로 높은 것을 보았을 때 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서의 제공이 학습자의 이해와 만족감을 높이는 데 도움이 된다고 해석할 수 있다. 결국 CB 집단에서 보인 CoP 이동 패턴의 변화나 전이검사에서의 거리 향상은 생체역학적 정보와 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적단서의 복합 제공이 어떻게 신체 동작을 변

Table 3. Mean and standard deviations of GRF L/T Inclination

Swing event	Group	Left foot		Swing event	Group	Right foot	
		Pre	Post			Pre	Post
AD	BF	-7(9.6)	-9.8(3.2)	AD	BF	-7(9.6)	8.9(3.3)**
	BVC	-9.8(1.6)	-8.6(0.9)**		BVC	-9.8(1.6)	7.9(1.7)**
	CB	-9.2(5)	-8.4(4.7)		CB	-9.2(5)	14.4(14.7)**
	CT	-11.2(3.7)	-10.3(3.8)**		CT	-11.2(3.7)	9.5(3.4)*
TW	BF	-15.3(4.2)	-15(5.7)	TW	BF	11.3(4.9)	10.4(4.9)
	BVC	-11.3(1.4)	-10.8(1.7)		BVC	8.1(1)	7.5(1)
	CB	-7.7(9.6)	-12.7(5.1)		CB	5.8(3.9)	7.5(2.3)
	CT	-15.4(4.8)	-12.6(2.9)		CT	9.3(3)	8.9(2.8)
MB	BF	-14.8(6)	-14.2(7.1)	MB	BF	10.9(3.9)	9.8(3.3)
	BVC	-11.3(3.8)	-12.6(4.1)		BVC	7.9(1.3)	8(1.1)
	CB	-5.1(9.1)	9.5(8)*		CB	4.7(3.6)	7(2.7)*
	CT	-13.6(1.5)	-12.3(6.6)		CT	8.2(1.6)	9.8(2.4)
TS	BF	0.8(14.2)	0.1(11.7)	TS	BF	11.2(3.5)	10.1(2.9)*
	BVC	4.4(4.5)	6.4(7.8)		BVC	8.1(2.8)	8.4(2.5)
	CB	0.6(7)	-4.8(13.5)		CB	5.3(4.2)	6.2(2.2)
	CT	6.1(2.5)	8.3(2.8)		CT	7.6(2)	8.7(4.9)
MD	BF	-6.7(1.9)	8.2(5.8)**	MD	BF	10.8(3.2)	8.2(5.8)
	BVC	-5.7(4.5)	7.7(6.4)**		BVC	7.7(6.2)	7.7(6.4)
	CB	-6.7(6.1)	6.8(5)**		CB	8.6(5)	6.8(5)
	CT	-5.5(4.9)	9.9(4.2)		CT	6.6(5.1)	9.9(4.2)
IP	BF	-8.4(3.2)	-8.5(2.5)	IP	BF	-6.5(17.2)	-11.1(5.1)
	BVC	-7.8(2.9)	-7(2.4)		BVC	1.6(10.1)	-3.1(9.6)
	CB	-4.4(10.5)	-6(7.7)		CB	-0.1(10.8)	-2.6(12.6)
	CT	-9.5(0.7)	-9.7(2.6)		CT	-1.7(12)	-10.8(18.8)

BF: Biomechanics feedback, BVC: Biomechanics Verbal cue, CB: Combination feedback(BI+FBVC), CT: Control

L/T: Lead/Trail, AD: Address, MB:Mid-back-swing, TS: Topswing, MD:Mid-down-swing, IP:Impact

* $p<.05$, ** $p<.01$

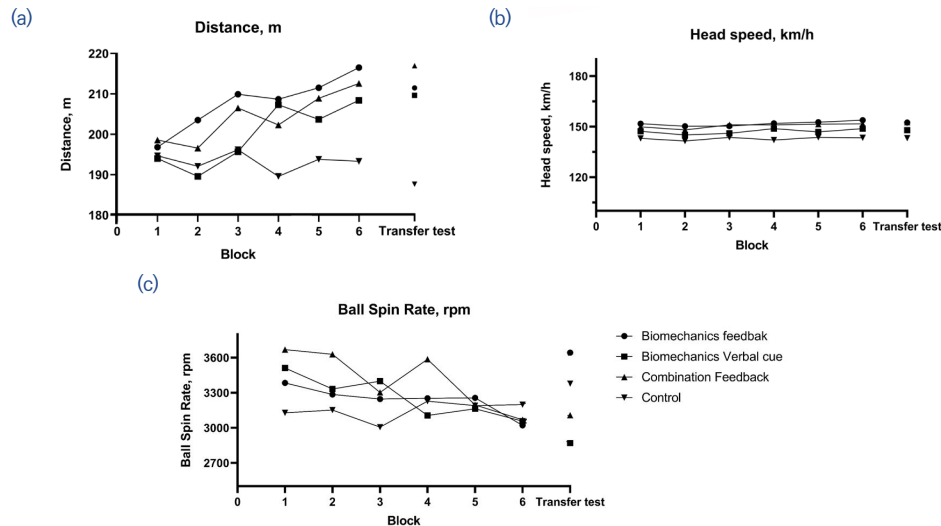


Fig. 10. Mean of Distance, Head speed, Ball spin rate for four groups during Acquisition phase and transfer test

a) Distance(m), b) Head Speed(km/h), c) Ball Spin Rate(rpm)

