



남자 국가대표 정구선수 포핸드 미들 발리 동작의 운동역학적 분석

Kinetic Analysis of the Movement of Soft Tennis Forehand Middle Volley

이성희 · 허정(대구가톨릭대학교) · 김현수*(대전대학교)

Lee, Sung-Hee · Heo, Jeong(Daegu Catholic University) · Kim, Hun-Soo*(Daejeon University)

국문요약

본 연구는 정구 남자 국가대표 전위선수 4명(33.3±2.16세)을 대상으로 포핸드 미들발리에 대한 운동학적, 운동역학적 분석을 통하여 기초 자료를 제공하는데 있다. 분석결과, 스윙시간은 1구간이 64.7%로 가장 길게 나타났고, 인체중심의 이동변위는 1구간에서 오른쪽으로 48.1%, 전방으로 54.4%를 차지하였다. 임팩트 시 팔꿈치 관절의 속도와 상완분절의 각속도에서 각각 평균 3.67m/s와 201deg/s로 가장 빠르게 나타났으며, 이는 네트 위에서 임팩트 되도록 하기 위해 팔을 빠르게 신전시켰기 때문이라 사료된다. 이때의 팔꿈치 각도와 볼 속도는 각각 평균 149°와 18.9m/s이었다. 지면반력에 있어서 왼발과 오른발의 X와 Y방향의 분력에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 이는 왼발이 오른쪽으로 밀 때 오른발은 그 힘에 대칭적으로 비례하여 왼쪽 방향으로 지지대 역할을 한 것으로 사료된다.

ABSTRACT

S. H. LEE, J. HEO, and H. S. KIM, Kinetic Analysis of the Movement of Soft Tennis Forehand Middle Volley. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 19, No. 4, pp. 749-759, 2009. The purpose of this study was to provide basic information for improving a soft tennis forehand middle volley technique based on kinematic and kinetic analyses of volleys performed by four male national tennis players(33.3± 2.16 years). The results are as follows. The first phase of the stroke was the longest, covering 64.7% of the stroke time. The displacement of the center of gravity was 48.1% to the right and 54% to the front in the first phase. When impacted, the elbow joint showed the highest average velocity, 3.67m/s, and the upper arm segment displayed the highest angular velocity, 201° /s. The average of the elbow angle and the ball velocity were 149° and 18.9 m/s, respectively. In the ground reaction force, the left and right foot forces in both the x and y directions showed a statistically significant difference. This result seems to indicate that when the left foot is pushed to the right, the force of the right foot is proportional and symmetrical to the left, serving as a supporter.

KEYWORDS : SOFT TENNIS, FOREHAND MIDDLE VOLLEY, VELOCITY, GROUND REACTION FORCE

I. 서론

인간의 움직임은 다양한 형태로 분류할 수 있고, 이러한 움직임은 언제라도 여러 방향으로 변할 수 있으나 특별한 기계, 기구를 사용하지 않는 한 그 움직임은 지구상의 다른 물체의 운동과 같이 항상 물리적인 법칙에 의해 지배 받게 된다. 그것이 손과 발의 국소적이고, 부분적인 운동일지라도 원칙적으로는 이 범주 내에서 움직이기 때문에 운동 양식이라는 관점에서 역학적 법칙성이 중요하다 할 수 있다. 여러 가지 운동 종목 중에서 라켓을 사용하여 경기를 하는 운동 종목도 과학의 발달로 인하여 라켓의 탄력성, 줄이나 프레임의 탄성, 볼의 구질 등이 발전해 나가고 있다. 이 중에서 정구를 제외한 다른 종목들은 오래전부터 올림픽 정식종목으로 채택되어 국내외에서 많은 연구가 되어 있어 스포츠의 과학화에 앞장서 왔다고 할 수 있다(오윤경, 2008; 유남규, 2006; 이동진, 2009; Rafael & Bahamonde, 2000).

그러나 정구는 세계정구연맹에 총 60여 개국이 가입되어 있으며 4년마다 개최되는 세계정구선수권대회와 1994년 히로시마 아시아 경기대회에서부터 정식종목으로 채택되어 효자 종목으로 발전을 거듭하고 있지만, 아직 정구에 대한 연구, 특히 운동역학적으로 분석된 논문(김현수, 2000; 신준용, 2001)은 부족하다.

정구에서 후위 기술은 그라운드 스트로크가 대부분을 차지한다고 할 수 있고, 전위 기술은 발리가 대부분을 차지한다고 할 수 있을 만큼 전위의 기술면에서 상당히 중요하다고 할 수 있으며, 이러한 발리 기술은 볼이 바운드가 되기 전에 짧은 백스윙과 간단한 포워드 스윙으로 볼을 임팩트 시키는 동작으로 백스윙(back swing), 포워드 스윙(forward swing), 임팩트(impact), 팔로스로(follow through) 동작으로 구분할 수 있다. 이 중 포워드 스윙은 백스윙에서 임팩트 직전까지의 동작으로 라켓에 힘을 가하고 볼을 라켓으로 맞출 때 힘을 결정하며, 임팩트에서는 손목스냅을 이용하여 볼의 가속도와 방향을 결정하는 중요한 단계이다.

이성희(1995)는 “전위의 득실점 순간에 있어서 제반 기술별 사용 빈도를 보면, 전체적으로 Forehand volley (38.8%), Back hand volley(25.7%), Smashing (15.6%) 순

이다” 라고 하였고, 홍영미(2005)는 “득점을 많이 한 Stroke는 Forehand volley, Smash, Back hand volley, Passing 순으로 나타났다” 고 하였다. 이와 같이 과거 경기 내용 분석을 한 연구를 보면 전위 발리 기술의 중요성을 단편적으로 나타내주는 것이라 할 수 있으며, 후위의 서비스와 그라운드 스트로크 기술은 득점력보다는 전위가 득점을 할 수 있도록 경기를 지속적으로 연결하는 기술이라고 할 수 있는 반면, 전위의 발리기술은 후위의 연결 기술을 바탕으로 전체적인 경기의 흐름을 파악하여 득점을 할 수 있는 공격 기술이라고 할 수 있다.

