

Changes in golf swing kinematic sequence after 12 weeks of reactive neuromuscular training using inertia overloading

Jong Seong An*

Seoul National University

[Purpose] We examined the influence of reactive neuromuscular training (RNT) on golf swing coordination. RNT aims to induce proper coordinative movement by exaggerating the performer's mistakes. Therefore, we applied RNT using inertia overloading to golfers who have problems with kinematic sequence during a golf swing. **[Methods]** To examine the effect of 12 weeks of RNT on golf swing coordination, we employed a ball tracking system (launch monitor) and motion analysis system (inertia sensors) were taken on four consecutive periods (pre-test and post-tests 4, 8, and 13 weeks later). Thirty Korean male cadets were divided into three groups based on inertial loading and practiced 7-iron golf swings combined with specific group tasks twice per week. **[Results]** At pre-test, most participants reached maximal angular velocity near the impact timing (95-100%). However, the deceleration timing of the maximum angular velocity of the proximal segments gradually moved toward mid-downswing as the training sessions proceeded, with the RNT group ultimately outperforming the two control groups. Additionally, the RNT group showed a significantly higher maximum angular velocity in the thorax and wrist. **[Conclusion]** Our results suggest that RNT can be sufficient to elicit and effective whole-body coordination pattern. Considerable follow-up research is needed on the use of RNT for various sports tasks and the effects of expertise on RNT results.

Key Words: Reactive neuromuscular training, Inertial loading, Kinematic sequence

서론

골프 스윙은 회전 운동이라는 특성상 중심축 유지에 필요한 효율적인 움직임을 학습해야하고 관성을 극대화하기 위해서는 신체 다분질의 유기적인 협응이 요구되는 매우 복잡한 운동 기술이다(Knight, 2004). 가령, 올바른 골반, 몸통, 손목 회전의 순차적인 협응 패턴(kinematic sequence pattern)은 골프 수행의 비거리와 정확성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(An et al., 2013; Hume et al., 2005; Okuda

et al., 2010; Tinmark et al., 2010). 그러나 이와 같은 운동 역학적 요인을 언어적으로 이해하여 실제 운동에 적용하는 것은 인간의 제한된 정보 처리 능력을 고려해 볼 때 매우 어려운 일이다. 운동학습의 피드백 관련 연구에서 수행 동작에 대한 복잡하고 과다한 정보는 학습자의 인지적인 과부하를 초래하고 운동 수행력과 학습 효과를 저하시키며, 간단하고 명료한 핵심 정보는 자동화된 동작과 학습의 효율을 극대화 하는 것으로 알려져 있다(An et al., 2013; Liao & Master, 2001; Master et al., 2002; Schmidt & Lee, 2013).

그럼에도 불구하고 골프 교육 현장의 현 실태는 숙련자와 초보자의 동작을 비교 분석하여 이해하기 어려운 복잡한 움직임을 언어적으로 설명하거나, 매 시행마다

논문 투고일 : 2017. 10. 31.

논문 수정일 : 2017. 12. 04.

게재 확정일 : 2017. 12. 29.

* 교신저자 : 안종성(dragon_josh@naver.com).

운동 수행에 대한 피드백을 지속적으로 제공하는 '주입식 교육 방식'에 노출되어 있다(Hebron, 2017). 이러한 주입식 교육은 학습자의 인지적인 과부하를 초래할 뿐만 아니라 지도자의 의존성을 증가시켜 학습의 기억에 요구되는 부호화(encoding), 유지(rehearsal), 재인(recognition) 기능이 저하된다(Ross et al., 2008). 이로 인해 최근에는 운동 기술 학습의 효율성을 높이기 위한 자기 주도 학습 환경(self-learning environment)의 중요성을 강조하며 이를 교수 학습 과정에서 이끌어내는 방법에 주목하고 있다. 특히, Patterson & Lee(2008)는 질적 연습을 추구하는 것이 필수적이라고 강조하면서 주먹구구식의 양적 반복 연습이 아닌 의식적 인지과정을 거친 오류 수정 과정을 거치는 것이 바람직하다고 보았다.

이러한 관점을 토대로 볼 때, 반응 신경계 훈련(Reactive Neuromuscular Training: RNT)은 자세 교정에 필요한 언어적인 설명을 최소화하고 동작의 오류를 학습자 스스로 탐색 및 수정하여 효율적인 움직임 학습한다는 점에서 유용하다고 할 수 있다. Voight & Cook(1996)이 처음 소개한 반응 신경계 훈련이란 외부에서 주어지는 자극을 활용하여 학습자가 자신의 오류 동작을 스스로 인지하고 자신에게 적합한 효율적인 움직임을 이끌어내게 된다는 신경학적 훈련 기법이다(Cook et al., 1999). 다시 말해서 고유 수용성 감각(proprioceptor) 피드백 정보가 풍부한 환경적 여건 속에서 학습자는 스스로 효율적 동작에 필요한 핵심 정보를 선택하여 학습한다는 것이다. 스쿼트 동작을 예로 설명하자면, 운동 수행자의 무릎 외반 현상을 수정하고자 할 때 언어적 또는 시각적인 피드백으로 자세를 교정하는 것이 아니라, 튜빙 밴드(elastic tubing)와 같은 소도구를 사용하여 잘못된 동작의 극대화를 스스로 인식하도록 하는 것이 반응 신경계 훈련의 핵심이다(Cook et al., 1999).

반응 신경계 훈련은 원래 정형 외과적이나 신경학적으로 병변이 있는 환자들의 재활 치료에 적용되었던 기법이다(Cook et al., 1999; Pittman, 2013; Seada et al., 2013). Cook et al. (1999)은 튜브 밴드와 메디슨 볼을 활용하여 십자 인대 시술을 받은 여자 대학 농구 선수의 비대칭적인 하지 근력 수준을 개선하였으며,

Pittman(2013)은 RNT 기법을 활용한 무릎 외반 동작의 개선 여부를 3차원 동작 분석을 통하여 입증하였다. 이 외에도 신경학적 병변이 있는 파킨슨병 환자의 보행 훈련 연구에서도 반응 신경계 훈련(Biodex balance system)을 실시한 집단이 언어적 설명을 받은 비교 집단에 비해 수행력이 모두 향상되었다. 더불어, 운동 기술 학습에 적용된 Cook(2010)의 수직 점프 과제와 An et al.(2016)의 수류탄 던지기 연구에서도 반응 신경계 훈련의 효과성이 제기되고 있다. 하지만 여전히 신체 협응 구조의 학습 효과를 양적으로 설명하지 못한 제한점이 있다. 그리고 다양한 운동 종목에 적용하여 RNT 기법의 운동 학습 효과를 일반화할 수 있는 선행 연구가 필요한 시점이다.