BF: Biomechanics Information Feedback group, BVC: Biomechanics Verbal Cue group, CB: Combination Feedback(BVC+BF)group, CT: Control group

Table 4. Mean and standard deviations of GRF F/B Inclination

Swing event	Group	Left foot		Swing event	Group	Right foot	
		Pre	Post			Pre	Post
AD	BF	1.2(1.7)	1.1(1.5)	AD	BF	-2.4(1.7)	-2.4(1.7)
	BVC	0.4(0.6)	0.1(0.8)		BVC	-1.4(1.4)	-1.4(1.4)
	CB	0(1.3)	1.2(2.5)		CB	14.7(25.5)	14.7(25.5)
	CT	-0.5(1.9)	-0.9(1.5)		CT	-0.4(2.1)	-0.4(2.1)
TW	BF	4.8(4.2)	6.2(3.9)	TW	BF	-1.7(1.9)	-1.7(1.9)
	BVC	4.5(2.4)	4.2(3)		BVC	-2.4(1.7)	-2.4(1.7)
	CB	7.7(4.9)	8(7.1)		CB	2.7(10.3)	2.7(10.3)
	CT	6.1(3.6)	4.6(2.1)		CT	-2.4(1.8)	-2.4(1.8)
MB	BF	0.4(4.7)	3(4.9)*	MB	BF	-0.9(1.9)	-0.9(1.9)
	BVC	1.3(2.8)	2.9(3.3)		BVC	-0.5(1.8)	-0.5(1.8)
	CB	3.3(6.9)	2.9(6)		CB	3.8(11.1)	3.8(11.1)
	CT	2.4(2.9)	-2.8(7.8)		CT	-1.6(1.8)	-1.6(1.8)
TS	BF	-9.7(10.9)	-10.2(8.9)	TS	BF	6.5(3.2)	6.3(3.5)
	BVC	-12.4(9.7)	-11.5(7.1)		BVC	6.3(3.3)	5.2(2.4)
	CB	-7.7(10)	-12.6(11.2)		CB	10(12.7)	6.3(5.3)
	CT	-15.1(4.9)	-18.8(3.9)		CT	9(2.7)	10.7(0.4)
MD	BF	-17.8(4.6)	12.9(10.3)	MD	BF	25(4.9)	26.7(6.7)
	BVC	-18.9(3.0)	-17.2(6.6)		BVC	22.7(4)	22.5(7.4)
	CB	-12.8(9.6)	-15(8.4)		CB	25.6(20)	18.7(9.2)
	CT	-14.6(5.4)	-15.7(4.6)		CT	14.1(9.9)	23.4(9.1)
IP	BF	1.6(4.5)	1.5(3.7)	IP	BF	17.5(9.3)	16.5(10.4)
	BVC	2.0(7.1)	7.5(16.1)		BVC	9.5(7.3)	12.6(13.7)
	CB	6.6(7.9)	3.8(12.7)		CB	10.1(6.7)	10.1(6.7)
	CT	9.2(12.1)	7.4(10.6)		CT	0.7(3)	6(8.1)

F/B: Forward/Backward

* $p < .05$, ** $p < .01$

경할 수 있는지에 대한 심리적 신뢰 및 이해를 높여 스윙 동작의 변화를 끌어내어 학습 효과를 높인 것이라 할 수 있다.

논의

스포츠 및 예술 수행력을 발전시키는 중요한 열쇠라 언급되는 생체역학 정보는 다자유도 과제 운동학습에 효과가 있는 것으로 밝혀졌다(Dabnichki & Beca, 2008; Newell & Walter, 1981; Smith & Loschner, 2002; Zhang et al., 2019). 하지만 다른 피드백 분야와 비교했을 때 발전하지 못한 상황으로 다양한 과제를 활용한 정량적

분석이 필요하다(Zhang et al., 2019).

