

질량중심 및 압력중심을 이용한 여자 중학생의 하이클리어 동작 비교 분석

한기훈^{1,*} · 박준성² · 권우문³ · 김재웅^{4,†}

¹부산대학교 체육교육과, 교수

²신라대학교 체육학부, 교수

³신라대학교 체육학부, 겸임교수

⁴텍사스여자대학교 체육학과, 박사 후 연구원

(2020년 8월 3일 접수: 2020년 8월 13일 수정: 2020년 8월 17일 채택)

Comparative analysis of high-clear motion of female middle school student using COM and COP parameter

KiHoon Han^{1,*} · JoonSung Park² · WooMoon Kwon³ · JaeWoong Kim^{4,†}

¹Department of Physical Education, Pusan National University, Busan, South Korea

^{2, 3}Department of Physical Education, Silla University, Busan, South Korea

⁴Department of Kinesiology, Texas Woman's University, TX, USA

(Received August 3, 2020; Revised August 13, 2020; Accepted August 17, 2020)

요약 : 본 연구의 목적은 배드민턴 여자 중학생 전문선수(10명)와 방과 후 배드민턴 수업에 참여하는 일반학생(10명)의 하이클리어 동작 시 COM과 COP의 수평거리, 그리고 COM과 COP의 이동패턴의 차이를 비교 분석하는데 있다. 두 그룹 간 하이클리어 스트로크 이후 착지 시점(E4)에서 COM과 COP의 X축과 Y축에서의 수평거리와 백스윙, 포워드스윙, 스윙전체의 X축, Y축, 그리고 Z축에서 COM의 최대이동범위의 차이를 비교하기 위해 독립표본 T-test를 실시한 결과, 첫째, 하이클리어 스트로크 임팩트 이후 착지 시점(E4)에서 여자 중학생 전문선수는 전후방향(X축)에서 COM와 COP지점이 일반학생에 비해 매우 가깝게 위치하였다. 둘째, 전문선수는 COM의 수직움직임, 일반선수는 COM의 수평움직임을 적극적으로 활용하였다.

주제어 : 여자중학생, 하이클리어, 안정성, 질량중심(COM), 압력중심(COP)

Abstract : The purpose of this study is to analysis the horizontal distance of COM and COP and the movement patterns of COM and COP during the badminton high-clear of woman middle school student. The select variables used in the statistical analyses(independent sample T-test) were the horizontal distance of COM and COP at (E4), and the maximum COM displacement of the back-,

†Corresponding author

(E-mail: kimjaewoong@twu.edu)

forward-, whole-swing phases between expert and novice groups. Based on the results in this study, it was concluded that: First, expert group showed the shorter horizontal distance between COM and COP in anteroposterior axis (X-axis) at Event 4 compared to the novice group. Second, expert group dominantly used COM vertical movement while novice group actively used COM horizontal movement during the badminton high-clear stroke.

Keywords : female middle school student, high-clear, stability, COM, COP

1. 서론

배드민턴 경기는 스매시(smash), 클리어(clear), 드롭(drop), 드라이브(drive), 푸시(push), 헤어핀(hairpin) 등 다양한 스트로크를 사용하면서 진행된다. 이 중에서도 클리어는 가장 빈번히 사용되는 기술 중의 하나이다[1]. 특히, 클리어 스트로크에서 하이클리어는 헤어핀이나 네트 앞으로 셔틀콕이 날아왔을 때 또는 상대방에게 드리븐 클리어 등으로 공격당했을 때 셔틀콕을 높게 타격하여 상대방의 백라인에 수직으로 낙하하도록 하는 기술이다. 이를 통해 상대를 엔드라인까지 달려가게 만든 사이 자신은 불리한 자세를 제정비하고 수비의 자세를 갖추게 되는 배드민턴 경기에서 매우 중요한 기술이다[2].