골프 스윙에서 일반적으로 나타나는 초보자의 문제점은 신체 관절의 자유도가 고정되어 스윙의 중심축이 유동적으로 이동하는 것이다(Hume et al., 2005; Lee et al., 2008). 이로 인해 신체 주요 분절의 회전 타이밍이 골반-몸통-손목의 순으로 이루어지는 것이 아니라, 불규칙적으로 역행(몸통-골반-손목 또는 손목-몸통-골반의 순)하거나, 근위 분절(골반, 몸통)이 임팩트 이전에 감속 없이 가속 회전되는 현상을 보이게 된다(Crews & Lutz, 2007; Putnam, 1993). 이에 본 연구자는 골프 다운 스윙에서 주로 가속 회전 동작이 나타나는 초보자에게 관성 과부하 원리를 활용한 반응 신경계 훈련을 접목해보고자 하였다. 이러한 원리는 운동량(F)이 질량(M)과 속도(V)의 변화에 비례한다는 가속도의 법칙($F=M \times A$)에 따라서 가속 회전 전략을 사용하는 골프 초보자에게 무게의 관성을 과부하 할 경우 신체적 불안정성이 극대화되어 중심축 유지에 필요한 감속 회전 전략을 스스로 학습하게 될 것을 가정한 것이다. 실제로 An et al.(2016)은 관성 부하 동작의 무게 차이(400g, 7kg)에 따른 신체적 불안정성을 예비 연구로 분석한 결과, 7kg 클럽벨을 활용한 관성 과부하 동작이 400g 아동용 T-bat를 이용한 최소 관성 부하 동작에 비해 신체 무게 중심(COM)과 신체 압력 중심(COP)의 이동 거리(migration distance)가 유의미하게 증가되는 기계적 효과를 확인할 수 있었다. 이에 본 연구자는 골프 스윙의 가속 회전 전략이 주로 나타나는 초보자에게 관성 과부하 원리를 접목한 반응 신경계 훈련을 통하

여 7번 아이언 골프 스윙의 협응 구조 변화를 살펴보고자 한다.

연구방법

연구대상

본 연구에서는 7kg 클럽벨을 활용하여 관성을 과부하하는 반응 신경계 훈련(RNT) 집단과 400g 아동용 T-베트를 활용하여 관성을 최소화하는 최소 관성 부하 훈련 집단, 그리고 추가적 세부 훈련이 없는 통제 집단으로 구분하여 각 집단별로 10명씩, 총 30명의 피험자가 참여하였다. 모든 집단은 서울시 소재 K 사관학교에 재학 중인 20대 남자 생도로서 골프 수업을 1학기 수료하여 7번 아이언 풀스윙 과제를 수행할 수 있는 초보자를 대상으로 구성하였다. 모든 피험자는 엄격한 규율과 관련된 학기 일정에 따라 규칙적인 생활 패턴을 나타내는 집단이며, 골프 스윙 예비 교육에서의 사전 검사를 통하여 극단적인 수행력 차이를 나타내는 피험자는 실험 대상에서 제외하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of participants

Group	N	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
RNT (inertia overloading)	10	20.6±1.5	176±3.5	70±6.4
Minimum inertia loading	10	20.9±2.1	176±4.5	70.6±8.1
Control	10	21.7±1.5	175.6±4	67.7±4.6

실험도구

본 실험에서는 신체 주요 관절의 협응 구조 변화 과정을 살펴보기 위해 모든 피험자에게 IMU(Inertial Measurement Unit) 관성 센서를 골반, 몸통, 왼 손목에 부착한 상태로 7번 아이언 풀스윙 과제를 실시하였다. 스윙 동작으로 인한 관성 센서의 이동을 최소화하기 위해 벨크로(velcro)를 활용한 추가적인 고정점을 제공

하였으며, 측정 정확도와 일관성을 유지하기 위해 매 스윙 전, 센서의 캘리브레이션(calibration)을 실시하였다. 또한 IMU 관성 센서의 특성을 고려하여 자성체가 최대한 배제된 실내 골프 영상 분석실에서 측정이 이루어졌다. 그리고 골프 수행에 대한 비행 거리와 방향오차는 공 추적 장비를 사용하였다. 각 실험 도구를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

공 추적 장비 (Launch monitor)

7번 아이언 풀스윙 과제에 대한 공의 비행과 클럽의 정보를 기록하기 위해 골프존사에서 제작한 런치 모니터(3D doppler ball tracking monitor; GDR: Golfzone Driving Range)를 사용하였다. GDR 런치 모니터는 클럽 움직임에 관련된 정보와 공의 비행에 관련된 정보를 모니터에 수치화시켜 보여주는데 단순히 공의 비행에 관련된 정보만 알려주는 것이 아니라 수행의 정확성과 전체 거리, 그리고 공의 스피드와 백스핀 양 등의 광범위한 정보를 알려주는 장비이다(Fig. 1).



Fig. 1. Launch monitor (Golfzone Driving Range)

골프 스윙 동작 분석 시스템

반응 신경계 훈련에 따른 골프 스윙의 협응 구조 변화를 도출하기 위해 사용된 3차원 동작 분석 장비(Golfzon; Presor)는 IMU 무선 관성 센서(Inertia Measurement Unit)이다(Fig. 2). 신체의 주요 세 부위(골반(천골), 몸통(요추 3~4번), 손목(왼손등))에 부착하여 관절의 각도 및 각속도를 측정하는 장비로서 촬영 속도는 125Hz이다. 각각의 센서는 RF채널을 통해 동기화되어(synchronization)있으며 스윙에 대한 신체 협응 패턴(kinematic sequence pattern), 골반-

몸통 분리(X-factor), 상체 기울기, 스윙 템포 등을 분석하여 결과값을 실시간으로 산출해낸다. 본 연구에 활용하는 신체 협응 패턴은 골반, 몸통, 왼 손목의 각속도 타이밍을 기반으로 산출된 분절의 감속 시퀀스 (deceleration sequence) 타이밍을 의미한다.

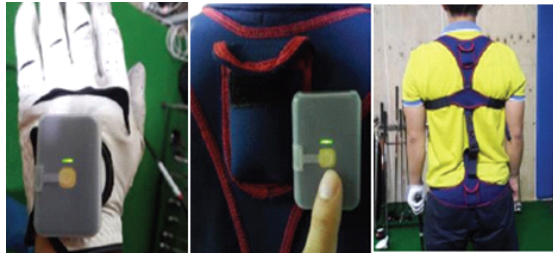


Fig. 2. Kinematic analysis system (IMU sensor)

연구절차

본 실험은 사전 평가, 사후 평가(3차), 본 훈련(12주)을 포함하여 총 14주간 진행되었는데 모든 피험자는 실험에 참여하기 전, 골프 스윙의 기초와 원리에 관한 간단한 예비 교육(3시간)을 받았다. 사전 평가는 본 훈련이 시작되기 1주일 전에 이루어졌으며, 사후 평가는 1~3차로 구분하여 진행되었다(사후 1차: 4주, 사후 2차: 8주, 사후 3차: 13주). 매주 2회에 걸쳐 실시된 본 훈련에서 1회는 골프 스윙 훈련과 집단별 세부 훈련을 병행하여 실시하였으며, 또 다른 1회는 정규 골프 수업

3일 후에 30분간의 집단별 세부 훈련을 추가적으로 진행하였다(Table 2).

