

탁구 포핸드 카운터 드라이브 동작의 운동학적 변인 및 지면 반력 분석

이용식¹ · 이종훈¹

¹서울산업대학교 자연과학대학 스포츠건강학과

Kinematic and Ground Reaction Force Analyses of the Forehand Counter Drive in Table Tennis

Young-Sik Lee¹ · Chong-Hoon Lee¹

¹Department of Health & Sport Science, College of Nature & Life Sciences, Seoul National University of Technology

Received 30 April 2010; Received in revised from 22 June 2010; Accepted 27 June 2010

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze kinematic quantitative factors required of a forehand counter drive in table tennis through 3-D analysis. Four national table tennis players participated in this study. The mean of elapsed time for total drive motion was 1.009 ± 0.23 s. At the phase of impact B1 was the fastest as 0.075 s. This may affect efficiency in the initial velocity and spin of the ball by making a powerful counter drive. The pattern of center of mass showed that it moved back and returned to where it was then moved forward. At the back swing, lower stance made wide base of support and a stronger and safer stance. It may help increasing the ball spin. Angle of the elbow was extended up to $110.75 \pm 1.25^\circ$ at the back swing and the angle decreased by $93.75 \pm 3.51^\circ$ at impact. Decreased rotation range of swinging arm increased linear velocity of racket-head and impulse on the ball. Eventually it led more spin to the ball and maximized the ball speed. Angle of knee joint decreased from ready position to back swing, then increased from the moment of the impact and decreased at the follow through. The velocity of racket-head was the fastest at impact of phase 2. Horizontal velocity was 7796.5 ± 362.5 mm/s and vertical velocity was 4589.4 ± 298.4 mm/s at the moment. It may help increase the speed and spin of the ball in a moment. The means of each ground reaction force result showed maximum at the back swing(E2) except A2. Vertical ground reaction force means suggest that all males and females showed maximum vertical power(E2). The maximum power of means was 499.7 ± 38.8 N for male players and 519.5 ± 136.7 N for female players.

Keywords : Kinematic, Motion Analysis, Center of Mass, Horizontal Velocity

I. 서론

1. 연구의 목적

탁구는 좁은 장소에서 남녀노소 모두 함께 즐길 수 있는 운동 종목으로 볼을 서로 쳐서 승패를 겨루는 경기로, 여가 스포

츠인 동시에 고도의 기술과 전문체력을 요구하는 복잡하고도 섬세한 운동이다. 우리나라 탁구는 1973년 사라예보 세계탁구 선수권대회에서 여자 단체전 우승을 시작으로 1986년 아시안게임의 남자 단식 및 남녀 단체전 금메달 획득, 1988년 서울 올림픽에서 남자단식 및 여자 복식의 금메달, 2004년 아테네 올림픽에서 남자 단식 금메달을 획득하는 등 탁구강국으로서 지위를 누려왔다. 그러나 근래에 들어 중국의 다양하고 강한 회전 구질의 서브와 강력하고 빠른 드라이브 기술의 발전으로 세계 랭킹 10위권 이내는 중국선수들이 차지하고 있으며 우리나라 선수들이 고전을 면치 못하고 있는 현실로, 이에 대한 준비와

Corresponding Author : Chong-Hoon Lee
Department of Health & Sports Science, Seoul National University of Technology, 138 Gongreung-gil, Gongreung2-dong 172, Nowon-gu, Seoul, Korea
Tel : +82-2-970-6368 / Fax : +82-2-972-9763
E-mail : leejh36@snut.ac.kr

보완이 필요한 실정이다. 강희찬(2007)은 현대 탁구는 빠른 스피드와 강한 파워의 공격위주의 전형이 추세이며, 어려운 경기 일수록 공격적인 선수들의 승률이 높다고 하였다. 탁구의 공격 기술 중 가장 득점력이 높은 것은 드라이브와 스매시기술이다. 탁구경기에서 선수들이 드라이브를 선호하는 이유는 마그누스 효과로 볼에 전진회전의 스핀이 걸린 드라이브는 급격한 포물 선을 그리면서 들어가는 안정성과 볼을 치는 높이가 네트보다 낮을 경우에도 볼에 회전이 없거나 적은 스매시와 달리 드라이브는 안전하게 공격을 할 수 있기 때문에 공을 치는 높이를 바꿀 수 있다. 강상학과 손원일(2006)은 드라이브의 볼 회전에 관여하는 요인들로는 경사각, 스윙각, 라켓 스윙속도 수평과 수직 성분의 비율, 라켓면 등 많은 요인들이 작용한다고 하였으며, 박기혁(2001)은 드라이브는 시합에서 중요한 공격 수단으로 사용되며, 공을 끌어올림과 동시에 스쳐 올리는 느낌으로 치기 때문에 스매싱과 같이 위력 있는 공을 치기 위해서는 전신을 이용해서 타구를 한다고 하였다. 드라이브 기술에는 루프 드라이브와 카운터 드라이브 기술이 있는데, 카운터 드라이브는 상대방의 드라이브 공이 바운드된 직후에 올라오는 볼을 치는 것으로 바운드와 정점 사이, 또는 정점을 노리는 것으로 포인트를 노리며 백스윙은 크게 잡지 않고 상대방 드라이브의 위력을 이용한다. 카운터 드라이브의 특징은 타이밍으로 강력한 드라이브를 걸어서 공격해 온 공을 빠른 타이밍의 드라이브로 반격함으로써 상대방에게 시간적인 여유를 주지 않고 궁지로 몰아넣는 것이 목적이라 할 수 있다. 정확한 임팩트를 위해서는 간결한 스윙동작과 빠른 스피드가 필요하며 이를 위해서는 안정적인 자세와 순간적인 파워를 이용한 빠른 라켓의 스윙속도가 요구되며, 이에 대한 메카니즘을 규명 할 수 있는 분석이 필요하다. 탁구에 관련된 선행연구를 살펴보면, 정태웅과 손명성(1998)은 탁구 국가대표와 대학선수들의 드라이브와 스매시 동작을 운동학적으로 비교 분석하였고, 김미영(1998)은 탁구의 그립 유형별 포핸드 스트로크와 백핸드 스트로크의 각 이벤트별 소요시간, 각도, 변위 등의 운동학적 분석을 하였고, 김옥성과 김정태(2001)는 고등학교 선수들을 대상으로 소요시간, 신체중심의 변위 등 탁구 드라이브 동작 시 운동학적 특성을 분석하였으며, 권의준(2002)은 탁구 포핸드 스매싱 시 숙련자, 비숙련자간 신체의 구속과 볼의 정확성에 관한 비교연구를 수행하였고, 강상학과 손원일(2006)은 남자 대학선수들을 대상으로 탁구 그립 유형별 드라이브 시 각관절의 각도와 이벤트별 거리의 운동학적 변인들을 비교 분석하였으며, 강희찬(2007)은 한국과 중국의 여자 탁구선수들의 카운터 드라이브 기술동작 비교분석에서 기술의 소요시간, 신체중심의 위치와 속도 변화, 라켓의 속도를 통해 운동학적 요인들에 대한 연구를 수행하였으며, 손원일(2008)은 탁구 포핸드 드라이브와 스매시의 라켓의 각도성분과 타점의 위치, 각운동량 등을 분석하였으며, 이민형(2009)은

탁구 포핸드 드라이브동작의 운동역학적 분석을 하였으나, 실제 시합상황에서 중요한 승부구로 사용되는 카운터 드라이브 동작분석에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 이에 가장 기본이 되고 경기 시 승부구로 사용빈도가 많은 포핸드 카운터 드라이브의 동작의 연구가 절실히 요구된다. 따라서 본 연구에서는 적외선 카메라를 통한 영상분석과 지면반력분석을 통해 동작의 운동역학적 변인들을 정량적으로 규명하여 경기력 향상에 기여하고자 한다.