이러한 발리 기술의 목적은 상대편 선수의 그라운드 스트로크 기술을 제어하여 득점과 함께 유리한 입장에서 경기를 운영하고자 하는데 있으며, 또한 심리적으로도 상대방을 제압할 수 있는 중요한 기술이라는 점에서 누구라도 인정하고 있는 사실임에도 불구하고, 국내에서 정구 발리에 대한 기술 연구를 시도한 적은 없다.

이에 본 연구에서는 정구 남자 국가대표 전위선수 4명을 대상으로 포핸드 미들 발리 동작 시 3차원 영상분석법과 지면 반력기를 이용한 운동학적·운동역학적으로 중심변인과 속도변인, 각 방향의 분력에 대한 특성을 분석하여 일선에서 정구를 지도하는 지도자나 코치, 선수들에게 도움이 될 수 있는 기초 자료를 제공하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

표 1. 피험자의 신체적 및 라켓 특성

Subjects	Age (yrs.)	Height (cm)	Weight (kg)	Career (yrs.)	Racket mass(g)	Racket tension(lb)
S1	36	186	86	25	238	50
S2	34	172	86	24	238	42
S3	30	177	74	19	238	35
S4	33	177	85	22	238	45
M	33.3	178	82.8	22.5	238	43
SD	2.16	5.04	5.06	2.29	0.00	5.43

본 연구의 피험자는 정구 남자 국가대표 오른손잡이 전위선수 4명으로 선정하였으며, 피험자의 연령, 신장,

체중, 그리고 운동 경력의 평균 및 표준편차는 <표 1>과 같다.

2 실험 절차

1) 일반 실험 절차

본 연구의 실험 장소는 실험 장비가 갖춰진 실험실에서 실시하였다. 정구장과 같은 조건으로 만들기 위해 센터 라인과 서비스 엔드라인을 표시하였고, 인체에 부착된 랜드 마크가 잘 보일 수 있도록 배드민턴 네트를 설치하여 실험을 실시하였다.

준비 자세에서 발의 지면 반력을 측정하기 위해서 한쪽 발에 1대씩, 총 2대의 지면 반력기를 설치하였으며, 그 주위에 지면 반력기와 동일한 크기의 보조판을 20개 설치하여 포핸드 미들 발리 연습을 하는데 불편함이 없도록 하였다. 네트의 높이는 지면 반력기 위에서 106cm 높이로 고정하였으며, 포핸드 미들 발리 동작을 원활하게 수행하고자 20분간의 준비운동을 하고 난 후 실험공간에서 포핸드 미들 발리 연습을 하였다.

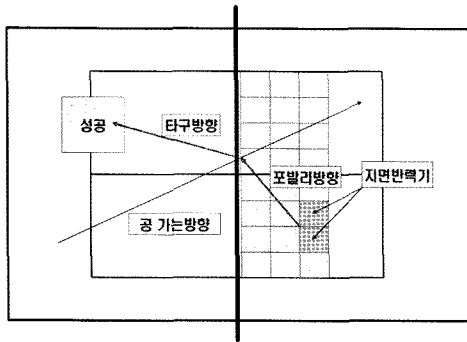


그림 1. 포핸드 미들 발리

볼을 넣어주는 사람은 과거 국가대표 후위 선수 경험이 있는 현직 정구감독으로, 네트에서 7m 떨어진 지점에서 시속 115km~ 120km의 속도로, 네트 높이에서 30cm의 높이로 볼을 넣어 주었다. 한 명의 선수가 포핸드 미들 발리를 3회씩 실시하였고, 실패한 경우에는 성공할 때까지 <그림 1>과 같이 시도 하였다.

2) 영상 분석 절차

영상 촬영을 위한 5대의 고속카메라는, 발리 동작을 포함하는 통제점 틀이 완전히 상에 잡히도록 해서 진행 방향의 좌측 방향과 우측 방향에 각각 3m의 거리를 두고 1대씩 설치하였고, 그리고 좌측 후방과 우측 후방에 5m의 거리를 두고 1대씩 설치하였으며, 진행방향의 정면에 8m의 거리를 두고 1대를 설치하였다. 실험기구의 배치는 <그림 2>와 같다.

고속 카메라의 높이는 1.5m의 높이로 지면과 수직이 되도록 설치하였고, 카메라의 개각도는 45°, 노출시간은 1/1000s, 촬영속도는 200frame/s로 하였으며, 동조용 LED가 카메라 상안에 포함되도록 설치하였다. 발리 동작의 촬영은 실제 동작을 촬영하기 전에 통제점 틀을 약 1분간 촬영하고 제거한 후에 이루어졌다.

선수는 인체 관절점의 정확한 디지털이징을 위해 검은색 수영복과 수영모를 착용하고, 정확한 관절점을 찾기 위한 인체 랜드마크는 인체 37개, 라켓 5개, 발에 1개를 부착하였고, 총 43개의 각 마커들이 다 보이는 자세에서 정지 영상을 얻기 위해 촬영 후 본 실험에 들어갔다.

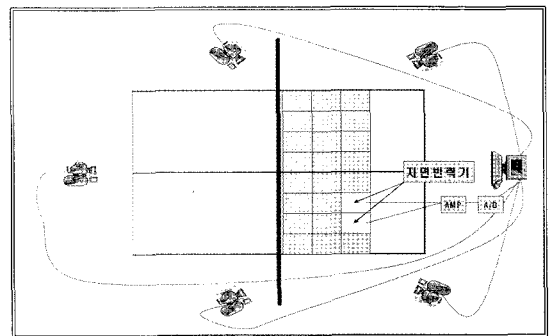


그림 2. 실험장비 설치도

3) 지면 반력 실험 절차

지면 반력기는 지면과 수평을 유지하여 발리 동작의 준비 자세를 원활하게 수행할 수 있도록 좌·우 방향으로 설치하였고, 피험자의 자연스러운 포핸드 미들 발리 동작 수행을 위해 그 주위에 지면반력기와 동일한 크기 20개의 보조판을 설치하였다(그림 2).