골프 종목은 상체, 하체의 회전과 클럽을 활용해 이뤄지는 복잡성이 높은 동작으로(Chu et al., 2010; Kwon et al., 2012) 수행력 향상을 위한 생체역학적 연구는 발전을 거듭하고 있다. 연구에서 밝혀진 생체역학적 요인들이 골프 스윙 학습에 어떻게 활용할 수 있는지에 대한 문제는 다뤄지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 골프 드라이버 스윙을 과제로 선정하여 CoP 이동 패턴의 변화와 지면반력 작용 방향 경사도의 변화, 수행력, 심리적 요인을 분석해 생체역학적 정보가 운동학습에 미치는 효과를 검증하고자 하였으며, 학습 현장에 도움이 될 수 있는 과학적 근거를 제공하고자 하였다. 본 연구의 결과에 대해 논의하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 CoP 이동 패턴을 도면화하여 분석한(Figure

Table 5. Mean and standard deviations of Distance, Head speed, Ball spin rate for four groups during Acquisition phase

	Group	Acquisition phase						F	p	
		1	2	3	4	5	6			
Distance, m	BF	196.8 (25.3)	203.5 (20.6)	209.9 (18.3)	208.7 (22.6)	211.5 (16.8)	216.5 (21.6)	block	11.351	.000**
	BVC	194 (13.1)	189.6 (14)	195.7 (9.2)	207.3 (7.1)	203.7 (9.3)	208.4 (9.5)			
	CB	198.6 (21)	196.6 (16.9)	206.5 (18.4)	202.3 (19.1)	208.9 (19.6)	212.6 (17.5)	block x group	2.440	.013**
	CT	194.7 (22.3)	192.1 (28.1)	196.2 (22.4)	189.6 (31.2)	193.8 (21.2)	193.3 (22.7)			
Head speed, km/h	BF	151.6 (11.4)	150.2 (9.7)	150.2 (7.7)	151.8 (10.2)	152.6 (8.4)	153.7 (12.5)	block	3.179	.009**
	BVC	147.2 (5.2)	144.9 (7.1)	145.9 (5.6)	148.8 (5.4)	146.7 (5.8)	148.7 (6.8)			
	CB	149.8 (7.7)	148 (6.7)	150.9 (8.5)	151 (8.2)	151.3 (9.6)	151.3 (11.4)	block x group	.473	.951
	CT	142.9 (10.9)	141.4 (12.7)	143.5 (11.5)	141.9 (13.2)	143.5 (11.8)	143.3 (11.6)			
Ball spin rate, rpm	BF	3383 (745.2)	3285.4 (465.3)	3246 (407)	3252.8 (437.5)	3256 (258.8)	3020.3 (294)	lock	3.024	.022*
	BVC	3511.1 (602.6)	3333.1 (69.5)	3399.1 (513.9)	3104.9 (319.3)	3162.5 (296.7)	3055.8 (446.7)			
	CB	3667.9 (1090.6)	3628 (627.2)	3302.1 (675.1)	3585.8 (964.3)	3194.5 (699.4)	3068.4 (387.6)	block x group	1.110	.360
	CT	3127.9 (778.4)	3151.3 (916)	3005.5 (679.7)	3227.9 (800)	3789.3 (728.8)	3198.6 (606.3)			

* $p < .05$, ** $p < .01$, BF: Biomechanics Information feedback group, BVC: Biomechanics Verbal cue group, CB: Combination feedback(B+FBVC)group, CT: Control group

Table 6. Mean and standard deviations of Distance, Head speed, Ball spin rate for four groups during transfer test

	BF	BVC	CB	CT	F	p	post hoc.
Distance, m	209.4(25.7)	207.7(9.5)	214.6(16.8)	187(12.9)	3.932	.018*	CB>CT
Head Speed, km/h	152.4(9.7)	147.9(6)	152.6(9.6)	143.2(9.2)	2.037	.131	
Ball Spin Rate, rpm	3642.2(692.3)	2868.4(327.9)	3107.4(284.5)	3377.9(590.8)	3.526	.028*	BVC>BF

* $p < .05$, ** $p < .01$

Table 7. Results of the self report

Group	Factor (Freq)	Content	Freq
BF	Trust (5)	I trust that I use my body correctly.	2
		I feel it is very systematic and scientific.	1
		I was able to trust the results because the results came from the special equipment.	1
		I was able to fix my swing movement because of the special equipment.	1
	Understanding (1)	I feel like I understood more each time I practiced	1
	Satisfaction (8)	I feel that I have clearly changed.	1
		My driver distance has definitely increased.	1
		My driver direction has improved.	1
		My driver swing posture has improved.	3
		My driver swing impact and accuracy have improved	2
BVC	Understanding (6)	I understood and learned the swing mechanism.	4
		It helped me understand swing movements.	2
	Satisfaction (11)	I feel like I get better each time I practice.	2
		My swing is more stable now.	1
		I fixed the movement of my swing.	3
		It helped increase my confidence.	2
		My driver distance has definitely increased.	1
		My driver accuracy has improved	2
CB	Trust (8)	I trust my swing more than before.	3
		I feel it is very systematic and scientific.	2
		I am no longer confused about how to swing correctly.	3
	Understanding (8)	I understood the swing mechanism easily.	2
		I was confused at first, but the more practiced, the more I understood.	1
		I was enlightened by this experience.	1
		I realized what my swing problem is.	3
	Satisfaction (10)	My driver distance has definitely increased.	2
		My driver direction has improved.	1
		My swing is more stable now.	3
		I feel that I can keep swinging in the correct patterns, even if I practice without a coach	2