II. 연구 방법

본 연구는 탁구 드라이브 기술의 향상을 위해 국가대표 남, 여 탁구선수들을 대상으로 포핸드 카운터 드라이브 동작을 3차원 영상 분석법을 통하여 운동학적 변인인 소요시간, 신체중심변위, 각관절의 각도, 라켓속도와 지면반력을 분석하여 운동역학적 특성을 규명하는데 있다. 이를 위한 연구방법으로서 연구대상, 실험장비, 실험절차 및 자료처리, 연구내용은 다음과 같다.

1. 연구 대상자

본 연구에 참가한 연구대상자는 국가대표 남자선수 2명과 여자선수 2명으로, 모두 오른손잡이로 세이크핸드 그룹의 라켓을 사용하였으며, 이들의 평균연령은 23.75 ± 1.02 year, 신장 167.7 ± 1.22 cm, 체중 59.8 ± 2.41 kg, 경력 12 ± 1.22 year 이다.

2. 실험 장비

본 연구에 사용된 실험 장비는 카운터 드라이브 동작의 3차원 영상분석을 위해 Motion Analysis Eagle 4 적외선 Camera 8 대와 Sony PD-170 Camera 2대를 설치하여 촬영하였으며, 3차원 공간좌표 값의 측정을 위해 가변형 통체점들을 카운터 드라이브 동작이 포함하도록 높이 2 m, 길이 2 m, 폭 1m의 직육면체의 기준척을 조립하여 동작이 이루어지는 지점에 설치하였다. 지면반력을 측정하기 위하여 Kistler Force Plate 600×900 2대를 사용하여 1200 Hz로 수집하였으며, Cortex 1.1.4.368, Matlab 2009를 이용하였고 지면과 높이를 맞추어 설치하였다.

3. 실험 절차 및 자료처리

본 실험은 <Figure 1>처럼 실시되었으며, 탁구경기의 영상촬영을 위하여 총10대의 카메라를 사용하였으며, 적외선 카메라 8대는 벽면에 고정식으로 부착하였고, 나머지 비디오카메라 2대는 분석을 하기에 가장 유리한 위치인 탁구대 측면으로부터

좌·우측으로 1 m 떨어진 위치에 1.5 m 높이의 삼각대위에 고정시켜 수평상태로 설치하였다. 8대의 적외선카메라는 촬영속도 120 frame/sec/s로 하였고, 나머지 2대의 카메라는 30 frame/sec/s로 촬영하였으며, 노출시간은 1/500 sec/s로 하였다. 지면반력의 측정에는 2대의 지면반력기를 설치하였으나, 스윙동작의 메카니즘에서 중요한 역할을 하는 지지발(왼발)의 지면반력기만을 분석하였다.



Figure 1. Experimental setting

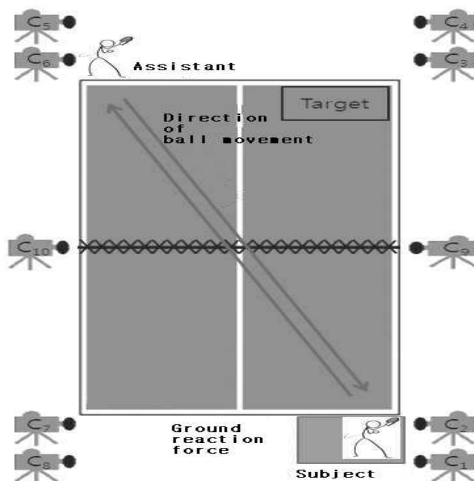


Figure 2. Experimental equipment

실험장비의 배치는 <Figure 2>와 같다. 연구대상자 각자가 30분간 충분한 연습 후 타켓지점에 10회 성공할 때까지 공을 주어 스트레이트 방향으로 포핸드 카운터 드라이브를 하여 성공한 횟수 중 연구의 목적에 적합한 1회를 선정하였으며, 디지털이징을 위해 인체 관절점에 대해 기준점(land mark)을 표시하였다. 전역좌표는 피험자가 운동하는 방향을 y축, 지면에 대하여 수직방향을 z축, 좌우방향을 x축으로 설정하였다.

분석 대상점의 실좌표 변환은 Motion analysis system의 S/W에 의한 NLT(nonlinear transformation)방법에 의해 변위를 산출하였고, Cut-off Frequency는 6.0 Hz로 하였다. 인체 관절중심점의 좌표화는 인체의 모델 총 25개의 관절점에 대한 16개의 신체분절로 연결된 강체 시스템으로 정의하고, 각 분절의 무게중심과 무게중심의 위치를 계산하기 위한 인체 분절 모수치(body

segment parameters)는 Chandler et al.(1975)의 자료를 이용하였다.

4. 용어 및 이벤트의 정의

본 연구의 이해를 위해서 설정한 이벤트 및 구간, 각도에 대한 정의는 다음과 같으며 <Figure 3>에 나타나있다.

가. 이벤트(Event)

- E1 : 준비자세(Address)
- E2 : 백스윙(Back swing)
- E3 : 임팩트(Impact)
- E4 : 팔로스로우(Follow throw)

나. 국면(Phase)

- 1국면(P1) : E1-E2(Address~Back swing)
- 2국면(P2) : E2-E3(Back swing~Impact)
- 3국면(P3) : E3-E4(Impact~Follow throw)

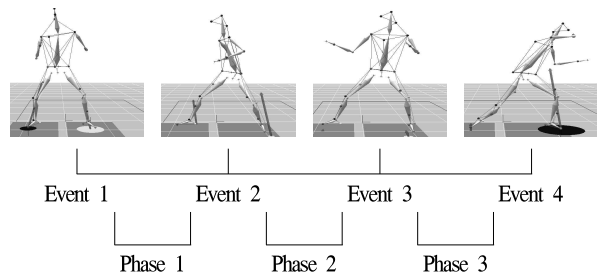


Figure 3. Event and Phase

다. 각도의 정의

각도 정의는 다음과 같다.