매 시도에서 선수는 지면반력기 위에 두 발을 위치시키는 준비 자세를 갖도록 하였으며, 참가자의 발리 동작에 대한 데이터가 충분히 처리될 수 있도록 자료수

집 시간은 3초로 하였으며, 시작 신호, 준비자세, 백스윙 자세, 임팩트 자세 그리고 팔로스로까지 맞춰 동조용 트리거 신호를 발생하였다. 지면 반력의 샘플링 속도는 250Hz로 설정되었으며, 지면반력기에서 얻은 자료는 A/D 변환기를 통해 디지털 자료화 하여 지면반력 분석 프로그램 (KwonGRF 2.0)을 이용해 분석하였다.

3. 자료 처리

1) 영상자료 처리

통제점 틀의 좌표화는, 높이 2m, 길이 3m, 폭 2m의 통제점 틀에 표시되어 있는 총 62개의 통제점이 정해진 순서에 따라 세 번씩 좌표화 된 후, 파일로 저장되었다. 볼의 진행 방향을 Y축, 지면과 수직 방향을 Z축, 그리고 Y축과 Z축의 벡터의 외적을 X축(베이스 라인과 평행)으로 설정하였다.

인체 관절점의 좌표화는 인체를 37개의 관절점에 의해 연결된 강체로 보고, 라켓의 구분점 다섯 개와 볼의 구분점 한 개를 합쳐 총 43개의 포인트가 좌표화 되었다. 이때 인체 분절 자료(Body Segment Parameters)와 통제점의 좌표화, 인체 관절 중심점과 라켓의 좌표화, 동조, DLT 방법에 의한 3차원 좌표의 계산과 자료의 스무딩은 Kwon3D XP 프로그램이 이용되었다. 또한 영상 좌표화 과정에서 나타나는 노이즈를 최소화하기 위해 저대역통과필터(Butter worth low-pass digital filter)가 사용되었고, 차단주파수는 신체의 경우 8Hz, 볼의 경우는 250Hz로 설정되어 처리되었다.

2) 영상자료와 지면 반력 자료의 동조

영상자료와 지면반력 자료의 동조를 위해 동조용 발광다이오드(LED)와 트리거 신호가 사용되었으며, A/D 변환기의 16개 채널은 지면반력기 1대 당 여섯 개의 채널씩 총 12개의 채널을 점유할 수 있도록 하고, 나머지 4개 채널 중 1개 채널은 특정 이벤트를 설정할 수 있는 동조용 스위치가 연결되었다.

3) 이벤트(Event) 및 구간(Phase) 설정

본 연구의 이벤트 및 구간설정은 <그림 3>과 같이 하였다.

(1) 이벤트(Event)

- ① E1 : 준비 자세에서 라켓 탑이 움직이는 순간
- ② E2 : 라켓 탑이 포워드 스윙이 되는 순간
- ③ E3 : 임팩트 순간
- ④ E4 : 임팩트 후 팔로스로 순간

(2) 구간(Phase)

- ① I구간(Phase I) : 준비 자세에서 라켓탑이 움직이는 순간부터 백스윙이 끝난 자세까지의 백스윙 구간
- ② II구간(Phase II) : 백스윙자세에서 임팩트까지의 포워드 스윙 구간
- ③ III구간(Phase III) : 임팩트 순간부터 원발이 지면에 닿기까지의 팔로스로 구간

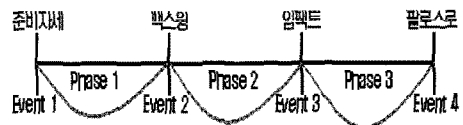
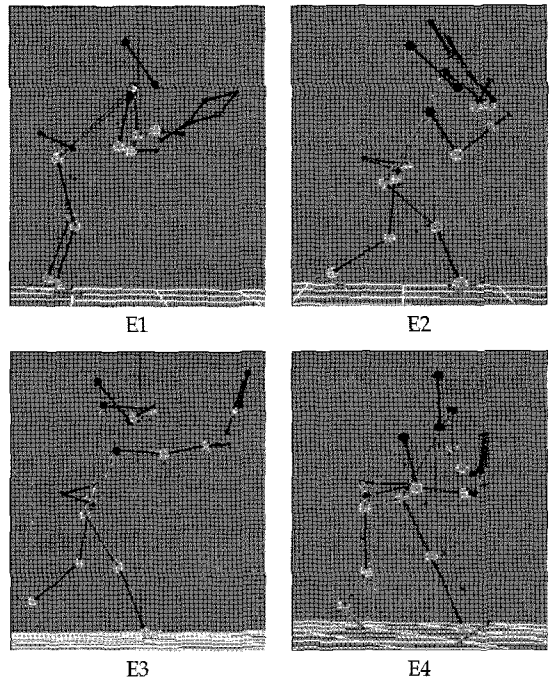


그림 3. 이벤트 및 구간

4) 운동학적 변인

정구 포핸드 미들 발리 동작에 대한 운동학적 변인은 스윙시간, 인체중심의 이동 변위, 임팩트 시 관절의 속도와 라켓 헤드 및 볼 속도, 각 관절의 각도, 분절의 각속도 요인으로 설정하여 분석하였다.

5) 운동역학적 변인

지면반력 변인의 분석은 Kwon GRF(ver. 2.0) 프로그램을 이용하여 좌우, 전후, 수직 방향에 대한 힘(Fx, Fy, Fz)과 종합적인 합력(R)을 분석하였다.

4. 통계 처리

본 연구과정에서 얻게 된 정구 포핸드 미들 발리 동작의 운동학적 및 운동역학적 변인들의 차이를 분석하기 위해 SPSS 14.0 통계프로그램을 이용하였고, 이를 이용하여 평균 및 표준편차를 구하였다. 구간별·이벤트별 차이 검정은 one-way ANOVA를 이용하여 검정하였고, 사후검정은 Duncan을 사용하였으며, 지면 반력 평균치치의 차이 검정은 독립 t-test를 실시하였다. 모든 값의 통계적 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 설정하였다.