배드민턴은 라켓과 셔틀콕, 선수의 움직임 속도가 가장 빠른 스포츠 경기로, 남자 선수가 스매싱을 할 때 셔틀콕은 320km/h 이상의 속도로 상대편 선수에게 날아간다[3]. 또한 배드민턴 경기는 단 한 번의 스트로크보다는 긴 랠리 동안 상대선수가 공수자세를 효율적으로 수행할 수 없도록 균형을 무너뜨려 득점의 상황을 만든다. 따라서 배드민턴 선수들은 경기 내내 셔틀콕의 움직임에 빠르게 반응해야 할 뿐만 아니라, 어떠한 종류의 스트로크를 치더라도 안정된 자세에서 바로 다음 동작과의 연결을 통해 자신의 포지션을 적절한 곳으로 위치시켜야 한다[4,5]. 이를 위해 선수들은 빠른 움직임이 필수적이며, 편측 스윙으로 인한 비대칭적인 몸의 움직임에도 불구하고 신체의 무게중심을 기저면 내에 위치시킴으로써 신체 균형을 유지하는 것이 매우 중요하다[6].

경기 중에 배드민턴 선수의 균형능력이 매우 중요함에도 이와 관련된 연구는 매우 제한적이었다. 배드민턴 선수들은 경기 중 지속적인 몸의 움직임으로 인해 동적 균형능력의 검증이 적절하다. 그럼에도 불구하고 선행연구는 경기력 수준에

따른 균형능력의 차이에 대한 연구에서 정적 균형능력에 대한 차이를 검증하였다[7]. 또 다른 선행연구는 배드민턴 선수들이 정적인 상태에서 얻은 결과(정적평형성: 외발서기, COP 동요)들을 토대로 균형능력과 안정성에 대한 특성을 분석한 연구결과만을 제시하여왔다[8]. 배드민턴 스트로크와 관련된 대부분의 연구는 스매시 동작분석에 국한되어 왔으며[9-11], 이는 스매싱과 하이클리어의 동작이 매우 다르게 수행되기 때문에 하이클리어 동작에 일반화 시키는 것 또한 어렵다. 배드민턴 훈련을 받은 어린이 그룹이 훈련을 받지 않은 그룹에 비해 동적균형 능력이 향상되었다는 연구결과는 배드민턴 경기 수준에 따라 동적 균형능력이 차이가 있을 수 있다는 것을 나타낸다[12].

신체질량중심(center of mass: COM)과 압력중심점(center of pressure: COP)의 이동 패턴에 대한 분석은 안정성과 균형제어의 결과를 정량적으로 동시에 평가 할 수 있는 중요한 지표들이다. 실제적인 안정성 또는 균형성 평가를 위해 하이클리어 스트로크 수행 시 나타나는 COM과 COP의 이동 패턴과 그것들의 관계를 이해함으로써 두 집단 간에 하이클리어 스트로크 이후 다음 연결 동작을 위한 균형능력 전략의 차이를 알아볼 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 여자 중학생 전문선수와 방과 후 배드민턴 수업에 참여하는 일반학생이 배드민턴 하이클리어 스트로크에서 COM과 COP의 수평거리와 COM과 COP의 이동패턴의 차이를 비교 분석하는데 있다.

2. 실험

2.1. 연구대상

본 연구의 대상은 여자 중학교 배드민턴 전문선수 10명(경력: 5.5 ± 0.9 years, 체중: 51.7 ± 4.9

kg, 신장: 161.3 ± 3.7 cm, 연령: 15.5 ± 0.8 years), 방과 후 배드민턴 수업에 참여하고 있는 일반학생 10명(경력: 1.5 ± 0.7 years, 체중: 54.4 ± 4.7 kg, 신장: 163.1 ± 5.1 cm, 연령: 15.4 ± 0.5 years)으로 총 20명이 선정되었다. 본 연구를 위한 데이터 수집에 앞서 연구의 목적과 절차는 피험자들에게 설명되었으며, 미성년 피험자로부터 자발적 연구 참여 동의서와 학부모 동의를 얻었다.