- 1) 팔꿈치각(θ_1) : 팔꿈치를 축으로 상완과 전완이 이루는 사이각도
- 2) 무릎각(θ_2) : 무릎관절을 축으로 하퇴와 대퇴가 이루는 사이각도

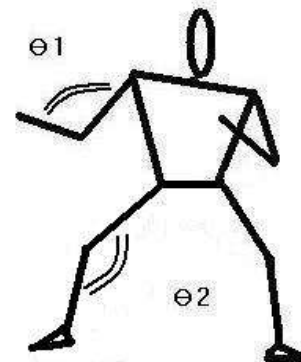


Figure 4. Elbow and knee angle

Ⅲ. 결과

본 연구는 세이크핸드 그림을 사용하는 국가대표 선수 남녀 4명을 대상으로 탁구의 포핸드 카운터 드라이브 기술 중에서 스트레이트(straight) 방향 타구 시 3차원 영상분석을 이용하여 운동학적 변인인 구간별 소요시간, 신체중심의 변위, 라켓의 속도, 각 관절의 각도와 운동역학적 변인인 지면반력 등에 대한 분석을 하였으며, 결과는 다음과 같다.

1. 각 구간별 소요시간

카운터 드라이브 동작에서 각 국면별 소요시간은 <Table 1>과 같다. 카운터 드라이브 동작의 국면별 소요시간은 P1에서 A1은 0.667 s, A2는 0.708 s, B1은 0.617 s, B2는 0.708 s로 B1이 비교적 빠르게 백스윙을 하는 것으로 나타났다. P2에서 A1은 0.092 s, A2는 0.183 s, B1은 0.075 s, B2는 0.225 s로 나타났다. 카운터 드라이브 동작의 총소요시간은 A1은 1.017 s, A2는 1.067 s이며, B1은 0.933 s, B2는 1.022 s로 나타났다. 남자 선수에 비해 여자 선수가 총소요시간이 짧았으며, 선수 B1이 가장 소요시간이 짧게 나타났다.

Table 1. Elapsed time (unit: sec)

Subject	Phase				Total
		P1	P2	P3	
M	A1	A1	0.667	0.092	0.258
	A2	0.708	0.183	0.175	1.067
	<i>M±SD</i>	±0.23	±0.11	±0.17	±0.09
	B1	B1	0.617	0.075	0.242
F	B2	0.708	0.225	0.158	1.022
	<i>M±SD</i>	±0.06	±0.31	±0.05	±0.02

*M : male, F: female

2. 신체중심 변위

본 연구의 세이크핸드 그림 포핸드 스피드 드라이브 동작 시 각 이벤트별 전후, 상하의 신체중심 변위의 결과는 다음과 같다.

1) 신체중심의 전후변위

<Table 2>와 <Figure 5>에 나타난 바와 같이 포핸드 스피드 드라이브 동작 시 전후 신체중심 변위의 변화를 살펴보면 남자 피험자의 경우 A1은 E1에서 0.42 m, E2에서 0.45 m, E3시점에서 0.41 m, E4에서는 0.45 m로 나타났으며, 피험자 A2의 경우

E1에서 0.45 m, E2에서 0.44 m, E3시점에서 0.54 m, E4에서는 0.57 m로 나타났다. 여자 피험자의 경우 B1은 E1에서 0.67 m, E2에서 0.66 m, E3에서는 0.65 m, E4에서는 0.65 m로 나타났으며, 피험자 B2의 경우 E1에서 0.48 m, E2시점에서 0.43 m, E3시점에서는 0.42 m, E4에서는 0.39 m로 나타났다.

Table 2. Horizontal displacement of center of mass (unit: m)

Subject	Event				
		E1	E2	E3	E4
M	A1	0.42	0.45	0.41	0.45
	A2	0.45	0.44	0.54	0.57
	<i>M±SD</i>	±0.02	±0.00	±0.09	±0.08
	B1	0.67	0.66	0.65	0.65
F	B2	0.48	0.43	0.42	0.39
	<i>M±SD</i>	±0.13	±0.16	±0.16	±0.18

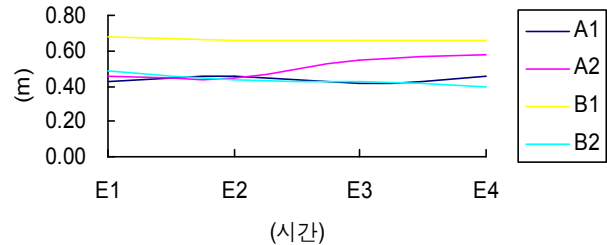
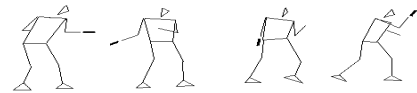


Figure 5. Horizontal displacement of center of mass

2) 신체중심의 수직변위

<Table 3>와 <Figure 6>에 나타난 바와 같이 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 신체중심의 수직변위의 변화를 살펴보면, A1은 E1에서 0.93 m, E2에서 0.84 m, E3시점에서 0.88 m, E4에서는 0.83 m로 나타났으며, 피험자 A2의 경우 E1에서 0.94 m, E2에서 0.82 m, E3시점에서 0.91 m, E4에서는 0.92 m로 나타났다. 여자 피험자의 경우 B1은 E1에서 0.94 m, E2에서 0.87 m, E3시점에서 0.88 m, E4에서는 0.87 m로 나타났으며, 피험자 B2의 경우 E1에서 0.97 m, E2시점에 0.90 m, E3시점에서 0.96 m, E4에서는 0.94 m로 나타났다. 각 구간별 차이를 살펴보면, 남자 피험자의 경우 A1은 P1에서 -0.09 m, P2에서 0.04 m, P3에서 -0.04 m의 변화가 있었으며, A2는 P1에서 -0.11 m, P2에서 0.09 m, P3에서 0.00 m, B1은 P1에서 -0.07 m, P2에서 0.01 m, P3에서 0.01 m, 그리고 B2는 P1에서 -0.06 m, P2에서 0.05 m, P3에서 -0.02 m의 차이를 나타내었다.

Table 3. Vertical displacement of center of mass (unit: m)

Subject	Event	E1	E2	E3	E4
M	A1	0.93	0.84	0.88	0.83
	A2	0.94	0.82	0.91	0.92
	M±SD	0.93 ±0.00	0.83 ±0.00	0.90 ±0.00	0.88 ±0.03
F	B1	0.94	0.87	0.88	0.87
	B2	0.97	0.90	0.96	0.94
	M±SD	0.95 ±0.02	0.88 ±0.02	0.92 ±0.05	0.90 ±0.04

Table 4. Angle of right elbow joint (unit: deg)

Subject	Event	E1	E2	E3	E4
M	A1	62.4	96.3	93.4	86.6
	A2	84.4	114.3	95.1	88.3
	M±SD	73.4 ±15.5	105.3 ±12.7	94.2 ±1.1	87.4 ±1.2
F	B1	72.9	111.5	98.0	69.8
	B2	77.0	120.8	88.7	72.5
	M±SD	74.9 ±2.9	116.2 ±6.5	93.3 ±6.5	71.1 ±1.9