III. 결과 및 논의

1. 3차원 영상분석

1) 스윙시간

표 2. 구간별 스윙 시간 (unit: sec)

Subjects	Phase I	Phase II	Phase III	Total
S1	0.87	0.11	0.32	1.29
S2	0.82	0.12	0.34	1.28
S3	0.96	0.11	0.32	1.39
S4	0.98	0.07	0.39	1.44
M±SD	.91±.08 ^c	.12±.05 ^a	.34±.03 ^b	1.35±.06
F=207.308 p=.000**				

** p<.01

a b c ; 사후검정에서 동일한 요인을 표시함

정구 발리 동작은 크게 백스윙, 포워드 스윙과 임팩트, 팔로스스로 나눌 수 있다. 스윙시간은 준비 자세에서부터 팔로스스까지의 시간을 말하며, 각 구간별 스윙 시간은 <표 2>와 같다. I구간은 발리 동작을 위해 라켓이 움직이기 시작하는 순간부터 백스윙의 끝까지(E1~E2)이고, II구간은 백스윙의 끝에서부터 임팩트 시점(E2~E3)까지이며, III구간은 임팩트부터 팔로스스로 동작의 끝까지(E3~E4)를 말한다.

<표 2>에서 나타난 바와 같이, 구간별 평균 스윙시간을 보면, II구간 0.12±.05초, III구간 0.34±.03초, I구간 0.91±.08초의 순으로 빠르게 나타났고, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 준비 자세에서 팔로스스까지 전체 스윙 시간의 평균은 1.35±.06초로 나타났으며, I구간이 67.4%를 차지하였다.

테니스 포핸드 발리를 분석한 고정중(1999)의 연구에서 I구간은 0.67초, II구간 0.16초로 나타나 차이 있는 결과를 나타내었는데, I구간에서는 정구 선수가 테니스 선수보다 0.24초가 길고, II구간에서는 정구 선수가 0.04초 빠른 것으로 보아 정구 포핸드 발리의 백스윙은 테니스 발리의 백스윙보다 크고, 포워드 스윙은 더 빠르다고 볼 수 있는데, 이는 정구 포핸드 발리 시 몸에서 멀리 벗어나는 볼을 치기 위해 백스윙이 큰 것으로 생각되며, 포워드 스윙이 빠른 것은 임팩트 시 볼을 힘 있게 치려는 방법으로 사료된다.

2) 인체 중심의 이동 변위

인체 중심의 이동 변위는 <표 3>에서 나타난 바와 같이 좌우이동변위의 평균을 보면, I구간 62.0±8.6cm, III구간 48.5±11.6cm, II구간 18.9±6.6cm 순으로 많이 이동하였고, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다(p<.01).

백스윙 구간인 I구간에서 전체 이동 변위의 48.1%를 차지하여 단순히 라켓만 뒤로 가져가는 것이 아니라 볼을 향해 우측 방향으로 왼발이 제1보 이동 되었다고 할 수 있으며, 포워드 구간인 II구간에서 거리가 짧은 것은, 오른발의 보폭을 작게 하여 임팩트를 정확하게 하기 위해서 중심의 이동이 작은 것으로 사료되고, 팔로스스로는 가속도에 의해서 이동변위가 II구간보다 큰 것으로 사료된다.

표 3. 인체 중심의 이동 변위 (unit: cm)

구분	Phase I	Phase II	Phase III	Total	F	p
좌우	M 62.0 ^b	18.9 ^a	48.5 ^b	129.5 ^b		
	SD 8.6	6.6	11.6	15.9		
	F=22.84		p=.000**			
전후	M 66.5 ^b	14.1 ^b	41.1 ^{ab}	112.2 ^a	69.33	.000**
	SD 12.5	6.8	27.6	26.2		
	F=8.54		p=.000**			
상하	M -5.9 ^a	-0.7 ^b	4.3 ^c	-2.35 ^b		
	SD 2.8	1.2	1.2	3.42		
	F=28.69		p=.000**			

** p<.01

a b c ; 사후검정에서 동일한 요인을 표시함

전후 이동 변위의 평균은 I 구간 66.5±12.5cm, III 구간 41.1±27.6cm, II 구간 14.1±6.8cm의 순으로 많이 이동하였고, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 백스윙 구간인 I 구간에서 전체 이동 변위의 54.4%를 차지하여 백스윙 시에 전방으로 이동을 많이 하는 것으로 나타났고, 좌우 이동 변위에서 오른쪽으로 이동하는 것과 연관 시킨다면 첫발을 내딛는 왼발이 우측과 전방의 사이인 대각선 방향으로 나가면서 발리를 하는 것으로 사료된다.

상하 이동 변위의 평균은 I 구간 -5.9±2.8cm, II 구간 -0.7±1.2cm, III 구간 4.3±1.2cm의 순으로 높게 나타났고, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다(p<.01).

준비 자세에서 팔로스스로까지 인체 중심의 상하 이동 변위는 중심이 낮은 준비 자세에서 임팩트 순간으로 갈수록 인체의 중심이 높아지는 경향을 나타냈으며, 이는 포핸드 미들 발리가 제자리에서 방어의 개념으로 수비 발리를 하는 것이 아니라 상대방의 기선제압을 위한 포인트를 획득하기 위하여 순간적으로 목표지점을 향하여 움직였기 때문인 것으로 사료된다.

준비 자세에서 팔로스스로까지 인체 중심의 전체 이동 변위의 평균은 좌우 129.4±15.9cm, 전후 122.2±26.2 cm, 상하 -2.3±3.4cm이며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 사후 검정 결과 포핸드 미들 발리 시 인체 중심의 전후이동 방향보다 좌우와 상하 방향으로 더 많이 이동 즉, 동작을 취하는 것으로 나타났다.

3) 임팩트 시 각 관절의 속도

표 4. 임팩트 시 각 관절의 속도 (unit: m/s)

구분	발목	무릎	엉덩이	어깨	팔꿈치	손목
S1	0.46	2.07	2.71	2.51	5.84	4.35
S2	1.23	1.72	1.99	2.32	3.15	3.96
S3	0.07	1.18	1.87	2.42	3.08	3.57
S4	0.10	1.63	1.71	1.97	2.60	2.37
M	0.47	1.65	2.07	2.31	3.67	3.56
SD	0.54	0.37	0.44	0.24	1.47	0.86

임팩트 시 각 관절의 속도를 <표 4>에 나타냈으며, 평균 속도는 발목 0.47±0.54m/s, 무릎 1.65±0.37m/s, 엉덩이 2.07±0.44m/s, 어깨 2.31±0.24m/s, 손목 3.56±0.86 m/s, 팔꿈치 3.67±1.47m/s의 순으로 나타났다.