집단별 세부 훈련에서 반응 신경계 훈련 집단은 7kg 클럽벨을 활용한 관성 과부하 동작을 실시하였고 최소 관성 부하 훈련 집단은 400g 이동용 T-배트를 활용하여 동일한 관성 부하 동작을 수행하였다. 마지막으로, 통제 집단은 골프 스윙 실습 이후, 추가적인 훈련 효과의 가능성을 배제하기 위해 골프 스윙과 관련이 없는 시청각 자료(군사 훈련 영상)를 관람하도록 하였다. 관성 부하 동작은 CST(circular strength training) 공식 클럽벨 협회에서 제시한 3가지 기본 동작(swipe, mill, hammer)을 기반으로 재구성되었는데, 시상면에서 실시하는 Swipe동작과 관상면에서 이루어지는 Mill동작은 한 손으로 이루어지며, Hammer동작은 양 손으로 쥐고 실시하게 된다(Fig. 3). 실습 간에 피로가 누적되지 않도록 세트 간 휴식시간은 3~5분으로 하되 개인 컨디션에 따라 추가 시간을 부여하였다.

자료 분석

본 연구에서 종속 변인은 골프 수행력(비행 거리, 방향 오차)과 신체 협응 패턴(최대 각속도, 최대 각속도 시점)이다. 신체 협응 패턴은 7번 아이언 풀스윙 동작에서 다운 스윙 구간(백스윙 탑~임팩트)을 분석하였다. '백스윙 탑'은 다운스윙 이전 3개의 분절(골반, 몸통, 손목)중 하나가 목표 방향(global x축)으로 회전이 이루어

Table 2. Experimental procedure

Weeks	Test	RNT (inertia overloading)	Minimum inertia loading	Control
0	Pre-test		Golf swing orientation	
1				
2				
3				
4	Post-test 1			
5				
6				
7		(40 full swings + inertia loading task		(40 golf full swing +
8	Post-test 2	[5 front swings + 5 side swings + 5 hammer swings]) × 5 sets		military training video clip) × 5 sets
9				
10				
11				
12				
13	Post-test 3			

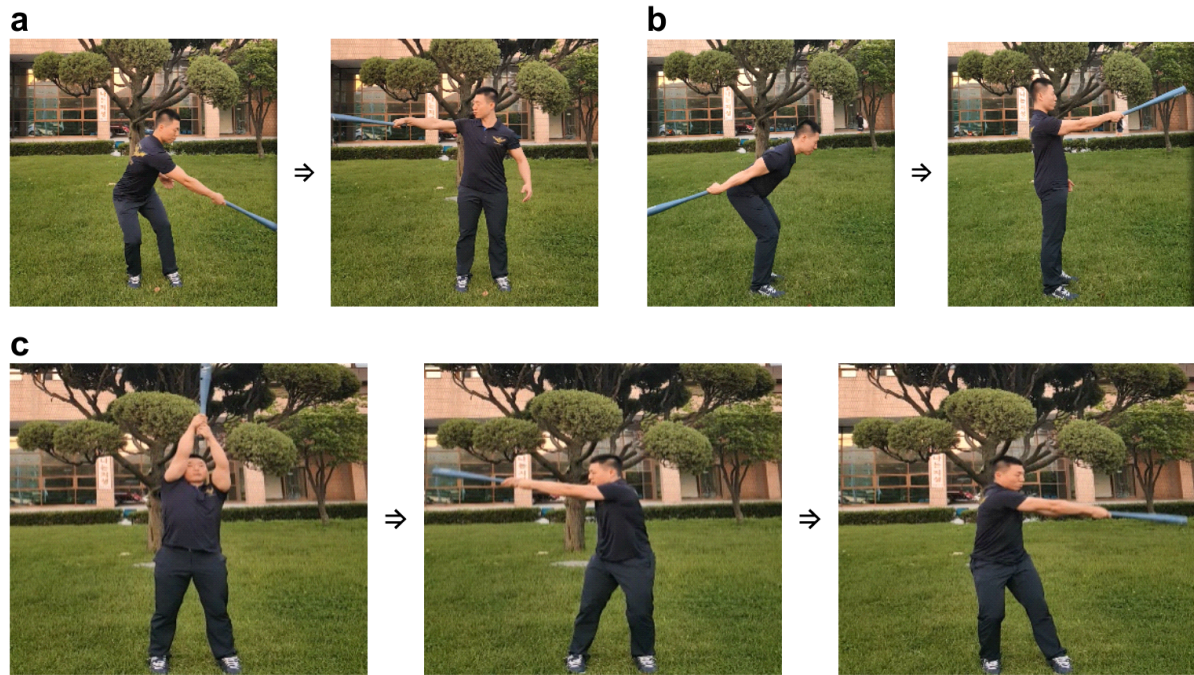


Fig. 3. Demonstration of inertial loading tasks.

a. *Side swing. Demonstration: Swing the clubbell until it reaches shoulder height in the frontal plane of the body with each hand; b. *Front swing. Demonstration: Swing the clubbell until it reaches shoulder height in the sagittal plane with each hand; c. *Hammer swing. Demonstration: Swing the clubbell in a 360-degree arc in the frontal plane with both hands.

어지는 최초 시점으로 구분하였으며, ‘임팩트’는 타격으로 인해 손목 센서의 충격량이 급격히 변화하는 시점으로 정의하였다(Tinmark et al., 2010). 골프 수행의 비행 거리(m)는 타구 시점으로부터 공이 비행하여 지면에 떨어지는 지점까지로 분석하였으며, 방향 오차는 중앙으로부터 좌·우 방향으로 벗어난 절대 거리 오차(m)를 통하여 분석하였다(An et al., 2013; Neal et al., 2008). 초보자의 비일관된 수행 특성을 고려하여 자료 분석은 각 평가 시기별 10회의 수행에서 비거리 상위 3개의 스윙을 분석하였다.

훈련 집단과 평가시기에 따른 비행 거리, 방향 오차, 신체 협응 패턴을 비교하기 위하여 반복 측정 이원 분산 분석(two-way ANOVA with repeated measure)을 실시하였다. 훈련 집단과 연습시행에 따른 상호작용 효과가 있을 경우에는 각 수준별 일원 변량 분석(one-way ANOVA)을 통하여 단순 주 효과(simple main effect) 검증을 실시하였으며, Tukey HSD 사후

검증을 통하여 집단간에 나타나는 유의미한 차이를 추가적으로 살펴보았다.