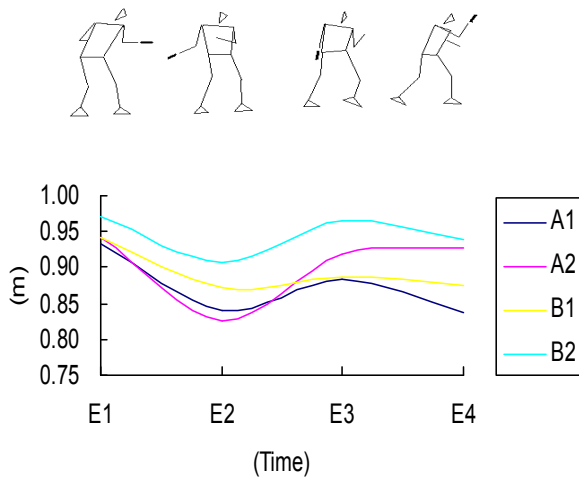


Figure 6. Vertical displacement of center of mass

3. 각도 변인

1) 팔꿈치 각(Elbow angle)

<Table 4>에 나타난 바와 같이 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 스트레이트 방향의 타구 때 팔꿈치 각의 변화를 살펴보면, 남자 피험자 A1의 경우 E1에서는 62.4°, E2에서는 96.3°, E3시점에서 93.4°, E4에서는 86.6° 로 나타났으며, 피험자 A2는 E1에서는 84.4°, E2에서는 114.3°, E3시점에서 95.1°, E4에서는 88.3° 로 나타났다. 여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 72.9°, E2에서는 111.5°, E3시점에서 98.0°, E4에서는 69.8° 로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 77.0°, E2에서는 120.8°, E3시점에서 88.7°, E4에서는 72.5° 로 나타났다. 팔꿈치각의 평균값의 변화를 살펴보면 남자 피험자의 경우 준비 자세에서는 73.4±15.5°, 백스윙에서는 105.3±12.7°, 임팩트 시점에서 94.2±1.1°, 팔로스로우에서는 87.4±1.2° 로 나타났으며, 여자 피험자의 경우 준비 자세에서는 74.9±2.9°, 백스윙에서는 116.2±6.5°, 임팩트 시점에서 93.3±6.5°, 팔로스로우에서는 71.1±1.9° 로 나타났다.

2) 무릎각(Knee angle)

<Table 5>에 나타난 바와 같이 왼쪽발 무릎 각의 변화를 살펴보면, 남자 피험자 A1의 경우 E1에서 136.4°, E2에서는 146.3°, E3시점에서 152.1°, E4에서는 131.7° 로 나타났으며, 피험자 A2는 E1에서는 159.7°, E2에서는 148.2°, E3시점에서 149.3°, E4에서는 140.4° 로 나타났다. 여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 169.0°, E2에서는 153.0°, E3시점에서 158.3°, E4에서는 149.9° 로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 158.1°, E2에서는 153.6°, E3시점에서 159.8°, E4에서는 141.3° 로 나타났다. 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 무릎 각의 평균값에 변화를 살펴보면 남자 피험자의 경우 준비 자세에서는 148.1±16.4°, 백스윙에서는 147.2±1.3°, 임팩트 시점에서는 150.7±2.0°, 팔로스로우에서는 136.0±6.1° 로 나타났으며, 여자 피험자의 경우 준비 자세에서는 163.6±7.7°, 백스윙에서는 153.3±0.4°, 임팩트 시점에서는 159.1±1.0°, 팔로스로우에서는 145.6±6.0° 로 나타났다.

Table 5. Angle of right knee joint (unit: deg)

Subject	Event	E1	E2	E3	E4
M	A1	136.4	146.3	152.1	131.7
	A2	159.7	148.2	149.3	140.4
	M±SD	148.1 ±16.4	147.2 ±1.3	150.7 ±2.0	136.0 ±6.1
F	B1	169.0	153.0	158.3	149.9
	B2	158.1	153.6	159.8	141.3
	M±SD	163.6 ±7.7	153.3 ±0.4	159.1 ±1.0	145.6 ±6.0

4. 속도 변인

본 연구의 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 라켓헤드의(수평, 수직)속도에 대한 결과는 다음과 같다.

1) 라켓헤드의 수평 속도

<Table 6>과 <Figure 7>에 나타난 바와 같이 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 스트레이트 방향의 타구 때 수평 방향의 라켓헤드 속도를 살펴보면, 남자 피험자 A1의 경우 E1에서는 0.13 m/s, E2에서 -0.92 m/s, E3시점에서는 8.14 m/s, E4에서는 -0.80 m/s로 나타났으며, 피험자 A2는 E1에서는 3.24 m/s, E2에서는 -1.56 m/s, E3시점에서는 9.30 m/s, E4에서는 -1.02 m/s로 나타났다. 여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 -0.29 m/s, E2에서 0.48 m/s, E3시점에서는 6.50 m/s, E4에서는 -0.75 m/s 로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 -0.29 m/s, E2에서는 -0.55 m/s, E3에서 7.23 m/s, E4에서는 -0.11 m/s로 나타났다. 남자선수의 평균 속도는 E1에서 1.68±2.19 m/s, E2에서는 -1.24±0.45 m/s, E3에는 8.72±0.81 m/s, E4시에는 -0.91±0.15 m/s이었다.

Table 6. Horizontal velocity of racket-head (unit: m/s)

Subject	Event	E1	E2	E3	E4
M	A1	0.13	-0.92	8.14	-0.80
	A2	3.24	-1.56	9.30	-1.02
	<i>M±SD</i>	1.68 ±2.19	-1.24 ±0.45	8.72 ±0.81	-0.91 ±0.15
F	B1	-0.29	0.48	6.50	-0.75
	B2	-0.29	-0.55	7.23	-0.11
	<i>M±SD</i>	-0.29 ±0.00	-0.03 ±0.73	6.86 ±0.51	-0.43 ±0.45

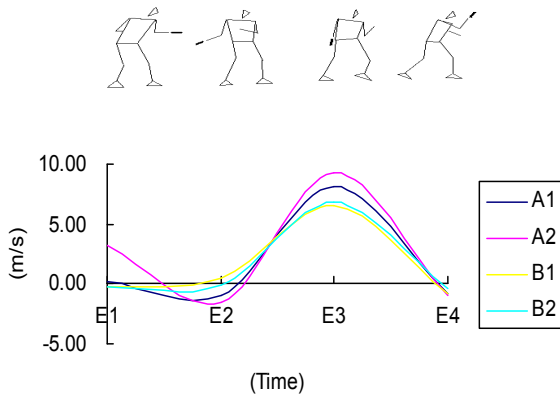


Figure 7. Horizontal velocity of racket-head

2) 라켓헤드의 수직 속도

<Table 7>과 <Figure 8>에 나타난 바와 같이 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 스트레이트 방향의 타구 때 수직방향의 라켓헤드 속도를 살펴보면, 남자 피험자 A1의 경우 E1에서는 -0.27 m/s, E2에서는 1.75 m/s, E3시점에서는 4.73 m/s, E4에서는 -1.12 m/s 로 나타났으며, 피험자 A2는 E1에서는 -0.59 m/s, E2에서는 5.10 m/s, E3시점에서는 5.15 m/s, E4에서는 0.77 m/s 로 나타났으며, 피험자 B1의 경우 E1에서는 -0.43 m/s, E2에서는 0.90 m/s, E3시점에서는 4.94 m/s, E4에서는 -0.17 m/s 로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 -0.17 m/s, E2에서는 0.91 m/s, E3시점에서는 4.23 m/s, E4에서는 -0.34 m/s 로 나타났으며, 여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 -0.34 m/s, E2에서 0.07 m/s, E3에서 4.69 m/s, E4에서는 0.15 m/s 로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 0.00 m/s, E2에서는 1.74 m/s, E3시점에서는 3.76 m/s, E4에서는 -0.85 m/s 로 나타났으며, 남자 피험자의 수직방향 라켓헤드의 평균속도 변화를 살펴보면, P2국면이 가장 빠르게 움직인다고 볼 수 있는데 그중에서 임팩트 순간이 가장 빠르게 나타났으며, 남자 피험자의 경우 임팩트 순간의 라켓헤드 속도가 4.94±0.29 m/s, 여자 피험자의 경우 임팩트 순간의 속도가 4.23±0.65 m/s 로 가장 빠르게 나타났다.