2.2 실험절차 및 데이터 수집

본 연구를 위한 데이터 수집을 위해 각 피험자들은 본인의 배드민턴 라켓을 사용하여 5회의 하이클리어를 실시하였다. 피험자들의 하이클리어 동작을 촬영하기 위해 검은색 스판덱스 반바지와 상의를 착용하였으며, 몸과 라켓에 총 49개의 반사 마커가 부착되었다[13]. 카메라 속도(sampling rate) 250Hz인 8대의 VICON 카메라 모션 캡처 시스템(Centennial, CO, USA)을 이용하여 마커의 3차원 위치좌표를 수집하였으며, 지면반력 데이터를 획득하기 위해 2대의 AMTI 지면반력기(Model OR6; Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA, USA)가 사용되었다. 데이터 수집에 앞서 충분한 준비운동을 실시하였으며, 하이클리어 타격점에 대한 적응을 위해 충분한 연습이 허용되었다. 카메라 캘리브레이션은 데이터 수집 전에 수행되었으며, 이를 통해 전역좌표계(global reference frame)의 전후축(X축)은 타겟 반대 방향, 수직방향(위)은 Z축으로 정의되었다. 따라서 전역좌표계의 좌우축(Y축)은 피험자의 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 정의되었다.

2.3 데이터 처리

모션 캡처 시스템을 통해 수집된 마커의 3차원 위치좌표는 Kwon3D Motion Analysis Suite (Version XP, Visol, Seoul, Korea)를 이용하여 데이터 처리 및 분석되었다. 마커 좌표는 Butterworth 4th-order zero phase lag low-pass filter 디지털 방식으로 필터링 되었다. 차단 주파수(cutoff frequency)는 라켓 마커들의 경우 30Hz로 설정되었고, 몸에 부착된 마커의 경우 15Hz로 설정되었다. 골반, 복부, 흉부 및 오른쪽/왼쪽 어깨거들, 머리, 오른쪽/왼쪽 상완, 전완, 대퇴, 하퇴, 발등 총 15분절 및 라켓으로 구분되었으며, 신체 전신의 질량중심(Whole body Center of Mass)을 계산하기 위해 각각의 분절이 정의 되었다. 각 분절의 정의는 Kwon et al.(2012)에서 사용된 방법들과 동일하게 적용되었다[13]. Event 설정을 위해 사용된 분절에 대한 지역좌표계(local reference frame)는 해부학적인 자세를 기준으로 정의되었다. X축은 분절의 좌우축(mediolateral axis)과 정렬되고 Y축은 전후축(anteroposterior axis), 그리고 Z축은 수직축(longitudinal axis)과 정렬되었다.

2.4 데이터 분석

본 연구에서 하이클리어 스트로크 동안 COM과 COP의 이동 패턴을 분석하기 위해 <Fig. 1>와 같이 5개의 시점(Event)과 2개의 구간(Phase)이 정의되었다: 준비 자세(E1), 백스윙이 끝나는 순간(E2), 임팩트(E3), 점프 후 착지 시점(E4), 임팩트 후 전완이 지면과 평행을 이루는 순간을 팔로스루(E5)로 시점을 정의하였으며, E1에서 E2까지를 백스윙(P1)으로, E2에서 E5까지를 포워드스

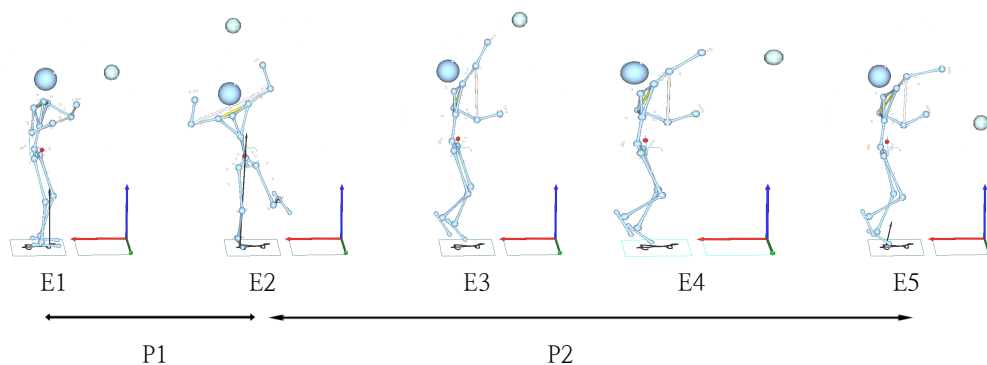


Fig 1. Five events and two phases during the high-clear stroke. Abbreviations: E - Event and P - Phase.

윙(P2)구간으로 각각 구분되어 분석되었다.