일반적으로 속도 가중(summation of velocity)이라고 하는 것과(Elliott, Tony & Brian, 1986; Gheluwe & Hebbelinck, 1985; Yoshifuku, Ikegami & Sakurai, 1987; 太田, 小林, 土居, 1990), 근위에서 원위로 힘을 전달하는 분절 순서 이론에 따라 인체의 중심에서 가까운 분절에서부터 먼 분절로 속도가 빨라지는 것이 보통의 사례인데 반해, 정구 포핸드 발리에서는 팔꿈치의 속도가 손목의 속도보다 빨라지는 특성을 보여 분절 순서 이론에 적합하지 않은 결과가 나타났다. 이는 정구 선수들이 임팩트 시 타점을 네트 위에서 하기 위한 것과 볼을 강하게 임팩트 시키기 위한 방법으로 팔꿈치를 최대한 빠르게 신전시키면서 발리 동작을 취하기 때문이라고 사료된다.

S1과 S4는 팔꿈치의 속도가 손목의 속도보다 빠른 경향을 보였으나 S2와 S3은 분절 순서의 이론에 의해 손목의 속도가 팔꿈치 속도보다 빠른 경향을 보였다. 엉덩이의 속도를 보면, S1은 어깨속도보다 빠르지만 나머지 3명의 선수는 어깨 속도가 더 빠른 것으로 나타나 차이가 있었으며, S1이 엉덩이 속도가 빠르게 나타난 것은 임팩트 시에 오른발이 네트 쪽으로 더 많이 이동하는 것으로 사료된다.

4) 임팩트 시 라켓 헤드 및 볼 속도

<표 5>는 임팩트 시 라켓 헤드와 볼의 평균 속도로 각각 13.52±1.45m/s, 18.89±2.33m/s이었다. 테니스 포핸드 발리(고정중, 1999)에서 라켓 헤드의 속도는 11.74m/s로 정구는 테니스보다 1.78m/s정도 빠른 경향

표 5. 임팩트 시 라켓 헤드 및 볼 속도 (unit: m/s)

Subjects	라켓 헤드	볼
S1	12.25	20.44
S2	12.57	21.06
S3	13.82	15.95
S4	15.44	18.15
M±SD	13.52±1.45	18.89±2.33

을 나타내었는데, 이는 임팩트 시에 순간적으로 손목스냅을 더 많이 이용하였고, 볼 무게(테니스; 57~59g, 정구; 30~31g)의 차이로 인한 것으로 사료된다.

<그림 4>는 S1의 포핸드 미들 발리 시 라켓 헤드와 볼의 속도 경향을 나타낸 그림으로, 라켓 헤드 속도는 I 구간(0.54m/s~7.62m/s)에서 증가하였다가 E2에서 감소 후 임팩트 0.02초 직전에 최고속도 13.69m/s를 나타냈다가 속도가 약간 떨어지면서 임팩트 하는 경향을 보였다. 이는 볼을 정확하게 타구하여 목표지점에 보내려는 순간적인 조절에 의한 것으로 사료된다.

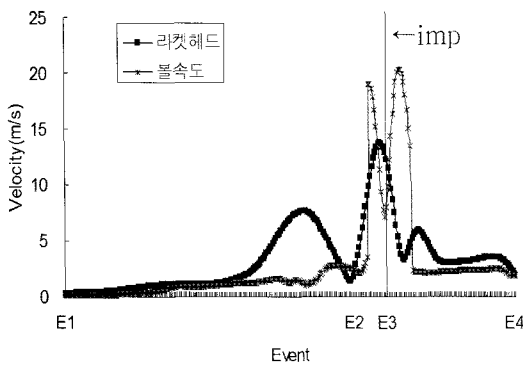


그림 4. S1의 임팩트 시 라켓 헤드 및 볼 속도

5) 관절의 각도

<표 6>은 임팩트 시 각 이벤트별 관절 각도로 손목의 평균 각도는 E3에서 142.5±6.7°, E2 126.2±3.9°, E4 123.5±16.9°, E1 120.6±9.6°의 크기순으로 나타났으며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다($p<.05$). 이벤트별로 차이가 있어 사후검정 결과, E3에서 E1, E4, E2보다 손목을 많이 신전 시키는 것으로 나타났다. 이는 정구

발리 동작 시 임팩트 순간에 손목 스냅을 이용하기 때문에 손목의 각도가 커지는 것으로 사료된다.

팔꿈치의 평균 각도는 E3 148.5±13.3°, E4 114.7±24.0°, E2 82.0±19.1°, E1 77.7±8.0°의 크기순으로 나타났으며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다($p<.01$). 이벤트별로 차이가 있어 사후검정 결과, E1, E2가 E4 보다 작고, E3에서 가장 많이 팔꿈치를 신전시키는 것으로 나타났다. 볼을 강하게 임팩트 하기위해 서는 가능한 한 팔꿈치를 최대한 신전시키면서 발리를 하는 것이 운동역학적인 원리이지만, 본 연구에서는 평균 148.5°인 것으로 보아 정구 포핸드 미들발리는 힘과 함께 컨트롤도 중요시 되는 것으로 사료된다.

상체의 평균 전경 각도는 E3 39.5±4.9°, E2 33.5±3.7°, E4 33.5±3.5°, E1 32.7±4.0°의 크기순으로 나타났으나, 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>.05$). 고정중(1999)의 테니스 포핸드 발리 연구 E1에서는 12.7°, E2 9.6°, E3 19.7°로 정구의 포핸드 발리하고는 확연한 차이를 보였고, 정구 선수가 상체를 각 이벤트별로 12.8°, 26.8°, 19.8°를 더 많이 굴곡 시키는 경향을 보였으며, 이는 발리의 정확성을 위해 공과 라켓 면, 시선을 일직선으로 연결시키는 위한 것으로 생각되며, 또한 네트에 가까이 붙어 플레이를 하려는 의지가 강한 것으로 사료된다.