다. 여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 -0.34 m/s, E2에서 0.07 m/s, E3에서 4.69 m/s, E4에서는 0.15 m/s 로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 0.00 m/s, E2에서는 1.74 m/s, E3시점에서는 3.76 m/s, E4에서는 -0.85 m/s 로 나타났다. 남, 여 피험자의 수직방향 라켓헤드의 평균속도 변화를 살펴보면, P2국면이 가장 빠르게 움직인다고 볼 수 있는데 그중에서 임팩트 순간이 가장 빠르게 나타났으며, 남자 피험자의 경우 임팩트 순간의 라켓헤드 속도가 4.94±0.29 m/s, 여자 피험자의 경우 임팩트 순간의 속도가 4.23±0.65 m/s 로 가장 빠르게 나타났다.

Table 7. Vertical velocity of racket head (unit: m/s)

Subject	Event	E1	E2	E3	E4
M	A1	-0.27	1.75	4.73	-1.12
	A2	-0.59	5.10	5.15	0.77
	<i>M±SD</i>	-0.43 ±0.22	0.90 ±1.20	4.94 ±0.29	-0.17 ±1.34
F	B1	-0.34	0.07	4.69	0.15
	B2	0.00	1.74	3.76	-0.85
	<i>M±SD</i>	-0.17 ±0.25	0.91 ±1.18	4.23 ±0.65	-0.34 ±0.70

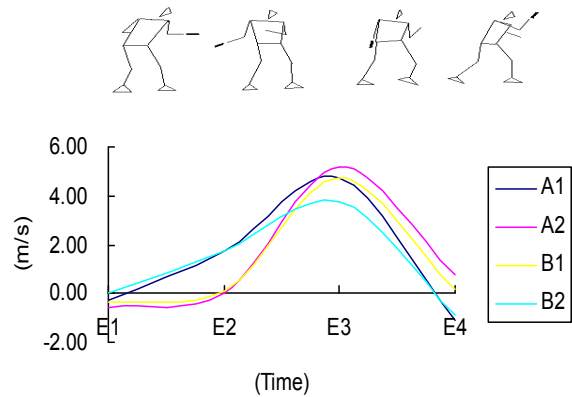


Figure 8. Vertical velocity of racket head

5. 지면 반력

본 연구의 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 각 이벤트별 지면반력(전후, 좌우, 상하)의 결과는 다음과 같다.

1) 지지발의 전후 지면반력

<Table 8>과 <Figure 9>에 나타난 바와 같이 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 스트레이트 방향의 타구 때 지면반력의 전후 성분 값을 살펴보면, 남자 피험자 A1의 경우 E1에서는 -72.4 N, E2에서는 108.4 N, E3시점에서는 3.9 N, E4에서는 -50.8 N으로 나타났으며, 피험자 A2는 E1에서는 31.2 N으로, E2에서는 22.6 N, E3시점에서는 23.3 N, E4에서는 -32.7 N으로 나타났다.

여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 2.1 N, E2에서는 102.3 N, E3 시점에서는 22.6 N으로, E4에서는 -27.4 N으로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 -24.0 N으로, E2에서는 93.0 N, E3시점에서는 32.8 N으로, E4에서는 -37.8 N으로 나타났다. 지면반력의 남녀, 전후 성분 평균값의 변화를 살펴보면, A1을 제외한 3명의 선수가 E2인 백스윙에서 최대값을 보였으며, 여자 피험자의 경우 평균 97.7±6.5 N으로 백스윙 순간에 최대값을 나타냈다.

Table 8. Anteroposterior ground reaction force of foot (unit: N)

Subject	Event	Event			
		E1	E2	E3	E4
M	A1	-72.4	108.4	3.90	-50.8
	A2	31.2	22.6	23.3	-32.7
	<i>M±SD</i>	-20.6 ±73.2	65.5 ±60.6	11.6 ±16.4	-41.8 ±12.7
F	B1	2.1	102.3	22.6	-27.4
	B2	-24.0	93.0	32.8	-37.8
	<i>M±SD</i>	-10.9 ±18.5	97.7 ±6.5	27.7 ±7.1	-32.6 ±7.3

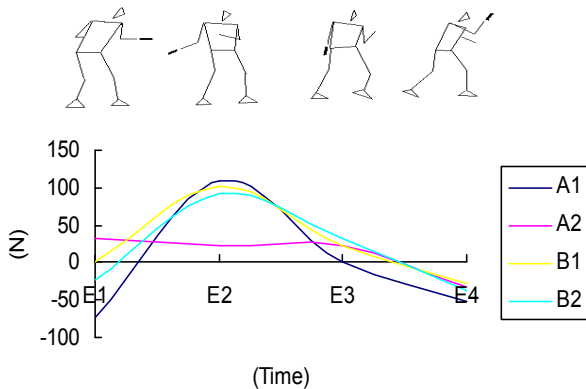


Figure 9. Anteroposterior ground reaction force of foot

2) 지지발의 좌우 지면반력

<Table 9>와 <Figure 10>에 나타난 바와 같이 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 스트레이트 방향의 타구 때 지면반력의 좌우 성분 값을 살펴보면, 남자 피험자 A1의 경우 E1에서는 141.2 N으로, E2에서는 121.3 N, E3시점에서는 3.7 N, E4에서는 -17.8 N으로 나타났으며, 피험자 A2는 E1에서는 57.2 N으로, E2에서는 58.2 N으로, E3시점에서는 81.6N, E4에서는 4.5 N로 나타났다. 여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 48.5 N으로, E2에서는 83.0 N, E3시점에서는 -6.3 N, E4에서는 -2.9 N으로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 86.2 N으로, E2에서는 79.8 N, E3시점에서는 68.6 N, E4에서는 -13.0 N로 나타났다. 지면반력의 남, 여 좌우 성분 평균값의 변화를 살펴보면, 남자선수의 경우 평균

99.2±59.4 N으로 E1인 준비 자세에서 최대 지면반력값을 나타냈고, 여자 피험자의 경우 E2인 임팩트 시에 평균 81.4±2.2 N으로 최대 좌우 지면반력 값을 나타냈다.