9) 결과, 탑스윙에서 미드다운스윙까지 측면으로의 이동 거리는 학습 전과 비교했을 시 상대적으로 크게 변화하지 않았다. 한편, 어드레스에서 백스윙 이동 형태는 학습 전과 비교했을 시 상대적으로 변화하였으며 특히, CB집단의 어드레스에서 탑스윙 구간의 변화가 상대적으로 가장 크게 나타났는데, CoP 이동 패턴은 양발 CoP의 평균 위치로서 체중 분배나 체중 이동에 대한 이해를 도우며(Ball & Best, 2007), CoP의 측면 이동 범위와 속도는 드라이버 헤드 스피드와 높은 상관관계가 있는 것으로 보고되었고(Ball & Best, 2012; Smith et al., 2017), 어드레스에서 미드백스윙 구간의 CoP 이동은 임팩트 정타와 관련되었다고 하였으며(Kim & So, 2016) CoP 이동 패턴은 클럽 간에도 차이를 보이지 않는 고유의 패턴이라 하였다(Ball & Best, 2011). CoP 이동 패턴 도면화 분석에서 나타난 어드레스에서 백스윙의 변화는 학습효과로 인한 고유 패턴의 변화가 발생했다고 해석할 수 있으며, 신체 동작의 변화에 의한 CoP 이동 패턴의 변화가 발생한 것으로 예측해볼 수 있다. 특히 어드레스에서 미드백스윙까지의 CoP 이동이 임팩트 정타와 관계한다는 선행연구 내용을 미루 보았을 때 CB집단 거리 향상에 어드레스 - 미드백스윙

의 CoP 이동의 변화가 의미가 있을 것이라 예상해볼 수 있어 이 부분에 대한 동작 분석이 추후 연구에서 필요할 것으로 생각된다. 또한 학습 전과 후 지면반력 작용 방향 경사도에서 미드백스윙 구간에 CB집단의 좌, 우 경사도가 양발 모두에서 학습 전과 후의 차이가 있는 것으로 나타났고, 미드다운스윙에서는 BF, BVC, CB 집단이 왼발 좌, 우 경사도에서 학습 전과 후 차이가 있는 것으로 나타났다. 지면반력 작용 방향은 수직축에 대해 작용하는 힘의 크기만을 의미하는 것이 아닌 자세 조절 능력을 포함하는 것으로서(Ball & Best, 2011; Gatt et al., 1998; McNitt-Gray et al., 2013; Okuda et al., 2010; Williams & Cavanagh, 1983) 지면반력 작용 방향 경사도의 변화는 클럽과 신체 분절 간의 제어 능력 및 힘의 조절 능력을 기술 습득으로 인해 발생한 것이라 할 수 있다. 이는 생체역학적 정보가 단서 역할과(Schmidt & Young, 1991) 더불어 자세하고 정확한 정보를 제공하여 신체 동작의 교정적 기능과 피드백으로의 역할을 한다는 선행연구 결과를 다시 한번 확인 하였다(Dabnichki & Beca, 2008; Newell & Walter, 1981; Schmidt & Young, 1991; Smith & Loschner, 2002; Zhang et al., 2019). 다만 CoP 이동

패턴의 변화나 지면반력 작용 방향의 변화가 거리 향상에 영향을 미친 것이라 할 수는 없다. 하지만, CoP 이동 패턴과 지면반력 작용 방향이 수행력에 중요한 요인이 될 수 있으며 특히, 아마추어 골퍼들의 드라이버 임팩트 정타에 어드레스에서 미드 백스윙까지의 동작이 중요한 요인이라 인식해도 무리가 없을 것으로 생각된다.