연구결과

골프 수행력

비행 거리

반응 신경계 훈련 집단은 사전 검사에 비해 사후 1(30.4%), 사후2(44.8%), 사후3(49.03%)의 향상률을 보였으며, 최소 관성 부하 훈련 집단은 사후 1(19.71%), 사후2(29.75%), 사후3(31.52%), 통제 집단은 사후1(5.96%), 사후2(25.61%), 사후 3(26.31%)의 비행 거리 향상을 나타내었다(Fig. 4).

훈련 집단에 따른 주 효과가 나타난 것을 알 수 있으며 [$F(2, 27) = 6.393, p < .01$], Tukey HSD 사후검정을 통하여 반응 신경계 훈련 집단이 최소 관성 부하 훈련 집단이나 통제집단에 비해 수행력이 향상되었음을 확인할 수 있었다($p < .05$). 또한 평가시기에 따른 주 효과가 나타났으며 [$F(1, 27) = 84.544, p < .001$], 훈련 집단과 평가시기에 따른 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타났다 [$F(2, 27) = 4.171, p < .05$]. 평가 시기와 훈련 집단에 따른 차이를 보다 구체적으로 살펴보기 위하여 평가시기에 따른 일원 분산 분석을 실시하였다. 분석 결과, 사후 1차 평가의 학습 초기 단계에서부터 집단간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며 [$F(2, 27) = 7.071, p < .01$], 사후 2차와 3차에서도 비행 거리 수행에 대한 차이를 통계적으로 확인할 수 있다(사후 2: $F(2, 27) = 6.588, p < .01$; 사후 3: $F(2, 27) = 8.165, p < .01$).

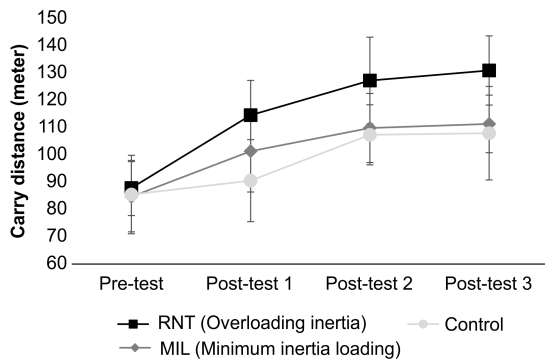


Fig. 4. Carry distance

방향 오차

반응 신경계 훈련 집단은 사전 검사에 비해 사후 1(-12.1%), 사후2(-14.5%), 사후3(-9.21%)로 비행 거리 향상에 따른 방향 오차 거리가 유지되거나 미세하게 줄어드는 경향성을 보였지만, 최소 관성 부하 훈련 집단은 사후1(40.99%), 사후2(55.69%), 사후3(46.16%), 통제집단은 사후1(20.99%), 사후2(52.95%), 사후3(50.34%)로 학습 초기 단계인 사후 1차 평가에서부터 비행 거리 향상에 따른 방향 오차가 급격히 증가되었다(Fig. 5).

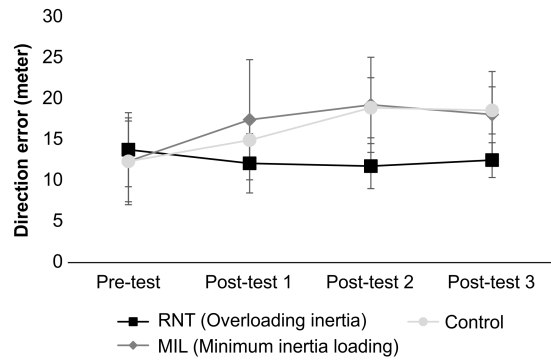


Fig. 5. Accuracy (direction error)

훈련 집단에 따른 주 효과가 나타났으며 [$F(2, 27) = 4.482, p < .05$], Tukey HSD 사후검정을 통하여 반응 신경계 훈련 집단이 최소 관성 훈련 집단에 비해 수행력이 향상되었음을 확인할 수 있었다($p < .05$). 평가시기에 따른 주 효과가 나타났으며 [$F(1, 27) = 8.338, p < .001$], 훈련 집단과 평가시기에 따른 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타났다 [$F(2, 27) = 4.763, p < .01$]. 평가 시기와 훈련 집단에 따른 차이를 보다 구체적으로 분석한 결과, 사후 2차 평가에서부터 집단간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며 [$F(2, 27) = 9.762, p < .01$], 사후 3차에서도 방향 오차에 대한 차이를 통계적으로 확인할 수 있었다 [$F(2, 27) = 8.440, p < .01$].

신체 협응 패턴

최대 각속도

골반

세 집단 모두 12주 훈련에 따라 골반 최대 각속도가 향상되는 경향성을 보였지만, 훈련 집단간에 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다. 평가 시기에 대한 주효과가 나타났으며 [$F(1, 27) = 13.151, p < .001$], 훈련 집단에 따른 주효과는 경계선상의 유의성을 보였다 [$F(2, 27) = 3.257, p = .054$]. 그러나 평가 시기와 훈련 집단에 따른 상호작용 효과는 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다 [$F(2, 27) = 1.693, p > .05$]. 골반 최대

각속도에 대한 결과를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다 (Fig. 6a). 반응 신경계 훈련 집단이 최소 관성 부하 훈련 집단과 통제 집단에 비해 학습 초기 단계에서부터 골반 회전 속도가 더욱 향상되는 수행 곡선을 나타내었으며, 비교 집단은 비교적 완만하고 서로 유사한 수행 곡선을 보였다.

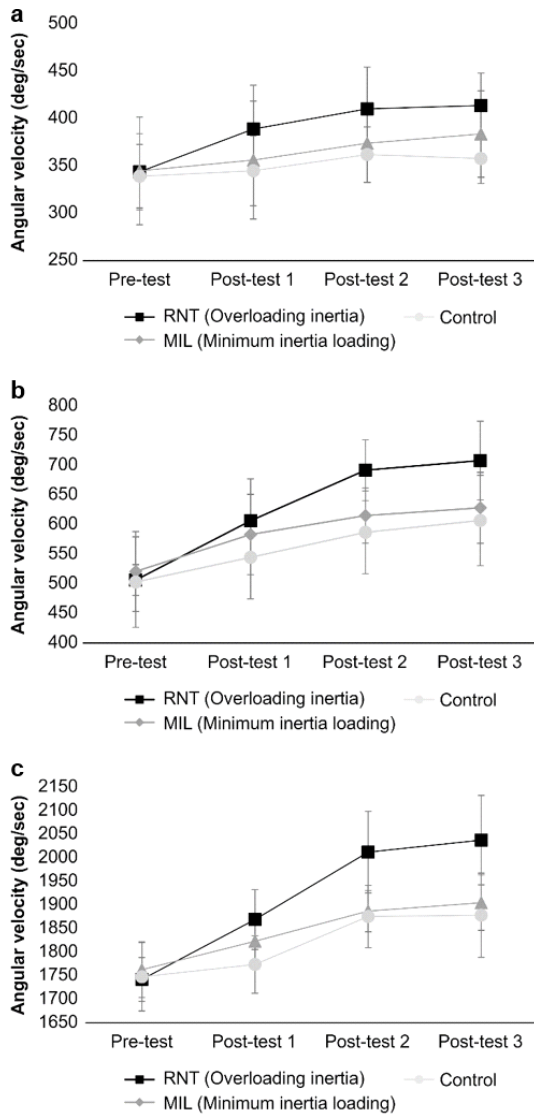


Fig. 6. Maximum angular velocity
* Graph (a :pelvis, b :trunk, c :wrist)