Table 9. Bilateral ground reaction force of foot (unit: N)

Subject	Event	Event			
		E1	E2	E3	E4
M	A1	141.2	121.3	3.70	-17.8
	A2	57.2	58.2	81.6	4.5
	<i>M±SD</i>	99.2 ±59.4	89.8 ±44.5	40.8 ±57.7	-6.6 ±15.8
F	B1	48.5	83.0	-6.3	-2.9
	B2	86.2	79.8	68.6	-13.0
	<i>M±SD</i>	67.3 ±26.6	81.4 ±2.2	31.1 ±52.9	-8.0 ±7.1

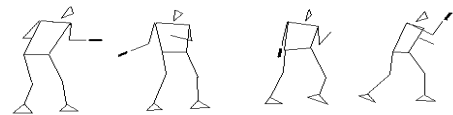


Figure 9. Anteroposterior ground reaction force of foot

3) 지지발의 상하 지면반력

<Table 10>과 <Figure 11>에 나타난 바와 같이 지면반력의 수직성분 값을 살펴보면, 남자 피험자 A1의 경우 E1에서는 539.6 N으로, E2에서는 527.2 N, E3시점에서는 0.0 N, E4에서는 55.2 N로 나타났으며, 피험자 A2는 E1에서는 347.4 N으로, E2에서는 472.2 N, E3시점에서는 467.1 N, E4에서는 34.4 N으로 나타났다. 여자 피험자 B1의 경우 E1에서는 141.6 N, E2에서는 422.8 N, E3시점에서는 120.9 N, E2에서는 63.4 N으로 나타났으며, 피험자 B2는 E1에서는 231.4 N, E2에서는 616.1 N, E3시점에서는 323.1 N, E4에서는 51.7 N으로 나타났다. 지면반력의 남, 여 선수의 수직성분 평균값의 변화를 살펴보면, 남녀모두 백스윙인 E2에서 최대 수직력을 보였으며, 남자선수의 경우 평균 499.7±38.8 N으로, 여자 피험자의 경우 평균 519.5±136.7 N으로 최대 수직력을 나타냈다.

Table 10. Vertical ground reaction force of foot (unit: N)

Subject	Event	E1	E2	E3	E4
M	A1	539.6	527.2	0.00	55.2
	A2	347.4	472.2	467.1	34.4
	<i>M±SD</i>	443.5 ±135.8	499.7 ±38.8	233.5 ±330.3	44.8 ±14.7
F	B1	141.6	422.8	120.9	63.4
	B2	231.4	616.1	323.1	51.7
	<i>M±SD</i>	186.5 ±63.5	519.5 ±136.7	222.0 ±142.9	57.5 ±8.2

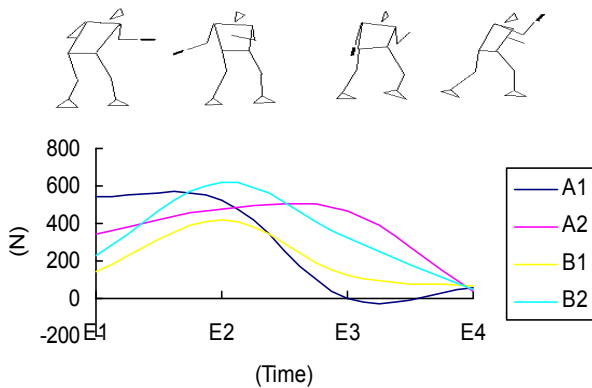


Figure 11. Vertical ground reaction force of foot

IV. 논 의

본 연구의 각 구간별 소요시간 결과에서 볼 때 P1은 준비 자세에서 백스윙 하는 구간으로 상대방 타구의 속도나 리듬에 따라 다소 차이가 있을 수 있으므로 기술동작의 직접적인 관계는 없지만, 상대방 드라이브의 위력을 이용하는 것으로 백스윙 동작은 크지 않고 간결하게 동작을 취하는 것이 효과적일 것으로 사료된다. P2에서 김종덕 등(1998)은 0.240 s, 정태웅 등(1998)은 0.270 s가 소요된다고 보고 하였는데, 본 연구에서는 평균 0.143 s로 전체적으로 임팩트 구간의 시간이 짧은 것으로 나타났다. 선수 B2는 임팩트 구간에서 가장 긴 소요시간을 보여 주었는데 이는 백스윙에서 임팩트까지의 속도가 볼의 초기속도와 회전에 중요한 영향을 미치며, 카운터 드라이브의 특징은 타이밍으로 강력한 드라이브를 걸어서 상대방에게 시간적인 여유를 주지 않고 궁지로 몰아넣는 것이기 때문에 소요시간을 단축 할 필요가 있을 것으로 사료된다. P3은 임팩트에서 팔로스로우 까지의 구간으로 선수들이 볼에 많은 회전을 가하기 위해 소요시간을 길게 하는 것이 유리 할 것으로 사료된다. 카운터 드라이브 동

작은 지지 발을 중심으로 하퇴와 대퇴, 몸통의 비틀림을 통해 견관절을 축으로 상완위와 전완의 회전 운동으로 빠른 임팩트 국면과 임팩트 시 볼과 라켓의 접촉시간을 최대로 하여 충격력의 증가와 볼에 많은 회전을 줄 수 있는 각 구간별 동작의 특성에 적합한 스윙 시간을 갖는 것이 경기력 향상에 긍정적일 것으로 사료된다.

박기혁(2001)은 대학여자선수들을 대상으로 한 신체중심 전후변위 연구에서 P1구간에서 0.05 m, P2구간에서 0.03 m, P3에서는 0.05 m의 전후차이가 있다고 보고 하였으며, 김옥성 등(2001)은 고등학교 남자선수들을 대상으로 한 연구에서 P1에서 0.01 m, P2에서 0.00 m, P3에서 0.03 m의 전후 이동이 있다고 하였다. 본 연구에서는 전 후 방향 신체중심의 이동 중 남자선수의 경우 백스윙에서 임팩트 시점까지가 체일 많이 이동한 거리로 나타났으며, 이는 백스윙에서 임팩트까지의 전상방의 이동 변위를 크게 확보함으로써 강한 추진력을 얻기 위한 동작으로 사료되며, 여자선수의 경우에는 준비 자세에서 백스윙까지 전후 이동이 많은 것으로 나타났다. 피험자 남, 여 4명의 포핸드 카운터 드라이브 동작 시 각 이벤트별 전후 신체중심 변위를 비교해보면, <Figure 5>에서 보듯이 남, 여 피험자 4명 모두 스윙 진행 시 신체중심이 후방으로 이동 하였다가 다음 동작을 위하여 제자리로 돌아온 다음 전방으로 진행하는 패턴을 나타내었는데, 이는 임팩트 시점에서 체중을 실어 스윙한 것으로 판단된다. 강상학 등(2006)은 드라이브 동작은 동체의 수직축을 중심으로 라켓헤드 방향으로 상체를 회전시킴과 동시에 이 축이 가슴 쪽으로 약간 기울어지며, 이런 동작을 통해 체중이 오른쪽으로 이동한다고 주장 했고, 국가대표 선수 대상으로 연구한 정태웅 등(1998)과, 고등학교 선수들을 대상으로 연구한 김옥성 등(2001)의 연구에서도 좌우 이동 폭은 좁게 하며 인체의 중심을 앞으로 하는 것이 좋다고 보고한 내용과 일치 하였다. 따라서 탁구 드라이브 동작 스윙 시 공에 파워 및 회전을 많이 주기 위해서는 임팩트 시 체중을 실어 스윙을 하기 위해 전방으로 움직임을 많이 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