둘째, 드라이버 수행력에서 거리는 습득단계가 시행될수록 향상된 것으로 나타났지만(Figure 10a, b, c), 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 반면, 전이검사에서는 집단 간 차이가 나타났는데 CB집단의 드라이버 거리가 가장 우수한 것으로 나타났다. 클럽 헤드 스피드도 습득단계가 시행될수록 향상된 것으로 나타났지만, 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았고, 전이검사에서도 집단 간 차이는 없는 것으로 나타났다. 공 회전량은 습득단계가 시행될수록 유의하게 감소하였지만, 집단 간 차이는 나타나지 않았다. 하지만 전이검사에서는 BVC집단이 BF집단보다 우수한 것으로 나타났다(Table 6). 본 연구에서의 드라이버 거리 평균을 살펴보면 약 10m 전후로서 향상되었고, 클럽 헤드 스피드는 약 2km/h 전후로서 증가로 하였으며, 공 회전량은 약 3000rpm에 가깝게 감소하였다. 드라이버 거리에 클럽 헤드 스피드와 공 속도는 가장 높은 상관을 보이는 변인으로서 클럽 헤드 스피드 1.6km/h에 약 1~2m를 거리를 보낼 수 있다(Betzler et al., 2012; Brown et al., 2002). 하지만 드라이버 클럽 헤드 스피드가 아무리 빠르다 하여도 공 회전량에 의해 공 속도와 거리는 감소할 수 있으며, 공 회전량은 프로골퍼의 경우 약 2,500rpm에서 3,500rpm이 나타나며 비거리가 우수했을 시 약 2,700rpm 정도를 보인다(TrackMan, 2019). 공 회전량은 클럽 페이스에 공이 맞는 임팩트 타점 및 어택앵글, 다이내믹 로프트 등과 관계되는데(Knight et al., 2014; Lamb, 2012; TrackMan, 2019) 어택앵글은 클럽 헤드가 공이 타격 될 때 지면과 이루는 각도로서 적절한 체중 이동과 척추 각도 및 손목 움직임 등의 신체 동작과 밀접한 관계가 있어(Betzler et al., 2012; Joyce et al., 2014; TrackMan, 2019) 공 회전량의 감소는 임팩트 타점 및 신체 동작의 변화와 관계된다고 할 수 있다. 따라서 수행력 결과를 해석하면, 습득단계의 평균값 그래프에서(Figure 10a, b, c) 드라이버 거리 향상은 단순 헤드 스피드에 의한 결과라고 해석하기보다 신체 동작의 변화와 임팩트 타점과 관계되는 공 회전량이 적정 수준으로 감소하면서 향상된 것이라 해석할 수 있다. 이를 통해 생체역학적 정보의 제공이 단순 동영상 피드백이나 운동학 정보 또는 언어적 피드백보다 무엇을 수정해야 하는지에 대한 단서 역할을 한다는 것을(Schmidt & Young, 1991; Smith & Loschner, 2002) 본 연구 결과를 통해 다시 한번 확인할 수 있었다. 또한 전이검사에서 공 회전량 수치는 BVC 집단이 상대적으로 가장 프로골퍼의 공 회전량 수치에 근접했지만, CB집단의 드라이버 거리가 우수한 것은 공 회전량의 감소와 더불어 클럽 헤드 스피드의 향상이 영향을 미친 것이라 해석할 수 있으며 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서의 제공이 생체역학적 정보와 함께 제공될 때 학습의 효과를 더욱 극대화한다는 것을 확인하였다.

셋째, 심리적 경험보고서에 의하면 생체역학적 정보가 제공된 BF 집단과 CB 집단은 체계적이고 과학적이라는 '신뢰' 요인을 보였는데, 앞서 논의하였듯 생체역학적 정보는 자세하고 정확한 정보를 제공하고, 교정적 기능과 피드백 역할을 한다는 것을(Dabnichki & Beca, 2008; Newell & Walter, 1981; Schmidt & Young, 1991; Smith & Loschner, 2002; Zhang et al., 2019) 학습자의

심리적 반응에서도 확인할 수 있었으며, 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서가 제공된 BVC집단과 CB집단이 BF집단에 비해 '이해' 요인이 상대적으로 높은 빈도를 보였는데, Kernodle & Carlton(1992)의 연구에 의하면 동영상 피드백이나 수행과 관련한 피드백 제공 시 다른 단서가 함께 제공될 때 학습효과는 더욱 극대화된다고 하였다. 언어적 단서는 다음 수행에서 어떠한 동작의 변화를 일으켜야 하는지에 대한 정보를 언어적으로 제공하는 것으로서 단순 피드백과는 다른 성격의 정보로서(Newell et al., 1983; Ko & Seo, 2012) 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서도 다음 수행에서 어떠한 변화 시켜야 하는지 학습자의 심리적 이해를 도와 학습효과를 높인다고 할 수 있다. 따라서 생체역학적 정보와 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서의 제공은 어떻게 신체 동작을 변경해야 하는지에 대한 심리적 신뢰 및 이해를 도와 스윙 동작의 변화를 끌어내어 학습 효과를 높인다고 할 수 있다. 이는 다자유도 과제 학습에서 학습자의 신뢰 및 이해의 보강이 학습 과정의 중요한 심리적 요소로 작용할 수 있다고 해석할 수 있다.

Smith & Loschner(2002)의 연구에서 생체역학적 정보 피드백이 모든 대상자에게 긍정적인 반응을 보였지만, 생체역학적 정보가 수행자와 코치의 이해를 향상하게 하여 학습효과가 나타난 것인지, 아니면 코치의 언어가 학습효과에 영향을 미친 것인지에 대한 검증이 필요하다고 하였는데 본 연구의 심리적 반응을 살펴보았을 때 이해가 학습에 중요한 심리적 요인으로서 코치의 언어도 학습효과에 영향을 미칠 수 있다고 해석할 수 있어 현장의 코치는 학습자의 이해를 보강할 수 있는 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서의 활용이 학습에 도움이 될 것으로 보인다.