무릎의 평균 각도는 E1 145.9±8°, E2 142.2±11.3°, E3 134.2±18.4°, E4 120.8±14.9°의 크기순으로 준비 자세에서 팔로스로 자세로 가면서 자세가 낮아지는 경향이 나타났지만, 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>.05$). 고정중(1999)의 테니스 포핸드 발리 연구에서 무릎 각도 E1에서는 147.3°, E2 120.1°, E3 138.5°로 준비 자세에서 백스윙으로 한 번 무릎이 더 굴곡 되었다가 다시 신전되어 임팩트 되는 경향을 보였지만, 본 연구 결과에서는 다른 경향이 나타났다.

강상학(2002)은 테니스 포핸드 스트로크 연구에서 “하반신을 이용한 무릎의 적절한 굴곡은 상체의 자세를 유지한 채 타점의 조절이 가능하며, 타점을 안정적으로 만들 수 있다” 했듯이 정구의 발리 자세 또한 무릎의 적절한 굴곡과 신전은 안정된 자세와 최대한의 힘을 발휘시켜 줄 수 있을 것이다.

<그림 5>는 S1의 포핸드 미들 발리 시 각관절의 경향을 전체적으로 나타낸 그림으로 상체만 제외한 세 관

표 6. 이벤트 별 관절의 각도

관 절		E1(1)	E2(2)	E3(3)	E4(4)	Duncan	F	p
손 목	M	120.6	126.2	142.5	123.5	1, 4, 2 < 3	3.51	.049*
	SD	9.6	3.9	6.7	16.9			
팔꿈치	M	77.7	82.0	148.5	114.7	1, 2 < 4 < 3	14.65	.000**
	SD	8.0	19.1	13.3	24.0			
상체전경	M	32.7	33.4	39.5	32.2	.	1.75	.211
	SD	4.0	3.6	4.8	7.2			
무릎	M	145.8	142.1	134.1	120.8	.	2.88	.081
	SD	0.8	11.3	18.4	14.8			

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

절 부분에서 백스윙(E2)직전 까지 최대로 굴곡 되었다가 임팩트(E3)로 향하면서 빠르게 신전되는 것을 볼 수 있다. 그리고 손목과 팔꿈치 관절은 거의 최대 신전 각도에서 임팩트가 되지만, 오른발 무릎관절은 최대로 신전이 되었다가 오른발이 지면에 접촉되는 순간 굴곡 되면서 임팩트(E3)되는 경향을 보였다. 상체전경각도는 큰 변화 없이 준비 자세에서의 자세를 팔로스로(E4)까지 유지하는 것으로 나타났다.

E2에서의 평균 각속도는 전완분절 $239.0 \pm 210.6 \text{ deg/s}$, 상완분절 $146.3 \pm 172.6 \text{ deg/s}$, 라켓분절 $5.3 \pm 100.3 \text{ deg/s}$ 의 순으로 빠르게 나타났다. 이는 백스윙의 정점 부분으로 라켓은 거의 고정된 상태에서 상완과 전완의 순으로 리드되면서 스윙이 이루어지는 것으로 사료된다.

E3의 평균 각속도는 상완분절 $200.7 \pm 211.3 \text{ deg/s}$, 전완분절 $191.5 \pm 379.1 \text{ deg/s}$, 라켓분절 $27 \pm 224.5 \text{ deg/s}$ 의 순으로 나타났다.

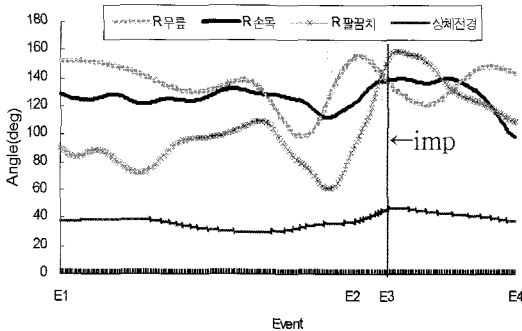


그림 5. S1의 이벤트별 관절각도

6) 분절의 각속도

<표 7>에 이벤트별 분절의 평균 각속도를 나타냈으며, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$).

E1에서는 상완분절 $-1.7 \pm 13.6 \text{ deg/s}$, 전완분절 $-2.7 \pm 39.1 \text{ deg/s}$, 라켓분절 $-27.9 \pm 36.0 \text{ deg/s}$ 의 순으로 상완과 전완분절보다도 라켓이 우선적으로 리드하는 것으로 나타났다.

표 7. 이벤트별 분절의 각속도

분절		E1	E2	E3	E4	Duncan	F	p
라켓분절	M	-27.9	5.3	27	40.8	.	.22	.88
	SD	36.0	100.3	224.5	61.4			
전완분절	M	-2.7	239.0	191.5	-93.7	.	1.67	.22
	SD	39.1	210.6	379.1	219.3			
상완분절	M	-1.7	146.3	200.7	28.6	.	1.47	.27
	SD	13.6	172.6	211.3	159.1			

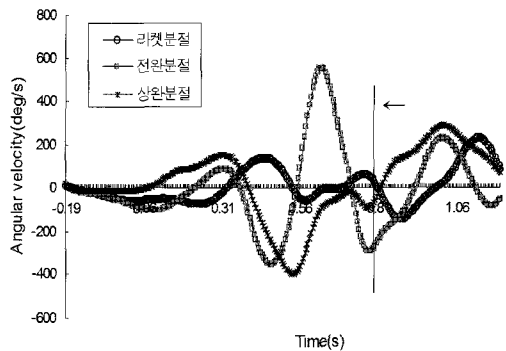


그림 6. S1의 분절 각속도

같은 라켓 스포츠의 연구에서 Elliott와 Wood (1983)은 풋업과 풋백 테니스 서비스의 연구에서 라켓과 볼이 임팩트 되기 전 각속도가 각각 27.40rad/s, 26.68rad/s로 나타났으며, 이는 각각 1570deg/s와 1528deg/s로 임팩트 시 각 관절이 적절하게 신전되어 있어야만 된다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 임팩트 직전 라켓분절의 각속도 증가는 거의 없었다(그림 6).