박기혁(2001)의 신체 중심의 수직변위 연구에서는 P1에서 -0.12 m, P2에서는 0.06 m, P3에서 0.08 m의 상하차이가 나타났으며, 김옥성 등(2001)은 고등학교 남자선수들을 대상으로 한 연구에서 국면 P1에서 -0.07 m, P2에서 0.03 m, P3에서 0.01 m의 상하 이동이 있다고 하였다. 이는 백스윙일 때는 신체중심 변위가 점차 낮아지다가 포워드스윙에서 다시 신체중심이 높아지는 것을 알 수가 있다. 남, 여 피험자 4명의 각 이벤트별 상하 신체중심 변위를 비교해보면, <Figure 6>와 같이 피험자 모두 같은 패턴을 나타내고 있으며, 준비 자세에서 백스윙까지 중심이 낮아졌다가 백스윙 후 임팩트까지 상 방향으로 자세가 높아지며 임팩트 시점 후에서 팔로스로우 까지는 중심의 위치가 낮아지는 것을 알 수가 있다. 이는 백스윙 때 자세를 낮추어

기저 면을 넓게 함으로써 자세의 안정을 높여 임팩트 때 볼을 정확히 칠 수 있는 능력을 높여주며, 임팩트 후 신체를 상하방향으로 움직여 볼의 회전력의 증가에 도움을 주는 것으로 사료된다. 고수배(1999)는 너무 낮은 자세는 움직임이 늦어 포어사이드 쪽에서 오는 빠른 볼 처리에 어려움이 있고, 중심이 약간 높고 발뒤꿈치는 지면에 접지하지 말고 조금 뒤에서 앞으로 기울이는 자세가 바람직하다고 주장 하였다. 정태웅 등(1999)은 전후이동이 작고 상하운동과 팔의 각도를 크게 함으로써 전 상방으로의 선행적 스윙을 구사하여 보다 강력한 드라이브의 타법을 유지할 수 있다고 하였다.

본 연구의 팔꿈치 각도 변화 결과에서 남, 여 피험자 4명 모두 준비 자세에서 백스윙까지는 신전되었다가 임팩트 시에서는 굴곡 되었으며 임팩트 후에도 팔로스로우 까지 굴곡 되는 것으로 나타나 피험자들의 스윙동작의 패턴이 일정하게 유지됨을 알 수가 있었다. 이는 임팩트 순간에 팔꿈치 각도를 작게 하여 스윙팔의 회전반경을 작게 하여 선속도를 증가시키고 충격량을 크게 하여 볼을 팔로스로우까지 전상방으로 밀어 볼에 많은 회전을 주고 스피드를 높이는 것으로 사료된다. 김옥성 등(2001)은 E1에서 91.5°, E2에서는 148.7°, E3에서 91.5°, E4에서는 77.2°라고 하였으며, 박기혁(2001)은 여자선수의 경우 팔꿈치 각이 E1에서 78°, E2에서는 116.5°, E3에서 121.8°, E4에서는 101.0°로 보고 하였는데, 본 연구에서는 E3와 E4에서 팔꿈치각도가 작게 나타났다.

피험자 A1을 제외한 피험자 3명은 준비 자세에서 백스윙까지 무릎각이 감소되었는데, A1은 백스윙 시 무릎을 굽혀 중심을 낮추어야 할 것으로 사료되며 백스윙에서 임팩트 순간까지는 무릎각이 증가하며 팔로스로우 구간에서는 피험자 4명의 무릎각이 감소하는 것으로 나타났다. 박기혁(2001)은 대학 여자선수들을 대상으로 한 연구에서 E1에서 157.6°, E2에서는 144.3°, E3에서는 154.1°, E4에서는 153.0°의 결과를 보고 하여 본 연구와 유사한 패턴을 보였으며, 국가대표 선수 대상으로 연구한 정태웅 등(1998)과 고등학교 선수들을 대상으로 연구한 김옥성 등(2001)의 연구에서도 유사한 결과가 나타났다. 이는 보다 안정적인 자세 유지를 위해 준비 자세에서 백스윙까지는 낮은 자세를 유지하다가 포워드 동작이 시작된 후 무릎각이 커지며 임팩트 시점에서 최대가 된 후 부터 팔로스로우까지는 무릎이 굴곡 되는 것으로 사료된다.

김종덕 등(1998)은 드라이브 구간에서 라켓헤드의 수평 방향 속도가 10.26 m/s의 평균속도를 나타낸다고 하였고, 강희찬(2007)은 E2에서 0.82 m/s, E3에서 8.59 m/s를 나타낸다고 하였다. 정태웅 등(1999)의 남자 국가대표선수를 대상으로 한 연구 결과에서는 E1에서 3.00±0.04 m/s, E2에서는 -3.20±1.20 m/s, E3에서 11.50±2.30 m/s, E4에서는 -2.60±0.07 m/s로 본 연구의 결과에 비해 전 구간에서 속도가 빠르게 나타났으며, 특히 임팩트

시 속도의 차이가 크게 나타났다. 본 연구에서의 남, 여 피험자의 수평 방향 라켓헤드의 평균속도 변화를 살펴보면, P2구면이 가장 빠르게 움직인다고 볼 수 있는데 그중에 서도 임팩트 순간이 가장 빠르게 나타났으며, 남자 피험자의 경우 임팩트 순간의 라켓헤드 속도가 8.72±0.81 m/s, 여자 피험자의 경우 임팩트 순간의 속도가 6.86±0.51 m/s 로 각 이벤트 중 가장 빠르게 나타났는데, 이는 순간적으로 강한 힘을 가해 공에 속도를 높여 강하고 빠른 볼을 치고 볼에 대한 회전을 최대로 하여 상대방이 리시브 하지 못하도록 하기 위한 공격방법이라 사료된다.

정태웅 등(1999)은 선행연구에서 라켓헤드의 상하속도가 E1에서 0.80 m/s, E2에서는 1.10 m/s, E3시점에서는 4.10 m/s, E4에서는 1.80 m/s라고 보고 하여 본 연구와 유사한 패턴을 보였다. 드라이브는 원심력을 이용하는 타법으로 스윙을 크고 빠르게 치는 것이며 백스윙에서 임팩트 순간까지가 제일 빠른 속도로 움직여야 볼에 강한 충격을 줄 수 있어 이러한 결과가 나온 것이라 생각된다. 드라이브는 원심력을 이용하여 하체보다는 상체의 힘을 많이 이용하기 때문에 전후 지면반력 부분에서 힘의 작용이 크지 않게 나타난 것으로 보인다.