종합하면, 생체역학적 정보는 무엇을 수정해야 하는지 단서 역할과 더불어 자세하고 정확한 정보의 제공으로 학습자의 신뢰와 이해를 높여 운동학습에 효과적이라고 할 수 있으며 더 나아가 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서가 함께 제공된다면 어떻게 신체 동작을 변경할 수 있는지에 대한 심리적 신뢰와 이해를 보강하여 운동학습 효과를 더욱 극대화한다고 할 수 있다. 따라서 복잡성이 높은 다자유도 과제 학습에서 학습할 동작 특성에 대한 깊은 고찰과 함께 학습자의 신뢰와 이해를 높이는 생체역학적 정보 및 생체역학적 정보를 바탕으로 한 언어적 단서의 활용이 학습에 도움이 될 것으로 보인다. 더 나아가 생체역학적 정보가 선수나 상급자만이 아닌 중급자에게도 유효한 운동학습 방법이 될 수 있다는 것을 확인할 수 있었으며, 또한 중급자의 드라이버 거리 향상에는 클럽 헤드 스피드의 증가도 중요하지만 임팩트 정타율을 높이는 요인이 중요하다고 할 수 있어 현장의 코치는 이에 대한 이해가 도움이 될 것으로 보인다. 추가적으로 본 연구에서는 신체 동작과 심리적 요인이라는 다양한 측정 도구를 통해 다자유도 운동학습의 효과를 파악하고자 하였는데 운동학습 효과를 검증하는 데 있어 다양한 측정 도구를 활용한다면, 실제 현장에서 다루지는 다양한 종목이나 과제, 대상으로 연구의 범위를 넓힐 수 있을 것이라 여겨진다.

결론 및 제언

본 연구에서는 다자유도 과제 학습에 생체역학 정보의 제공이 학습자의 신뢰와 이해 높여 신체 동작을 변화시키고, 나아가 수행력 향상에 영향을 미치는 운동학습에 중요한 피드백과 단서 역할을 한다

는 것을 확인하였다. 따라서 다자유도 과제 운동학습에 있어 학습할 동작 특성에 대한 깊은 고찰과 함께 학습 방법에 대한 신뢰와 이해가 보장될 수 있도록 생체역학적 정보나 생체역학적 정보를 증점으로 한 언어적 단서의 제공이 필요하다. 또한 본 연구를 통해 CoP 이동 패턴이 골프 스윙 학습에 유용한 생체역학적 정보 피드백이라는 것을 확인하였다. 하지만 본 연구에서는 수행력과 전반적인 신체 움직임 변화를 살펴보기 위해 CoP 이동 패턴 도면화 분석 및 지면반력 작용 방향을 분석했기 때문에 생체역학적 정보가 실제로 스윙의 어떤 구간의 운동학적 변인의 변화가 드라이버 수행력 향상에 영향을 미쳤는지에 대한 관계는 살펴보지 못했다. 따라서 골프 스윙 학습에서 생체역학적 정보의 완전한 학습효과 규명을 위해서는 운동학적 변인에 대한 추가적 검증이 필요할 것으로 보인다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: S-Y Choi, Data curation: S-Y Choi, Formal analysis: S-Y Choi, Funding acquisition: S-Y Choi, Methodology: S-Y Choi, Project administration: S-Y Choi, Visualization: S-Y Choi, S-H Kwon, Writing-original draft: S-Y Choi, Writing-review&editing: S-Y Choi, S-H Kwon, D-W Yook