또한 永田 등(1983)의 보고에 의하면 테니스 포핸드 스트로크는 전완이 가속됨과 동시에 상완이 감속하고, 골프스윙에서 가속하는 임팩트 전에 상지의 각속도가 작아진다고 보고한 연구(신창섭, 2007)와는 상반된 결과가 나왔는데, 바로 이점이 정구 포핸드 미들 발리의 특성이라고 사료된다.

2. 지면반력 분석

표 8. 출발 동작 시 왼발과 오른발의 지면반력 (unit: N)

Subjects	X	Y	Z	R
S1	176.8	200.8	437.0	500.9
S2	189.5	211.7	442.1	452.3
L S3	128.2	78.4	216.2	244.0
S4	70.4	138.3	237.0	273.7
M±SD	141.3±54.1	157.4±61.8	333.1±123.3	367.3±127.9
S1	-107.5	-210.6	451.9	508.7
S2	-146.7	-234.3	465.5	488.1
R S3	-42.6	-131.9	190.2	232.3
S4	-114.2	-222.5	542.8	589.4
M±SD	-102.8±43.6	-199.9±46.3	412.6±153.5	454.7±154.5
t	7.03	9.26	-0.81	-0.97
p	0.00**	0.00**	0.45	0.42

** p<.01

정구 포핸드 미들발리 출발자세에서 양발이 어떻게 지면에 힘을 발휘하느냐에 따라 상체의 움직임이 결정될 수 있기 때문에 하체의 지면 반력은 상당히 중요한 의미를 가지고 있다.

<표 8>은 발리 준비 자세에서 백스윙 자세로 전환될 때 즉, 출발 시 왼발과 오른발 세 방향 지면 반력의

최대 힘을 나타낸 것으로써 왼발의 평균 X, Y, Z방향의 분력은 각각 141.3±54.1N, 157.4±61.8N, 333.14±123.26N, R값은 367.3±127.9N으로 나타났으며, 오른발은 각각 -102.8±43.6N, -199.9±46.3N, 412.6±153.5N, R값은 454.76±154.5N으로 나타났다. 왼발과 오른발의 X와 Y방향의 평균분력에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며(p<.01), Z방향의 평균 분력과 전체 평균 합력의 R값은 모두 오른발이 각각 82N, 87N 더 크게 나타났으나 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>.05).

왼발에서 X방향의 분력이 Y방향의 분력보다 작은 경향이 나타난 것은 오른쪽 대각선 방향에서 전방 수직 방향 쪽으로 향하면서 포핸드 미들 발리를 하려는 것으로 생각되며, 오른발의 X와 Y방향의 분력이 모두 음의 값을 나타낸 것은 왼발이 제1보 출발 할 때에 지지대 역할을 함으로써 오른쪽으로 이동하기 쉽도록 하기 위한 것으로 사료된다.

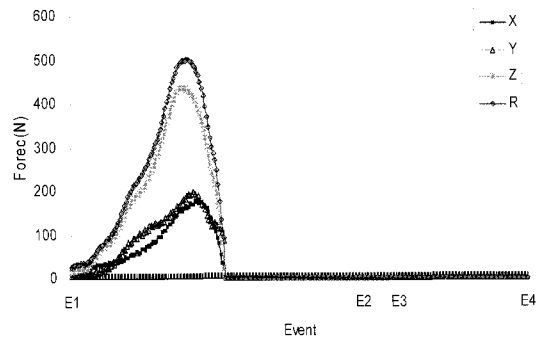


그림 7-1. S1의 왼발 지면반력

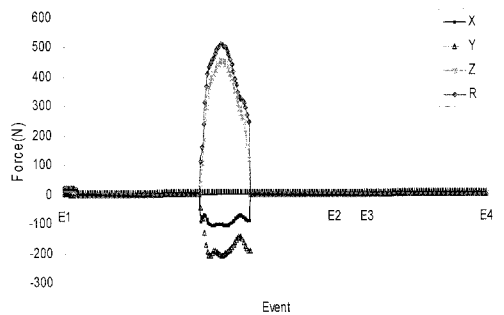


그림 7-2. S1의 오른발 지면반력

<그림 7-1과 7-2>는 S1의 출발 시 왼발과 오른발의

지면반력의 경향을 나타낸 그림으로 왼발의 수직(F_z), 좌우(F_x), 전후(F_y)방향의 분력이 모두 양의 값을 나타내고 있지만, 오른발의 좌우(F_x)방향의 분력과 전후(F_y)방향의 분력은 음의 값을 나타내고 있다.

즉, 왼발은 준비자세가 시작되면서 양의 값의 지면반력이 생성되어 0.28초에 지면반력이 소멸되었고, 오른발은 0.26초에 음의 값의 지면반력이 생성되어 0.42초에 소멸된 것으로 보아 오른발이 지면에서 먼저 떨어져 왼발이 지면을 밀고 왼발이 떨어지는 순간에 오른발이 지면에 닿는 경향을 보였다. 또한 왼발은 오른쪽으로 밀면서 나가려고 하고, 오른발은 왼쪽으로 저항하는 지지대 역할을 하는 것으로 이는 평형성과도 관계가 있다고 사료된다.

Johnson과 Nelson(1986)은 평형성이 신체의 위치를 유지시키기 위한 능력이며, 성공적인 운동실행을 위해서 필수적인 요소라고 하였다. 성낙준(2007)은 클럽의 길이 변화에 따른 골프 스윙의 지면반력의 변화 연구에서 “골프 준비 자세에서 왼발과 오른발은 서로 반대로 약 40N 정도의 힘을 가하고 있다고 하였으며, 좌우로 미치는 힘은 그 방향이 반대인 경우 서로 상쇄되므로, 이때 몸의 중심에 가해지는 좌우방향의 힘은 없다”라고 한 연구와 유사한 결과라고 할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 정구 국가대표 전위선수 4명을 대상으로 하여 정구 포핸드 미들 발리 동작을 운동학적·운동역학적으로 3차원 영상분석, 지면반력의 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스윙시간은 I구간에서 가장 길었으며, 다음은 III구간이었고, 힘의 생성 구간이라는 II구간이 가장 짧게 나타났으며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다($p < .05$).
2. 인체 중심의 좌우 이동 변위는 백스윙 구간인 I구간에서 전체 이동변위의 48.1%를 차지하였고, 전후 이동 변위 I구간에서도 전체 이동 변위의 54.4%를 차지하였다. 상하 이동변위는 준비 자세에서 임팩트 자세로 이동할수록 인체 중심이 높아졌

으며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다($p < .01$).