몸통

사전 검사에 대한 몸통 최대 각속도의 향상도 측면에서 볼 때, 사후 1차까지는 훈련 집단간에 유사한 수행 곡선을 보이지만, 사후 2차와 사후 3차에서 반응 신경계 훈련 집단의 몸통 회전 속도가 압도적으로 증가되는 결과를 확인할 수 있다(Fig. 6b). 훈련 집단에 따라서 주효과가 나타났으며($F(2, 27)=3.749, p < .05$), Tukey HSD 사후검정을 통하여 RNT집단이 최소 관성 부하 훈련 집단과 통제집단에 비해 수행력이 향상되었음을 확인할 수 있었다($p < .05$). 또한 평가시기에 따른 주효과가 나타났으며($F(1, 27)=89.312, p < .001$), 훈련 집단과 평가시기에 따른 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타났다($F(2, 27)=5.625, p < .01$). 평가시기와 훈련 집단에 따른 차이를 보다 구체적으로 분석한 결과, 사후 2차 평가에서부터 집단간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며($F(2, 27)=9.143, p < .01$), 사후 3차에서도 몸통 최대 각속도에 대한 통계적 유의미한 차이를 확인할 수 있었다($F(2, 27)=6.166, p < .01$).

손목

골프 스윙에서 클럽헤드 스피드와 밀접한 관계가 있는 손목 최대 각속도는 본 연구의 비행 거리 수행 곡선과 유사한 결과 양상을 보이고 있으며 훈련이 진행됨에 따라 손목 회전 각속도가 증가한다는 것은 세 집단 모두 동일하다. 하지만 최종적(사후 3차)으로 볼 때 반응 신경계 훈련 집단은 약 300deg/sec의 향상도를 보이지만, 최소 관성 부하 집단은 약 140deg/sec, 그리고 통제집단은 약 130deg/sec으로 비교 집단에 비해 약 두 배 이상의 손목 회전 속도 향상을 나타낸다는 것을 확인할 수 있다(Fig. 6c).

감속 회전 타이밍

본 연구의 감속 회전 타이밍은 개인의 다운스윙 구간(백스윙 탑(0%)–임팩트(100%))을 백분율하여, 백스윙 탑에서부터 각 분절의 최대 각속도 시점까지의 시간을 분석하였다. 골반, 몸통, 손목의 감속 회전 타이밍은 각 분절의 최대 각속도 시점을 의미하며, 이에 대한 결과는 다음과 같다.

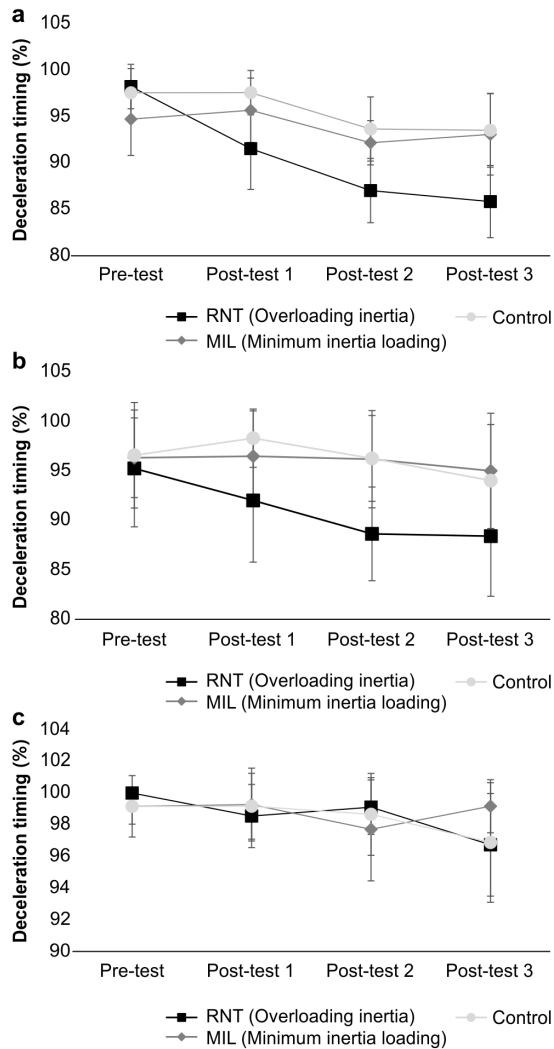


Fig. 7. Deceleration timing of rotation

* Graph (a) :pelvis, b :trunk, c :wrist)

골반

골반의 감속 회전 타이밍에 대한 결과는 다음과 같다 (Fig. 7a). 최소 관성 부하 집단과 통제 집단은 평가 시기에 따라 유사하고 완전한 수행곡선을 나타내는 반면, 반응 신경계 훈련 집단은 사후 1차 평가에서부터 지속적으로 단축되는 급격한 수행 곡선을 보이고 있다. 훈련 집단에 따른 주효과가 나타났으며 ($F(2, 27)=13.661, p<.001$), Tukey HSD 사후검정을 통하여 RNT집단이 최소 관성 부하 훈련 집단과 통제 집단에 비해 감속 회전

타이밍이 단축되는 것을 확인할 수 있었다 ($p<.01$). 평가 시기에 따른 주효과가 나타났으며 ($F(1, 27)=26.998, p<.001$), 훈련 집단과 평가시기에 따른 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타났으며 ($F(2, 27)=6.253, p<.001$). 평가 시기와 훈련 집단에 따른 차이를 보다 구체적으로 분석한 결과, 사후 1차 평가의 학습 초기 단계에서부터 집단간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며 ($F(2, 27)=7.717, p<.01$), 사후 2차와 사후 3차에서도 골반 감속 회전 타이밍에 대한 통계적 유의미한 차이를 확인할 수 있었다 (사후2: $F(2, 27)=12.291, p<.001$; 사후3: $F(2, 27)=11.126, p<.001$).