본 연구에서 두 집단 간 차이를 분석하기 위해 다음과 같은 변인들이 계산되었다: 첫째, COM와 COP의 수평거리(X축, Y축)는 하이클리어 스트로크 이후 착지 시점(E4)에서 COM의 위치 데이터에서 COP의 위치 데이터를 뺀 수평거리: 둘째, COM 이동범위(X축, Y축, Z축)는 백스윙(E1-E2)과 포워드 스윙(E2-E5), 전체 스트로크 구간(E1-E5)에서 COM 위치의 최대값에서 최소값을 뺀 값으로 계산되었다.

2.5. 통계분석

통계 분석에서 사용된 변인은 하이클리어 스트로크 이후 착지 시점(E4)에서 COM과 COP의 X축과 Y축에서의 수평거리와 백스윙, 포워드스윙, 스윙전체의 X축, Y축, 그리고 Z축에서 COM의 최대이동범위였으며, 모든 데이터 분석에서 5회 반복 측정된 데이터의 평균값을 통계 분석에 사용하였다. 독립표본 *T-test*는 여자 중학생 배드민턴 전문선수와 방과 후 참여 일반학생 그룹간의 COM와 COP 변인들의 평균을 비교하기 위해 사용되었다. 본 연구 가설의 수락수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하여 테스트에 유의성을 검증하였다. 모든 통계 분석은 SPSS V.23.0(SPSS, Inc., Chicago, IL)을 사용하여 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

본 연구는 여자 중학생 전문선수(Expert)와 방과 후 배드민턴 수업에 참여하고 있는 일반학생(Novice)의 포워드 하이클리어 스트로크 동작 시 COM와 COP의 이동 패턴 차이를 조사하고, 분석하는데 목적이 있다. 이를 위해 점프 후 착지 시점(E4)에서 COM와 COP의 X축과 Y축에서의 수평거리, 백스윙과 포워드스윙, 전체구간에서 COM의 최대 운동 가동범위를 계산하여 비교하

였다.

3.1. COM-COP 최대수평거리

본 연구에서 여자 중학생 전문선수와 일반학생의 하이클리어 스트로크에서 점프 후 착지 시점(E4)의 전후축(X축)과 좌우축(Y축)에 대한 COM-COP 사이에 수평거리 차이를 분석한 결과는 <Table 1>과 같다. 두 그룹 간 COM-COP 수평거리의 차이는 전후축(X축)에서 ($p=.013$, 전문선수<일반학생> 통계적 유의한 차이($p<.05$)를 나타냈으며, 좌우축(Y축)에서는 ($p=.149$, 전문선수<일반학생> 두 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

본 연구의 결과를 볼 때, 두 그룹 사이에 하이클리어 스트로크 임팩트 이후 착지 시점(E4)에 분석한 COM-COP 수평거리의 전후축(X축: 전문선수<1cm, 일반학생>7cm)에서만 보여지는 유의한 차이는 여자 중학생 전문선수와 일반학생은 스트로크 이후 착지 시 전후 방향에서 균형전략의 차이를 의미한다. 전문선수의 경우 COM와 COP의 위치가 거의 일치하지만 일반학생의 경우 7cm 이상의 수평거리를 보여 COM와 COP의 전후방향에서 다소 떨어져 있었다. 전후축 방향에서 COM이 COP로부터 멀리 벗어난 수평거리를 나타내면 COM에 대해 발생하는 전후축 방향의 지면반력 토크가 커져 신체의 전후 방향 안정성에 가장 불리하게 작용할 수 있는 순간이 될 수 있다. 즉, COM이 COP와 가깝게 위치할수록 지면반력 토크가 적게 발생되어 안정성에 도움을 주기 때문에 착지 후 균형이 잡힌 상태에서 원활하게 다음 연결동작으로 전환이 가능할 것으로 판단된다. 반면, 일반학생의 경우 지면반력 토크가 많이 발생되어 안정성이 저하되어 다음 동작으로 전환하기 전 안정성을 높이기 위해 COM와 COP의 수평거리를 줄이기 위해 자세변화와 같은 추가적인 동작이 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Maximum horizontal distance between COM and COP at E4 (unit: cm)

axis	Expert (M±SD)	Novice (M±SD)	<i>p-value</i>
X	-0.76±8.77	7.23±5.31	.013*
Y	2.17±3.47	-4.31±14.17	.149

*Significantly different between Expert and Novice groups; Negative values in X-axis and Y-axis mean COP position is farther away from the origin.