참고문헌

- Adams, J. A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3(2), 111-150.
- Adlington, G. S. (1996). Proper swing technique and biomechanics of golf. *Clinics in Sports Medicine*, 15(1), 9-26.
- Ball, K. A., Best, R. J., Dowlan, S., & Brown, D. (2002). Different weight transfer patterns in golf. *Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports (ISBS 2002)*, 192-195.
- Ball, K. A., & Best, R. J. (2007). Different centre of pressure patterns within the golf stroke II: Group-based analysis. *Journal of Sports Science*, 25(7), 771-779.
- Ball, K. A., & Best, R. (2011). Golf styles and centre of pressure patterns when using different golf clubs. *Journal of Sports Sciences*, 29(6), 587-590.
- Ball, K., & Best, R. (2012). Centre of pressure patterns in the golf swing: Individual-based analysis. *Sports Biomechanics*, 11(2), 175-189.
- Betzler, N. F., Monk, S. A., Wallace, E. S., & Otto, S. R. (2012). Variability in clubhead presentation characteristics and ball impact location for golfers' drives. *Journal of Sports Sciences*, 30(5), 439-448.
- Brown, D., Best, R., Ball, K., & Dowlan, S. (2002). Age, centre of pressure and clubhead speed in golf. In E. Thain (Ed.), *Science and golf IV* (pp. 28-34). Abingdon, UK: Routledge.
- Choi, A., Sim T., & Mun, J. H. (2016). Improved determination of dynamic balance using the centre of mass and centre of pressure inclination variables in a complete golf swing cycle. *Journal of Sports Science*, 34(10), 906-914.
- Chu, Y., Sell, T. S., & Lephart, S. M. (2010). The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Sciences*, 28(11), 1251-1259.
- Dabnichki, P., & Baca, A. (2008). *Computers in sport*. Southampton, UK: WIT Press.
- Gatt, C. J., Pavol, M. J., Parker, R. D., & Grabiner, M. D. (1998). Three-dimensional knee joint kinetics during a golf swing. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(2), 285-294.
- Joyce, C., Burnett, A., Reyes, A., & Herbert, S. (2014). A dynamic evaluation of how kick point location influences swing parameters and related launch conditions. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 228(2), 111-119.
- Kernodle, M. W., & Carlton, L. G. (1992). Information feedback and the learning of multiple-degree-of-freedom activities. *Journal of Motor Behavior*, 24(2), 187-195.
- Kim, Y.-S., & So, J.-M. (2016). An analysis of X-Factor, Triple X-Factor, and the Center of Pressure (COP) according to the feel of the golf driver swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 26(3), 265-272.
- Knight, A. C., & Lamberth, J., Galloway, R., Reynolds, N., & Luczak, T. (2014). The effect of static club head loft of a driver on golf ball launch variables and distance. *International Journal of Golf Science*, 3(2), 151-162.
- Ko, Y. G., & Seo, Y. W. (2012). The effectiveness of transitional information and video feedback on learning of a multiple-degree-of-freedom movement. *Korean Journal of Sport Psychology*, 23(4), 41-53.
- Kwon, S., Choi, J., & Yook, D. (2016). Development of a communication training program and application for a college ice hockey team. *Korean Journal of Sport Science*, 27(4), 941-956.
- Kwon, Y.-H., Como, C. S., Singhal, K., Lee, S., & Han, K. H. (2012). Assessment of planarity of the golf swing based on the functional swing plane of the clubhead and motion planes of the body points. *Sports Biomechanics*, 11(2), 127-148.
- Lamb, P. F. (2012). Understanding the relationship among launch variables in the golf drive using neural network visualisations. *Sports Biomechanics*, 11(2), 249-261.
- Lim, Y.-T. (2004). Categorization of two different swing styles using weight transfer patterns of golf swing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(2), 179-186.
- Magill, R. A. (2001). Augmented feedback in motor skill acquisition. In R. Singer, H. Hausenblas, & C. Janelle (Eds.), *Handbook of sport psychology* (2nd ed., pp. 86-114). New York, NY: Wiley.
- McNitt-Gray, J. L., Munaretto, J., Zaferiou, A., Requejo, P. S., & Flashner, H. (2013). Regulation of reaction forces during the golf swing. *Sports Biomechanics*, 12(2), 121-131.
- Newell, K. M. (1974). Knowledge of results and motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 6(4), 235-244.
- Newell, K. M. (1976). Knowledge of results and motor learning. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 4(1), 195-228.
- Newell, K. M., & Walter, C. B. (1981). Kinematic and kinetic parameters as information feedback in motor skill acquisition. *Journal of Human Movement Studies*, 7, 235-254.
- Newell, K. M., Quinn, J. T., Jr., Sparrow, W. A., & Walter, C. B. (1983). Kinematic information feedback for learning a rapid arm movement. *Human Movement Science*, 2(4), 255-269.
- Okuda, I., Gribble, P., & Armstrong, C. (2010). Trunk rotation and weight transfer patterns between skilled and low skilled golfers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(1), 127-133.
- PGA Tour. (2023). Golf stat and records: Official money. Retrieved June 23, 2023, from <https://www.pgatour.com/stats/detail/109>
- Queen, R. M., Butler, R. J., Dai, B., & Barnes, C. L. (2013). Difference in peak weight transfer and timing based on golf handicap. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2481-2486.
- Richards, J., Farrell, M., Kent, J., & Kraft, R. (1985). Weight transfer patterns during the golf swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56(4), 361-365.
- Salmoni, A. W., Schmidt, R. A., & Walter, C. B. (1984). Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, 95(3), 335-386.