몸통

몸통의 감속 회전 타이밍에 대한 결과는 다음과 같다 (Fig. 7b). 최소 관성 부하 집단과 통제 집단은 평가 시기에 따라 전체적으로 유지되는 수행곡선을 나타내는 반면, 반응 신경계 훈련 집단은 사후 평가 2차시기까지 감속 회전 타이밍이 지속적으로 단축되고, 사후 3차 평가에는 점차 유지되는 경향성을 보였다. 훈련 집단에 따른 주효과가 나타났으며 ($F(2, 27)=5.935, p<.01$), Tukey HSD 사후검정을 통하여 RNT집단이 최소 관성 부하 훈련 집단과 통제 집단에 비해 감속 회전 타이밍의 유의미한 차이를 확인할 수 있었다 ($p<.05$). 평가 시기에 따른 주효과가 나타났으며 ($F(1, 27)=5.266, p<.01$), 훈련 집단과 평가시기에 따른 상호작용 효과는 통계적으로 경계선상의 유의수준을 나타내었다 ($F(2, 27)=1.784, p=.073$). 평가 시기와 훈련 집단에 따른 차이를 보다 구체적으로 분석한 결과, 사후 1차 평가의 학습 초기 단계에서부터 집단간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며 ($F(2, 27)=4.584, p<.05$), 사후 2차와 사후 3차에서도 몸통 최대 각속도 시점에 대한 통계적 유의미한 차이를 확인할 수 있었다 (사후2: $F(2, 27)=8.803, p<.01$; 사후3: $F(2, 27)=3.690, p<.01$).

손목

(Fig. 7c)과 같이 훈련집단과 평가시기에 따른 감속 회전 타이밍의 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 평가 시기에 따른 주효과가 있었으며 ($F(1, 27)=3.328, p<.05$), 훈련 집단에 따른 주효과는 나타나지 않았다 ($F(2, 27)=.266, p>.05$). 또한 훈련 집단과 평가시

기에 따른 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다($F(2, 27) = 1.544, p > .05$). 이는 세 집단의 손목 감속 회전 타이밍이 훈련이 진행됨에 따라 점차 앞당겨지고 있음을 의미하고 있다.

분절 간 순차적 협응 패턴

분절 간의 순차적인 협응 패턴에 대한 손목 각속도의 상관관계를 분석하기 위해 평가시기에 따른 협응 패턴 & 손목 각속도의 산점도 그래프를 살펴보았다(Fig. 8).

순차적 협응 패턴은 골프 다운 스윙에서 골반(pelvis), 몸통(thorax), 손목(wrist)간의 감속 회전 타이밍 순서를 의미한다. 이때, 감속 회전의 타이밍 순서가 골반-몸통-손목의 순으로 이루어질 경우 123으로 명시하였으며, 122는 골반 회전 이후 몸통과 손목이 동시에 회전이 이루어졌음을 의미한다. 분석 결과, 반응 신경계 훈련 집단은 학습 초기 단계에서 나타났던 분절 간의 동시 회전 패턴(111, 122, 113, 212)이 훈련이 진행됨에 따라 점차 132, 213, 123으로 변화하는 반면, 최소 관성 부하 훈련 집단과 통제 집단은 학습 초반에 나타났던 각 분절의 동시 회전 현상이 미세하게 감소하거나 유지되는 경향을 보였다. 학습 후반으로 갈수록 반응 신경계 훈련 집단은 213(몸통-골반-손목)과 123(골반-몸통-손목)의 협응 전략을 학습하였지만, 최소 관성 부하 훈련 집단과 통제 집단은 가장 이상적 협응 패턴으로 알려진 PSD 협응 전략을 활용하지 못하는 것을 알 수 있다. 특정 협응 전략에 따른 손목 각속도 차이는 관측되지 않았지만, 반응 신경계 훈련 집단이 최소 관성 부하 훈련 집단과 통제 집단에 비해 압도적으로 높은 손목 최대 각속도 수치를 나타내고 있다.

논 의

본 연구 결과에서는 관성 과부하 원리를 활용한 반응 신경계 훈련이 골프 스윙의 감속 회전 동작을 학습하는데 효과적인 것으로 나타났다. 이로 인해 골프 수행의 비행 거리와 정확성, 그리고 분절(골반, 몸통)의 최대 각속도에도 긍정적인 영향을 미치게 되었다. 본 논의에서는 연구 결과가 지니는 의미에 대해 설명하고자 한다.

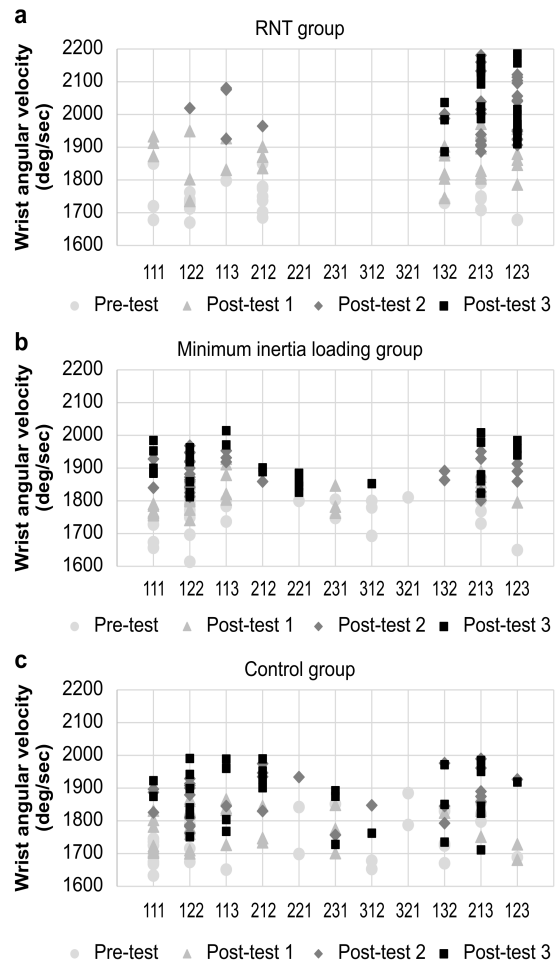


Fig. 8. Kinematic sequence and wrist angular velocity
*First digit: Pelvis rotation sequence; Second digit: Thorax rotation sequence; Third digit: Wrist rotation sequence

초보자들의 골프 스윙에서 주로 나타나는 가속 회전 전략을 이해하기 위해서는 Putnam(1993)이 제시한 근위-원위 협응 패턴(proximal to distal sequence pattern; PDS)에 대해 주목할 필요성이 있다. 신체 주요 분절(골반, 몸통, 손목)의 최대 각속도 시점으로 분석이 이루어지는 PDS 패턴은 인체 다관절의 상호 작용을 이끌어내어 회전의 관성 에너지를 극대화하는 것으로 알려져 있다. 숙련자의 경우 각 분절의 자유도가 분리되고 임팩트 이전 회전의 가속과 감속이 적절히 이루어지는 반면, 초보자는 경직된 관절과 근육으로 인해 자유도가 고정되어 분절들이 동시에 가속 회전하는 경향성을

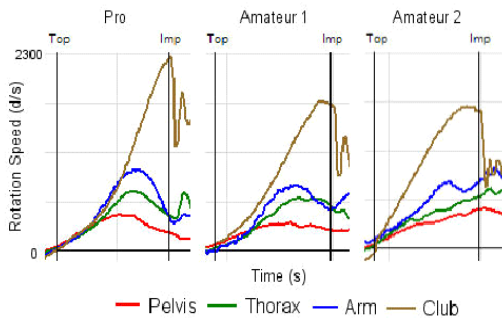


Fig. 9. Kinematic sequence of different expertise

보이게 된다(Crews & Lutz, 2007, <Fig. 9> 참조). 이 시점에서 우리는 클럽 헤드의 최대 스피드를 이끌어 내기 위한 근위 분절의 최적 감속 회전 시점이 언제인지 의문을 제기하게 된다.