3.2. COM과 COP 이동 패턴

전후축에서 두 그룹의 COM 이동 패턴(Fig 2)을 보면 전문선수와 일반학생 그룹 모두 백스윙 구간에서 COM은 후방으로 이동하였다. 포워드 스윙 구간에서 전문선수 그룹은 COM의 위치가 일정하게 유지되는 반면, 일반학생 그룹에서는 임팩트(E3) 이후 전방으로 이동하였다. 좌우축과 수직축에서는 두 그룹 모두 비슷한 COM 이동 패턴을 보여주고 있다.

하이클리어 스트로크 동작 시 두 그룹의 COM 최대 운동범위의 차이를 분석한 결과는 <Table 2 & Fig 2>와 같다. 하이클리어 스트로크 동작 시 두 그룹의 COM의 이동 범위에서 백스윙 구간에서는 좌우축에서($p=.000$, 전문선수<일반학생>), 포워드스윙 구간에서는 전후축($p=.000$, 전문선수<일반학생>) 좌우축($p=.001$, 전문선수<일반학생>), 수직축($p=.000$, 전문선수<일반학생>), 그리고 하이클리어 스트로크 전체 구간에서는 좌우축($p=.001$, 전문선수<일반학생>)과 수직축($p=.000$, 전문선수<일반학생>)에서 통계적 유의한 차이($p<.05$)를 보였다.

본 연구에서 하이클리어 스트로크 동안 전후축(X축)에 대해 포워드 스윙구간에서 일반선수 그룹이 더 큰 COM 최대운동범위(전문선수: 2.12cm, 일반선수: 8.41cm)보여주었다. 또한, 좌우축(Y축)에서도 백스윙(전문선수: 5.58cm, 일반선수: 9.79cm), 포워드스윙(전문선수: 2.04cm, 일반선수: 5.68cm), 전체구간(전문선수: 6.92cm, 일반선수: 10.18cm) 모두에서 일반선수가 더 큰 COM 운동범위를 보여주었다. 반면 수직축(Z축)에서는 포워드스윙(전문선수: 12.90cm, 일반선

수: 7.52cm)과 전체구간(전문선수: 14.13cm, 일반선수: 8.56cm)에서 전문선수가 더 큰 COM 운동범위를 보여주었다. 이를 종합해 볼 때, 하이클리어 스트로크 시 전문선수는 수직움직임, 일반선수는 수평움직임을 적극적으로 활용하고 있음을 나타낸다.

하이클리어 스트로크 동작 시 두 그룹의 COP 이동 패턴은 <Fig 3>과 같다. COP의 가변성이 클수록 안정성을 떨어뜨리는 원인이 된다고 보고되었다[14]. X축의 COP 그래프 패턴을 볼 때, 전문선수 그룹의 COP 이동 패턴은 동요(그래프의 선이 지그재그 없이 일정)가 나타나지 않는 반면, 일반학생 그룹의 COP는 전체적으로 동요(그래프의 선이 지그재그로 흔들림)가 나타나는데 이는 COP의 가변성을 높이는 결과를 초래한다. 전문선수의 경우 전후축에서 COP의 동요를 최소화함으로써, 안정적인 하이클리어 동작을 수행할 수 있는 반면, 일반학생 그룹은 전후축에서 앞뒤 흔들림으로 인해 불안정한 동작을 수행하고 있다고 판단된다. 배드민턴은 지면과의 상호작용에 의해 지면반력이 발생되는데, 이 지면반력이 전신 무게중심에 대해 발생시키는 회전력을 라켓을 통하여 셔틀콕으로 전달하는 것이 중요하고 하였다[15]. 일반선수들에서 보여지는 COP의 동요는 지면반력을 불필요하게 분산시켜 지면반력이 만들어 낼 수 있는 최대의 각운동량을 효과적으로 발생시키지 못해, 스트로크 방향으로 충분한 각운동량을 전달하지 못할 가능성이 있다고 판단된다.