3. 임팩트 시 관절의 평균속도는 팔꿈치 속도가 가장 빠르고 손목, 어깨, 엉덩이, 무릎, 발목 순으로 나타났으며, 이때의 라켓 헤드와 볼의 속도는 각각 $13.52 \pm 1.45\text{m/s}$ 와 $18.89 \pm 2.33\text{m/s}$ 이었다.
4. 임팩트 시 손목과 팔꿈치 관절에서 가장 큰 각도가 나타났으나 완전히 신전(143° , 149°)되지는 않았다. 상체 전경각도는 임팩트로 갈수록 상체가 신전되는 것으로 나타났으나, 무릎의 각도는 굴곡되는 것으로 나타났다.
5. 임팩트 전 전완분절의 평균 각속도가 최대로 나타났으며 임팩트 시 원위부인 라켓분절 각속도의 커다란 증가는 나타나지 않았다.
6. 준비동작에서 출발 시 지면반력은 왼발에서 모두 양의 값이 나타났고, 오른발은 X와 Y방향의 분력에서 음의 값, Z방향의 분력은 양의 값이 나타났었다. 왼발과 오른발의 X와 Y방향의 평균분력에서 통계적으로 유의한 차이($p < .01$)가 나타났으며, Z방향의 분력과 R은 모두 오른발이 각각 82N, 87N 더 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$).

정구 발리는 높이, 코스, 방향에 따라 동작과 기술이 다양하지만 양적으로 분석된 자료는 전혀 없다. 또한 타 종목을 대상으로 분석된 과학적인 자료라고 하더라도 현장에 직접 적용시키는 것은 쉽지 않다. 이에 국가대표선수를 대상으로 한 본 연구 자료는 정구의 고급 발리 기술을 향상시키는 데 지침서가 되리라 생각된다. 그러나 대부분의 스포츠종목에서 세계적인 선수들의 실력차이는 기술적인 부분에서 구분하기는 쉽지 않다.

따라서 조금 더 명확한 자료를 제시하기 위하여 추후 상위권의 남·여 일반선수들을 대상으로 한 비교, 근의 활성도 그리고 코스별에 따른 연구 등이 필요할 것이다.

참고문헌

강상학(2002). 테니스 톱스핀 포핸드 스트로크의 운동학

- 적 분석. *한국체육학회지*, 41(3), 557-564.
- 고정중(1999). 테니스 포핸드 발리와 백핸드 발리의 운동학적 분석. 미간행 석사학위논문. 한국체육대학교 대학원.
- 김현수(2000). 정구 서비스 동작의 생체역학적 분석. 미간행 박사학위논문. 경북대학교 대학원.
- 성낙준(2007). 클럽의 길이 변화에 따른 골프 스윙의 지면 반력 변화. *한국운동역학회지*, 2007, 17(2), 31-40.
- 신준용(2001). 3차원 영상분석에 의한 정구 Forehand stroke과 Backhand stroke의 운동역학적 분석. 미간행 석사학위논문. 충북대학교 대학원.
- 신창섭(2007). 골프 드라이버 스윙동작의 운동역학적 분석. 미간행 박사학위논문. 전북대학교 대학원.
- 오윤경(2008). 탁구 경기력의 심리요인 구조와 위계적 중요도. 미간행 박사학위논문. 창원대학교 대학원.
- 유남규(2006). 엘리트 일반탁구선수와 어깨관절 impingement syndrome 선수의 좌, 우 등속성 근력 특성 비교. 미간행 박사학위논문. 경희대학교 대학원.
- 이동진(2009). 테니스 서브 속도 결정요인에 대한 운동역학적 분석. 미간행 박사학위논문. 충남대학교 대학원.
- 이성희(1995). 정구 경기의 전·후위별 득실점 실태 분석. 미간행 석사학위논문. 효성여자대학교 대학원.
- 홍영미(2005). 연식정구 여고생들의 경기 시 스트로크 성패요인 분석에 관한 조사 연구. 미간행 석사학위논문. 군산대학교 대학원.
- Elliott, B. C., & Wood, G. A.(1983). The Biomechanics of the Foot-up and Foot-back Tennis Service Techniques. *The Australian Journal of Sports Sciences*, 3(2), 3-6.
- Elliott, B. C., Tony Marsh, & Brian, Blanksby.(1986). A three-Dimensional Cinematographic Analysis of the Tennis Serve. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2(4), 260-271.
- Gheluwe, B. V., & Hebbelinck, M.(1985). *The kinematics of the service movement in tennis : a three-dimensional cinematographic approach.* In, D.A. Winter, et al.(EDs). *Biomechanics IX B*, Human Kinetic Publishers, Illinois, 521-526.
- Johnson, B., & Nelson, J. K.(1986). *Practical Measurements for Evaluation in Physical Educatio.* Forth edition. Macmillan Publishing Co, 1(2), 236-239.
- Rafael, E., & Bahamonde.(2000). Change in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 18, 579-592.
- Yoshifuku, Y., Ikegami, Y., & Sakurai, S.(1987). *Energy flow from the trunk to the upper limb in tsuki motion of top-class players of the martial arts, Shorinji Kempo.* In, B.Jonsson (Ed.), *Biomechanics X-B*, Human Kinetic Publishers, Illinois, 733-737.
- 永田 晟(1983). テニスの動きのウルトラ・アイ-動作分析 -. *Japanese Journal of Sports Science*, 2(4), 245-259.
- 太田 憲, 小林一敏, 土居陽治郎(1990). 加速度座標系における加速度信号の 処理-バドミントンのスマツシュ動作の力學的分析-. *日本バイオメカニクス學會編 「バイオメカニクス研究1990」*, 135-139.

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