지지발의 상하 지면반력의 실험 결과로 미루어 보아 상하적인 측면에서는 몸통과 팔의 회전력만이 아닌 지지발과 하퇴, 대퇴와 몸통의 회전, 견관절과 상완, 전완에서 라켓으로 이어지는 힘의 전달 메카니즘에 의해 드라이브를 치는 것으로 사료된다. 본 연구를 통해 경기력 향상을 위한 효과적인 동작 모델로서 백스윙은 간결하고 임팩트는 빠리하고, 임팩트 후 팔로스로우까지는 길게 하여야 효과적일 것으로 사료된다. 또한, 백스윙 시 자세를 낮추어 안정감을 갖고 임팩트 시에 자세를 세우고 체중을 실은 상태로 팔꿈치의 각도를 작게 하여 빠른 스윙을 하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

V. 결론 및 제언

1. 결론

본 연구의 목적은 국가대표 남녀탁구 선수들을 대상으로 카운터 드라이브 기술을 3차원적으로 비교 분석하여 운동역학적 변인들을 정량적으로 규명하는데 있다. 이러한 연구목적을 달성하기 위해 소요시간, 신체 중심변위, 각 관절의 각도, 라켓속도와 지면반력 등을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 신체중심은 후방으로 이동 하였다가 제자리로 돌아온 다음 전방으로 진행하는 패턴을 나타내었는데, 이는 임팩트 시점에서 체중을 실어 스윙한 것으로 사료된다. 상하변위

는 준비 자세에서 백스윙까지 중심이 낮아졌다가 백스윙 후 팔로스로우까지 중심의 위치가 높아졌으며, 백스윙 때 자세를 낮추어 기저면을 넓게 함으로써 자세의 안정을 높여 임팩트 시 볼의 회전력의 증가에 도움을 주는 것으로 사료된다.

- 2) 팔꿈치각은 준비 자세에서 백스윙까지 신전되었다가 임팩트와 팔로스로우까지 굴곡 되었으며, 무릎각은 준비 자세에서 백스윙까지 감소하다가, 임팩트 순간부터 무릎각이 증가하며 팔로스로우에서는 무릎각이 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 라켓헤드의 수평, 수직속도는 모두 제2국면의 임팩트순간에서 가장 빠르게 나타났으며, 이는 순간적으로 강한 힘을 가해 공에 속도와 회전을 증가시키는 것으로 사료된다.
- 4) 지면반력의 남, 여 전 후 성분 평균값의 변화를 살펴보면, A1을 제외하고 E2인 백스윙에서 최대값을 보였으며, 좌우 평균값은 남자선수의 경우 평균 99.2±59.4 N으로 E1에서 최대 지면 반력값을 나타내었고, 여자의 경우 E2인 임팩트 시에 평균 81.4±2.2 N으로 최대값을 나타냈다. 수직성분 평균값은 남녀모두 백스윙인 E2에서 최대 수직력을 보였으며, 남자선수의 경우 평균 499.7±38.8 N으로, 여자 피험자의 경우 평균 519.5±136.7 N으로 최대 수직력을 나타냈다.

2. 제언

본 연구를 수행한 결과 추후 연구를 위해 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

- 1) 라켓의 종류를 세이크핸드 그립으로 제한하지 말고 펜홀더 그립이나 이면 타법그립 까지 광범위한 연구가 요구 된다.
- 2) 본 연구에서는 스트레이트 성 타구로만 국한 하였지만, 차후연구에서는 다양한 구질의 타구동작에 대한 연구가 요구된다.
- 3) 본 연구에서는 카메라의 촬영 속도를 120 frame/sec/s로 하였지만 카메라의 촬영 속도를 최소 200 frame/sec/s 이상으로 높여 임팩트 동작의 정밀한 운동학적 분석이 요구된다.

참고문헌

강상학, 손원일(2007). 테니스 양손 백핸드 스트로크 스윙자세의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 17(1), 41-52.
 강상학, 손원일(2006). 탁구 그립 유형별 드라이브 동작분석. **한국체육 학회지**, 17(3), 67-78.
 강희찬(2007). **한국과 중국의 여자탁구 선수들의 카운터드라이브**

이브 기술동작 비교 분석. 체육과학연구원, 1급 경기지도자 현장적용연구 보고서.
 고수배(1999). **탁구 카운터드라이브 동작의 운동학적 특성분석**. 체육과학연구원, 1급 경기지도자 현장적용연구 보고서.
 권의준(2002). 탁구 포핸드 스매싱시 숙련자, 비숙련 자간 신체 의 구축과 볼의 정확성에 관한 비교연구. **한국체육 교육학회지**, 7(2), 55-61.
 김미영(1998). **탁구의 그립 유형별 포핸드 스트로크와 백핸드 스트로크의 운동학적 분석**. 미간행 석사학위논문. 성신여대 교육대학원.
 김육성, 김정태(2001). **탁구 드라이브 동작의 운동학적 특성 분석**. 미간행 석사학위 논문. 창원대학교 교육대학원.
 김종덕, 김미영(1998). 탁구의 그립유형별 Forehand Stroke와 Backhand Stroke의 운동학적 분석, **한국사회체육학 회지**, 7(1), 413-424.
 김춘수(1998). **탁구선수의 드라이브에 관한 분석**. 미간행 석사학위논문. 건국대학교 교육대학원.
 박기혁(2001). **탁구 세이크핸드 그립 포핸드 드라이브 동작의 운동학적 특성분석**. 미간행 석사학위논문. 용인대학교 대학원.
 박영구(1992). **탁구의 스매싱시 라켓의 운동각도에 따른 요 인분석**. 미간행 석사학위논문. 건국대학교교육대학원.
 손원일(2008). 탁구 포핸드 드라이브와 스매시의 각운동량 분석. **한국운동역학회지**, 18(1), 11-19.
 이강현 외 3명(1992). **탁구 훈련지도서**. 한국체육과학연구원.
 이견범(1981). 탁구의 그립유형별 스트로크와 Footwork에 대한 분석. **동대논문 제 11집**.
 이민형(2009). **탁구 포핸드 드라이브동작의 운동역학적 분석**. 석사학위논문, 서울산업대학교대학원.
 정태웅, 손명성(1998). 탁구 드라이브와 스매시 동작의 운동학적 분석. **한국체육학회지**, 37(3), 367-380.
 Alex, S., & Francois, X., L.(2007). Expertise and the control of interception in table tennis. *European Journal of Sport Science*, 7(4), 213-222.
 Chandler, R. F., Clauser, C. E., McConville, J. T., Reynolds, h. M., & Yiong, J. W.(1975). Investigation of inertial properties of the human body. *U. S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration*.
 Mattieu L., Luc, C., Maarten, G., Peter, D., Joanne, W., Eliane, M.(2000). Saccadic eye movements and finger reaction times of table tennis players of different levels. *Neuro-Ophthalmology*, 24(2), 335-338.
 Sergio, T., Rodrigues J, N., Vickers., A. & M., Williams(2002). Head, eye and arm coordination in table tennis. *Journal*

of Sports Sciences, 20, 187-200.

Yoichi, I., Teruaki, M., & Takeji, K.,(2008). Contribution of upper Limb rotations to racket velocity in table tennis backhands against topspin and backspin. *Journal of Sports Sciences*, 26(3), 287-293.

Yoichi, I., & Takeji K.(2009). Kinematics of table tennis topspin forehands: effects of performance level and ball spin. *Journal of Sports Sciences*, 27(12), 1311-1321.