Table 2. Maximum COM displacement

(unit: cm)

Phase	Axis	Expert (M±SD)	Novice (M±SD)	<i>p</i> -value
Back phase	X	10.60±0.37	9.22±3.45	.197
	Y	5.58±1.98	9.79±2.17	.000*
	Z	5.37±2.23	5.37±3.70	.997
Forward phase	X	2.12±1.66	8.41±2.02	.000*
	Y	2.04±0.39	5.68±2.83	.001*
	Z	12.90±3.71	7.52±2.29	.000*
Whole phase	X	11.82±0.30	12.51±3.28	.480
	Y	6.92±2.80	10.18±2.45	.007*
	Z	14.13±2.98	8.56±2.37	.000*

*Significantly different between Expert and Novice groups.

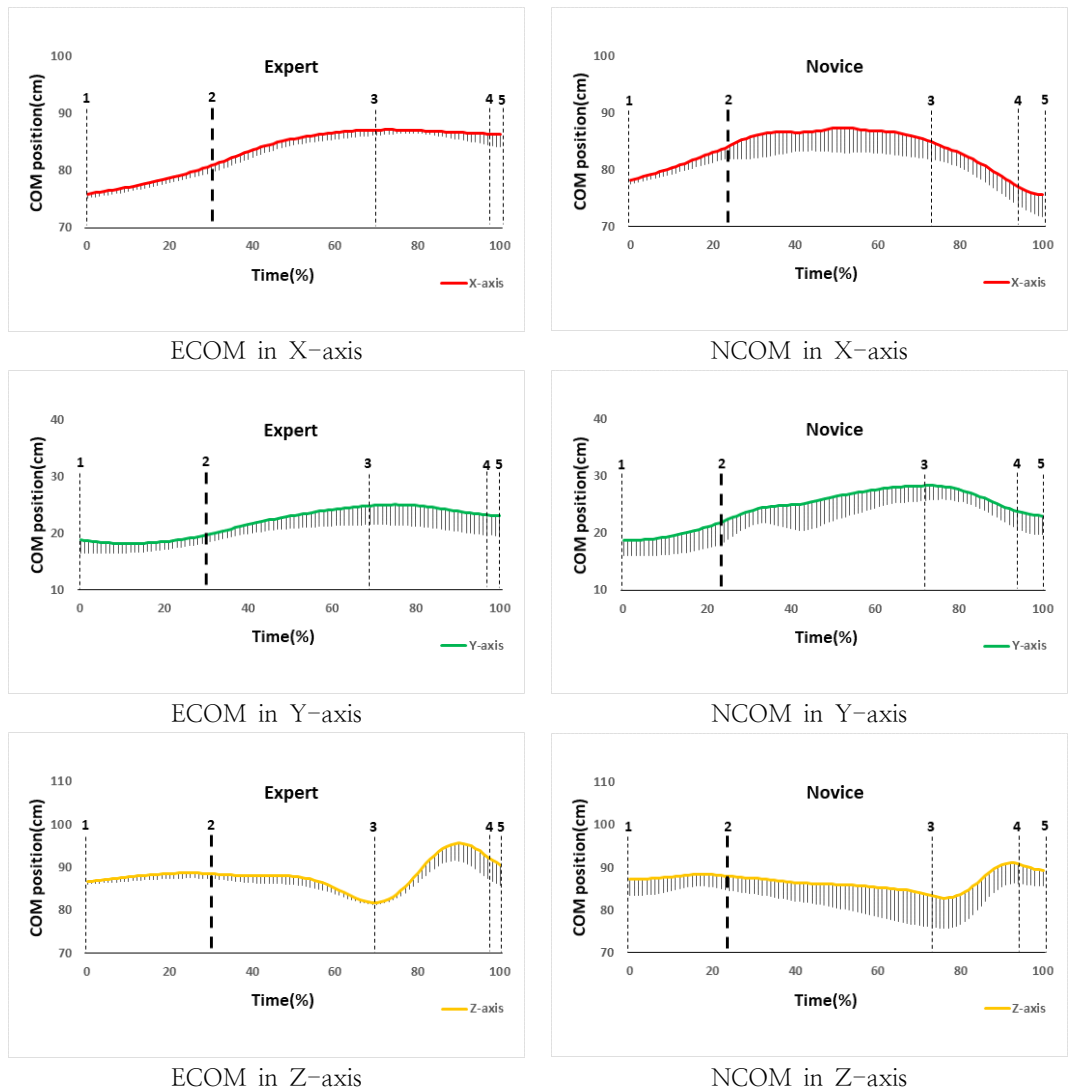