- Schmidt, R. A. (1988).** *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., & Young, D. E. (1991).** Methodology for motor learning: A paradigm for kinematic feedback. *Journal of Motor Behavior*, 23(1), 13-24.
- Selicki, F. A., & Segall, E. (1996).** The mind/body connection of the golf swing. *Clinics in Sports Medicine*, 15(1), 191-201.
- Seok, R. (2021).** Developing and applying a team building program for the improvement of cohesion and communicative skills and self-examination in university basketball teams. *The Korean Journal of Growth and Development*, 29(4), 531-541.
- Smith, A. C., Roberts, J. R., Kong, P. W., & Forrester, S. E. (2017).** Comparison of centre of gravity and centre of pressure patterns in the golf swing. *European Journal of Sport Science*, 17(2), 168-178.
- Smith, R. M., & Loschner, C. (2002).** Biomechanics feedback for rowing. *Journal of Sports Sciences*, 20, 783-791.
- Swinnen, S. (1988).** Post-performance activity and skill learning. In O. G. Meijer & k. Roth(Eds.), *Complex movement behavior: The motor action controversy* (pp. 315-338). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- TrackMan. (2019).** What we track trusted by the leaders. Retrieved November 23, 2019, from <https://trackmangolf.com/what-we-track#attackangletext>
- Tsang, W. W., & Hui-Chan, C. W. (2010).** Static and dynamic balance control in older golfers. *Journal of Aging and Physical Activity*, 18(1), 1-13.
- Williams, K. R., & Cavanagh, P. R. (1983).** The mechanics of foot action during the golf swing and implications for shoe design. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(3), 247-255.
- Worsfold, P., Smith, N. A., & Dyson, R. J. (2008).** Low handicap golfers generate more torque at the shoe-natural grass interface when using a driver. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(3), 408-414.
- Zhang, X., Shan, G., Wang, Y., Wan, B., & Li, H. (2019).** Wearables, biomechanical feedback, and human motor-skills' learning & optimization. *Applied Sciences*, 9(2), 226.
- Zheng, N., Barrentine, S. W., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (2008).** Kinematic analysis of swing in pro and amateur golfers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(6), 487-493.

중급자 골프 드라이버 스윙 과제에서 생체역학적 정보의 학습효과

최송이¹, 권상현², 육동원³

¹세브란스헬스체크업

²연세대학교 체육학과 강사

³연세대학교 체육학과 교수

[목적] 본 연구 목적은 생체역학 정보(Biomechanics Information)가 드라이버 스윙 학습에 효과적인지 중급자 골퍼를 대상으로 압력중심(CoP)이동 패턴과 지면반력 작용 방향 경사도 그리고 드라이버 수행력과 학습자들의 심리적 반응을 확인하여 학습효과를 규명하는 것이다.

[방법] 본 연구 대상자는 골프 드라이버 스윙(Full swing)을 수행하는 데 어려움이 없는 오른손잡이 남자 골퍼(handicap 15~23) 32명을 선정하였으며, 생체역학 정보 피드백 집단(BF), 생체역학 정보 언어적 단서 집단(BVC), 결합 집단(CB), 통제집단(CT)으로 나누어 무선배정 하였다. 드라이버 스윙 학습은 6주 동안 그룹에 따라 정해진 피드백을 수행 직후 제공하였고, 학습 종료 일주일 후 전이검사를 실시하였다.

[결과] CoP 이동 패턴을 도면화하여 분석한 결과, 모든 집단에서 어드레스에서 탑스윙 구간의 CoP 이동 패턴의 위치가 학습 전과 비교했을 시 상대적으로 변화한 것으로 나타났고, 그 중 CB집단이 다른 집단에 비해 상대적으로 크게 변화하였다. 지면반력 작용 방향 경사도를 분석한 결과 미드백스윙에서 CB 집단의 오른발, 왼발 좌, 우 경사도가 변화하였고, 미드다운스윙 왼발 좌, 우 경사도에서 BF, BVC, CB 집단이 학습 전과 후 차이가 있는 것으로 나타났다. 하지만 CoP 이동 패턴과 지면반력 작용 방향의 변화가 수행력을 향상하게 했다고 할 수는 없다. 드라이버 거리(m), 클럽 헤드 스피드(km/h), 공 회전량(rpm)을 분석한 결과, 6주간의 습득단계에서는 통제집단을 제외한 세 집단 모두 드라이버 거리와 헤드 스피드, 공 회전량이 향상된 것으로 나타났지만, 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 반면, 전이검사에서는 집단 간 차이가 있는 것으로 나타났는데, CB집단의 드라이버 거리가 가장 우수한 것으로 나타났다. 학습과정에 대한 학습자들의 심리적 반응을 분석한 결과 신뢰, 이해, 만족감 요인이 도출되었으며, CB집단과 BVC집단의 '이해' 빈도가 BF집단에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

[결론] 종합하면, 생체역학적 정보는 골프 드라이버 스윙 수행력 향상에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, CoP 이동 패턴과 지면반력 작용 방향에 변화가 나타난 것으로 보아 생체역학적 정보는 피드백으로서 역할 및 다음 동작에서 무엇을 수정해야 하는지 단서의 역할을 한다고 할 수 있다. 또한 생체역학적 정보와 함께 언어적 단서가 제공될 때 학습자의 신뢰와 이해가 보강되어 학습효과를 더욱 높인다고 할 수 있어 생체역학적 정보를 바탕으로 한 코치의 언어도 학습에 중요한 변인이 될 수 있다고 해석할 수 있다. 추가로 본 연구를 통해 생체역학적 정보는 선수나 높은 수준의 상급자만이 아닌 중급자 운동학습에서도 충분히 활용 가능하다는 것을 확인하였다.

주요어

운동학습, 생체역학 정보, 피드백, 골프 드라이버 스윙, 중급자