골프 스윙과 유사한 원리로 행해지는 던지기나 차기 과제에서 숙련자는 다운스윙 구간(백스윙 탑 ~ 임팩트)의 약 60%시점에서 근위 분절의 감속 회전이 이루어진다(Dunn & Putnam, 1988). 그러나 기술수준이 낮을수록 자유도가 고정되어 가속 회전 전략이 나타나기 때문에 감속 회전이 임팩트 시점(100%)에 가깝게 발생되는 것이다. 본 연구에서도 훈련 이전 단계인 사전 검사에서는 대다수의 피험자들이 골반과 몸통의 감속 회전 시점이 임팩트 순간에 가까운 90~100% 지점에서 발생되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 훈련이 진행됨에 따라 세 집단 모두 감속 회전 타이밍이 점차 앞당겨지는 경향을 보였으며, 관성 과부하 동작을 실시한 반응 신경계 훈련 집단의 최대 각속도 시점이 압도적으로 단축되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 반응 신경계 훈련 집단이 관성 극대화에 요구되는 감속 회전 전략을 효과적으로 학습하였으며, 결국 골프 수행력(비행 거리, 방향 오차)과 분절 최대 각속도가 비교 집단에 비해 통계적으로 유의미하게 향상되었음을 시사하고 있다.

특히, 본 연구의 방향 오차에서 나타난 결과는 반응 신경계 훈련 집단이 골프 수행의 파워 뿐만 아니라 정확성 측면에서도 긍정적인 효과를 제공하는 점을 알 수 있다. 실제로 Tinmark et al.(2010)의 연구에서도 정확성이 요구되는 골프 피칭 과제에서 숙련자의 PDS 협응 전략이 유의하게 나타내면서 골프 수행의 정확도와 밀접한 상관

관계가 확인되었다. 즉, 반응 신경계 훈련 집단이 근위 분절의 감속 회전 전략을 학습함에 따라 신체 다관절의 효율적인 상호작용으로 인해 클럽 페이스 조절 능력이 개선된 것으로 해석할 수 있다(Hirashima et al., 2007; Tinmark et al. 2010). 왜냐하면 골프 스윙 아크의 중심축을 왼쪽 어깨로 가정했을 때 임팩트 시점에서 몸통이 감속 동작 없이 계속 가속된다면 열린 클럽 페이스 각도가 어깨 축을 중심으로 닫힘 동작이(face closing)이루어지기 어렵기 때문이다(Kelly, 1982). 이러한 현상은 초보자들이 학습 초반에 타구가 오른쪽으로 휘어지는 슬라이스 구질을 주로 나타내게 되는 원인이기도 하다. 이러한 클럽 페이스의 열린-닫힘 동작은 타구의 충격량을 증가시켜 비거리 수행을 극대화할 뿐만 아니라, 수행의 방향성 측면에도 중요한 영향을 미치게 되는 것이다.

기존의 많은 선행연구에서 이루어진 PDS 협응 패턴에 대한 분석은 대부분 기술수준에 따라 나타나는 분절간의 순차적인 회전 타이밍에 관심을 두고 이루어져 왔다(Furuya & Kinoshita, 2007; Hirashima et al., 2007; Neal et al., 2008; Tinmark et al., 2010; Vena et al., 2011). 그러나 본 연구에서 나타난 결과는 초보자의 PDS 패턴을 정확히 분석하기 위해 근위 분절에서 원위 분절의 순으로 이어지는 순차적인 회전 타이밍 뿐만 아니라, 이 시점이 언제 발생하는지에 대한 분석이 동시에 이루어져야 함을 암시하고 있다. 그 이유는 세 집단 모두 학습의 초기 단계인 사전 검사와 사후 검사 1에서도 일부 스윙에서 골반-몸통-손목의 순(PDS 패턴)으로 숙련자의 회전 타이밍이 나타났기 때문이다(<Fig. 8> 참조). 그러나 전반적으로 반응 신경계 훈련 집단은 훈련이 진행됨에 따라 분절간의 동시 회전 현상이 점차 분리되는 양상을 보였으며, 비교 집단은 사전 검사에서 나타났던 회전 타이밍 순서가 일정하게 유지되는 경향을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 반응 신경계 훈련 집단이 이상적인 PDS 패턴에 요구되는 자유도 분리 동작을 효과적으로 학습하였음을 제시하고 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 관성 과부하 원리를 활용한 12주간의

반응 신경계 훈련에 따라서 변화하는 골프 수행력과 신체 협응 패턴을 살펴보고자 하였다. 분석을 통하여 반응 신경계 훈련 집단이 근위 분절의 감속 회전 동작을 효과적으로 학습함으로써 인하여 각 분절의 최대 각속도가 증가되었으며, 이는 골프 수행의 비행 거리와 방향 오차에 긍정적인 영향을 미치게 되었음을 알 수 있었다. 학습자의 잘못된 자세를 교정하기 위해 올바른 동작만을 강조하여 설명하는 주입식 교육은 지도자의 의존성을 높일 뿐만 아니라 자칫 잘못 해석할 경우, 동작의 자연스러운 협응 구조를 무너트리는 상황으로 이어질 가능성이 높다. 지도자는 동작의 오류 극대화를 통하여 학습자 스스로가 올바른 협응 구조를 찾아갈 수 있도록 유도해야 할 것이다. 앞으로 더욱 창의적이고 과학적인 분석 방법을 다양한 운동 종목과 기술수준에 접목하여 반응 신경계 훈련 기법에 대한 이론적 배경을 뒷받침하는 많은 후속연구를 기대한다.