Fig. 2. Ensemble-average patterns of normalized COM: The E1-E5 phase was used as 100% time. Group abbreviations: ECOM-Expert COM, NCOM-Novice COM.

전후축(X축)과 좌우축(Y축) 모두 COP가 E3이 후 발생하는 점프로 사라졌다가 E4에서 다시 발생되는데 선수 그룹에서는 점프직전 COP위치와 착지 후 COP위치가 적게 차이가 나지만, 일반 그룹에서는 큰 차이를 보여주고 있다. 이는 일반

학생들은 전문선수에 비해 하이클리어를 위한 점프 스트로크 이후에 멀리 착지함으로써 불안정한 상태로 다음 연결 동작을 위한 추가적인 자세 변화 노력이 필요할 것으로 사료된다.

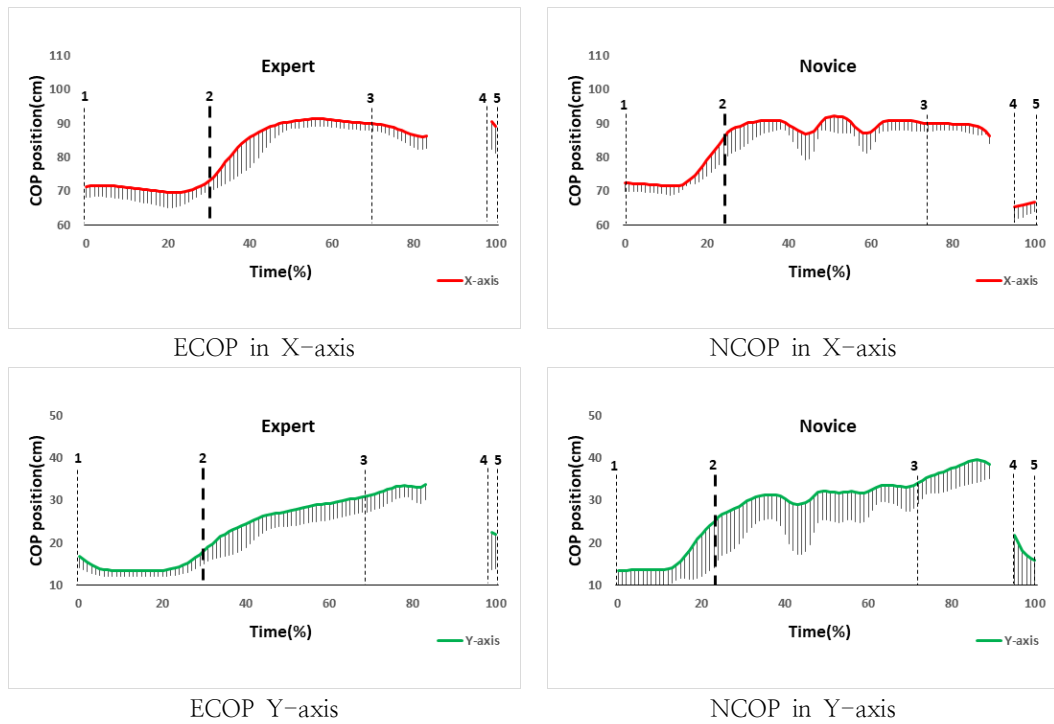


Fig. 3. Ensemble-average patterns of normalized COP: The E1-E5 phase was used as 100% time. Group abbreviations: ECOP-Expert COP, NCOP-Novice COP.