본 연구에서는 동작의 오류 극대화를 목적으로 하는 반응 신경계 훈련을 위해 CST 클럽벨 협회에서 성인 남성에게 권장하는 무게 기준(남성 7kg, 여성 5kg)을 참고하였다. CST 클럽벨은 2.5kg~15kg 까지 다양한 무게로 설계되었으며 개인의 신체적 특성과 훈련 목적에 알맞게 선택할 수 있다. 본 실험이 반응 신경계 훈련의 초기 연구라는 점을 감안하여 최소 관성 부하 동작(400g)의 효과와 비교하였지만, 앞으로는 다양한 무게(2.5kg, 5kg, 10kg 등)에 대한 기계적 효과 검증(오류 극대화)을 통해 반응 신경계 훈련으로 가장 효과적인 무게를 규명하는 후속 연구도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- An, J. S., Kim, S. J., Suh, S. H., Lee, S. W., Sung, H. Y., & Lee, S. M. (2016). The influence of 6 weeks reactive neuromuscular training (RNT) on hand grenade throw performance and qualitative motion analysis. *The Korean Journal of Physical Education*, 55(6), 145-156.
- An, J. S., Wulf, G., & Kim, S. J. (2013). Increased carry distance and X-factor stretch in golf through an external focus of attention. *Journal of Motor Learning and Development*, 1, 2-11.
- Cook, G., Burton, L., & Fields, K. (1999). Reactive neuromuscular training for the anterior cruciate ligament-deficient knee: a case report, *Journal of Athletic Training*, 34(2), 194-201.
- Cook G. (2010). *Movement: Functional Movement Systems: Screening, Assessment, and Corrective Strategies*. On Target Publications: Aptos, CA.
- Crews, D., & Lutz, R. (2007). Comparison of kinematic sequence parameters between amateur and professional golfers. *Science and Golf*, 5, 30-36.
- Dunn, E. G., & Putnam, C. A. (1988). The influence of lower leg motion on thigh deceleration in kicking. *Biomechanics XI-B*, 787-790.
- Furuya, S., & Kinoshita, H. (2007). Roles of proximal-to-distal sequential organization of the upper limb segments in striking the keys by expert pianists. *Neuroscience Letters*, 421, 264-269. doi:10.1016/j.neulet.2007.05.051
- Hebron, M. (2017). *Learning with the brain in mind: Mind sets before skill sets*. Smithtown, NY: Learning Golf Inc.
- Hirashima, M., Kudo, K., Watarai, K., and Ohtsuki, T. (2007). Control of 3D limb dynamics in unconstrained overarm throws of different speeds performed by skilled baseball players. *Journal of Neurophysiology*, 97, 680-691.
- Hume, P., Keogh, J., & Reid, D. (2005). The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, 35(5), 429-449.
- Kelly, H. (1982). *The golfing machine* (6th ed.). The golfing machine LLC: Beaverton, Oregon.
- Knight, C. A. (2004). Neuromotor issues in the learning and control of golf skill. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75(1), 9-15.
- Lee, T. D., Ishikura, T., Kegel, S., Gonzalez, D., & Passmore, S. (2008). Head-putter coordination patterns in expert and less skilled golfers. *Journal of Motor Behavior*, 40(4), 267-272.
- Liao, C & Master, R (2001). Analogy learning: A means to implicit motor learning. *Journal of Sports Sciences*, 19, 307-309.
- Master, R., Law, J., & Maxwell, J. (2002). *Implicit and explicit learning in interceptive actions*. In K. Davids, G. Savelsbergh, S. J. Bennett, & J. van der Kamp (Eds.), *Interceptive actions in sport: Information and movement* (pp. 126-143). London: Routledge.
- Neal, R., Lumsden, R., Holland, M., & Mason, B. (2008). Body segment sequencing and timing in golf. *Annual*

- Review of Golf Coaching*, 25-36.
- Okuda, I., Gribble, P., & Armstrong, C. (2010). Trunk rotation and weight transfer patterns between skilled and low skilled golfers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 127-133.
- Patterson, J. T., & Lee, T. D. (2008). Organizing practice: The interaction of repetition and cognitive effort for skilled performance. *Developing sport expertise: Researchers and coaches put theory into practice*, 119-134.
- Pittman, M. (2013). *Biomechanical Differences at the knee after two types of hip abductor training: Traditional vs. Reactive neuromuscular training*. California State University, Fullerton.
- Putnam, C. A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, 26(1), 125-135.
- Ross, M., Blatz, C. W., & Schryer, E. (2008). Learning and memory: a comprehensive reference. *Learning and Memory: A Comprehensive Reference*, 2, 911-926.
- Schmidt, R., & Lee, T. (2013). *Motor Learning and performance*, 5E with web study guide: from principles to application. Human Kinetics.
- Seada, Y., Elsayed, E., & Talat, W. (2013). Impact of reactive neuromuscular training on falling in parkinson's disease. *Indian Journal of Physiotherapy & Occupational Therapy*, 7(2), 65-70.
- Tinmark, F., Hellstrom, J., Halcorsen, K., & Thorstensson, A. (2010). Elite golfers' kinematic sequence in full-swing and partial-swing shots. *Sports Biomechanics*, 9(4), 236-244.
- Vena, A., Budney, D., Forest, T., & Carey, J. P. (2011). Three-dimensional kinematic analysis of the golf swing using instantaneous screw axis theory, Part 2: Golf swing kinematic sequence. *International Sports Engineering Association*, 13, 125-133.
- Voight, M. L., & Cook, G. (1996). Clinical application of closed kinetic chain exercise. *Journal of Sport Rehabilitation*, 5, 25-44.

관성 과부하 원리를 접목한 12주간의 반응 신경계 훈련에 따른 골프 스윙 협응 패턴의 변화

안종성(서울대학교)

【목적】 본 연구는 관성 과부하 원리를 접목한 12주간의 반응 신경계 훈련에 따른 골프 스윙 협응 구조의 변화를 규명하는 데에 목적이 있다. 반응 신경계 훈련은 학습자의 잘못된 동작을 극대화함으로 인하여 올바른 협응 구조를 이끌어내는 신경학적 훈련이다. 이에 골프 스윙의 순차적 협응 패턴에서 주로 가속 회전 전략이 나타나는 초보자에게 관성 과부하 동작을 반응 신경계 훈련 기법으로 선정하였다. **【방법】** 12주간의 골프 수행력과 신체 협응 패턴의 변화 과정을 살펴보기 위해 공 추적 장비(launch monitor)와 IMU 관성센서를 활용하였으며, 평가는 사전 검사와 세 번의 사후 검사에 걸쳐 실시하였다. 30명의 남자 사관생도는 총 세 집단으로 구분되어 매주 두 번씩 골프 스윙 연습과 집단별 세부 훈련을 병행하여 진행하였다. **【결과】** 실험 결과, 사전 검사에서 관측되지 않았던 근위 분절의 가속 회전 타이밍은 훈련이 진행됨에 따라서 세 집단 모두 점차 단축되는 경향을 보였지만 반응 신경계 훈련 집단이 압도적으로 향상되는 결과를 나타내었다. 이로 인해, 반응 신경계 훈련 집단은 몸통과 손목의 최대 각속도가 비교집단에 비해 통계적으로 유의미하게 증가하였으며 결국 타구의 비거리와 정확성 측면에서도 긍정적인 영향을 미치게 되었다. **【결론】** 반응 신경계 훈련은 골프 숙련자의 가속 회전 전략을 학습하는데 효과적인 훈련 기법으로 판단되며, 앞으로는 더욱 창의적이고 과학적인 분석 방법을 다양한 운동 종목과 기술수준에 접목하는 후속 연구를 기대한다.

주요어 : 반응 신경계 훈련, 관성 과부하, 순차적 협응 패턴