4. 결론

본 연구는 여자 중학생 전문선수(Expert)와 방과 후 배드민턴 수업에 참여하고 있는 일반학생(Novice)의 포핸드 하이클리어 스트로크 동작에서 점프 후 착지 시점(E4)에서 COM와 COP의 X축과 Y축에서의 수평거리, 백스윙과 포워드스윙, 전체구간에서 COM의 최대 운동 가동범위의 차이를 검증한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 하이클리어 스트로크 임팩트 이후 착지 시점(E4)에서 여자 중학생 전문선수는 균형성 측면에서 유리한 동작으로 전후방향에서 COM와 COP지점이 일반학생에 비해 매우 가깝게 위치하였다. 둘째, 전문선수는 COM의 수직움직임을, 일반선수는 COM의 수평움직임을 적극적으로 활용하였다.

References

1. C. L. Ming, C. C. Keong, A. K. Ghosh, "Time Motion and Notational Analysis of 21 Point and 15 Point Badminton Match Play", *International Journal of Sports Science and Engineering*, Vol.2, No.4 pp. 216-222, (2008).
2. C. B. Kim, J. K. Ryu, "The Kinematics Analysis of the Badminton High Clear Motion in Woman Middle School Student", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.12, No.2 pp. 91-107, (2002).
3. K. K. Teu, W. Kim, J. Tan, F. K. Fuss, "Using Dual Euler Angles for the Analysis of Arm Movement during the Badminton Smash", *Sports Engineering*, Vol.8, No.3

- pp. 171-178, (2005).
4. H. K. Sung, Y. J. Kim, "A Case Study of Badminton Domestic and Foreign Excellent Singles Player's Batting Direction", *Korean Journal of Sport Science*, Vol.12, No.3 pp. 77-87, (2001).
 5. O. Faude, T. Meyer, F. Rosenberger, M. Fries, G. Huber, W. Kindermann, "Physiological Characteristics of Badminton Match Play", *European Journal of Applied Physiology*, Vol.100, No.4 pp. 479-485, (2007).
 6. W. D. Chang, W. Y. Chang, C. L. Lee, C. Y. Feng, "Validity and Reliability of Wii Balance Board for the Assessment of Balance of Healthy Young adults and the Elderly", *Journal of Physical Therapy Science*, Vol.25, No.10 pp. 1251-1253, (2013).
 7. Y. Masu, K. Muramatsu, N. Hayashi, "Characteristics of Sway in the Center of Gravity of Badminton Players", *The Journal of Physical Therapy Science*, Vol.26, No.11 pp. 1671-1674, (2014).
 8. T. K. Wong, A. W. Ma, K. P. Liu, L. M. Chung, Y. H. Bae, S. S. Fong, H. K. Wang, "Balance Control, Agility, Eye-hand Coordination, and Sport Performance of Amateur Badminton Players: A Cross-Sectional Study", *Medicine*, Vol.98, No.2 (2019).
 9. J. M. So, S. M. Han, J. H. Seo, "Comparison of the Kinematic Variables in the Badminton Smash Motion", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.13, No.2 pp. 65-74, (2003).
 10. S. H. Yoon, A. R. Jo, S. H. Yoo, "The Kinematic Analysis of Upper Extremities for Badminton Smash and Drop Motions depends on the Player's Level", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.23, No.3 pp. 201-208, (2013).
 11. S. Sakurai, T. Ohtsuki, "Muscle Activity and Accuracy of Performance of the Smash Stroke in Badminton with Reference to Skill and Practice", *Journal of Sports Sciences*, Vol.18, No.11 pp. 901-914, (2000).
 12. M. F. Yuksel, A. Cengiz, E. Zorba, K. Gokdemir, "Effects of Badminton Training on Physical Parameters of Players", *The Anthropologist*, Vol.21, No.3 pp. 542-547, (2015).
 13. Y. H. Kwon, C. S. Como, K. Singhal, S. Lee, K. H. Han, "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*, Vol.11, No.2 pp. 127-148, (2012).
 14. B. E. Maki, P. J. Holliday, A. K. Topper, "A Prospective Study of Postural Balance and Risk of Falling in an Ambulatory and Independent Elderly Population", *Journal of Gerontology*, Vol.49, No.2 pp. 72-84, (1994).
 15. J. M. So, S. C. Yang, "Correlation to Kinematic Variables of Badminton Smash Movement", *36th Conference of the Korean Journal of Physical Education*, pp. 595-603, (1998).