



## 테니스 서브 속도에 따른 라켓 움직임의 운동학적 변인 비교

### Comparison on the Kinematic Variables of Racket Movement According to Velocity in Tennis Serve

이동진\* · 오정환 · 정익수 · 박찬호 · 이진희(충남대학교)

Lee, Dong-Jin\* · Oh, Cheong-Hwan · Jeong, Ik-Su · Park, Chan-Ho · Lee, Gun-Hee  
(Chungnam National University)

#### 국문 요약

본 연구는 테니스 서브 속도에 따른 라켓의 움직임에 대한 운동학적 변인들의 차이를 비교 분석하는데 있다. 연구문제를 해결하기 위해 국내 실업 테니스선수 3명을 대상으로 3대의 고속카메라를 이용하여 3차원 영상분석을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 임팩트 순간 라켓의 속도는 전후축 방향으로의 빠른 속도가 중요하며, 이를 위해 라켓의 전방이동이 필요함을 확인하였다. 또한 임팩트 순간까지 라켓의 상향스윙이 이루어지는 것을 확인하였다. 둘째, 임팩트 순간 라켓의 각속도는 좌우축에서의 빠른 각속도가 중요하며, 이를 위해 손목의 강한 굴곡운동이 필요함을 확인하였다. 또한 수직축에서의 각운동도 필요함을 확인하였다. 셋째, 서브 속도는 라켓 가속구간에서 라켓의 종축과 -X축이 이루는 각의 변화를 작게 하는 것이 중요하며, 이는 가속구간에서 라켓을 볼의 진행 방향과 일치하게 이동시켜야 함과 동시에 라켓 가속구간의 시작인 백스크래칭 순간에 라켓을 지면과 수직이 되도록 하여 가속거리를 최대로 하는 것이 서브 속도를 높이는데 중요함을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

D. J. LEE, C. H. OH, I. S. JEONG, C. H. PARK, and G. H. LEE, Comparison on the Kinematic Variables of Racket Movement According to Velocity in Tennis Serve. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 19, No. 2, pp. 337-345, 2009. The purpose of this study were to find out the differences in kinematic variables of racket movement by performing the tennis serve. Three top male tennis players participated in this study. Three synchronized high-speed cameras were used to record the service action of top players for Three dimensional video analysis. The results of this study showed that (1) the velocity of the tennis racket at impact is important to the generation of racket velocity to Y-axis. This result indicates that forward motion and upward movement of the racket; (2) with respect to racket angular velocity at impact, the fast angular momentum of X-axis is important to generate the velocity of the tennis ball. This result indicate upward movement of the racket with a strong flexor of wrist joint; (3) the velocity of the tennis ball was influenced by the change of angular linking the Z-axis to -X-axis. This result indicates that the high velocity of the tennis ball is obtained from having the racket unitedly moving to the direction of the ball's flight at the acceleration interval and acquiring the distance of acceleration with the racket head vertically to the ground at the back scratching.

KEYWORD : RACKET MOVEMENT, TENNIS SERVE, KINEMATIC VARIABLES, VELOCITY

\*Corresponding Author : 이동진  
대전시 유성구 궁동 220 충남대학교 사범대학 체육교육과  
Tel : 011-9820-6334 / Fax : 042-821-8897  
E-mail : dignehdws@yahoo.co.kr

## I. 서론

테니스 경기에서 공격과 승리의 우위를 잡하기 위해서는 서브가 중요한 역할을 수행한다. 이는 경기에서의 우위를 차지하는 가장 좋은 방법이기 때문이다. O'Donoghue(2001)는 그랜드슬램 단식 테니스 경기에서 가장 중요한 요인을 연구한 결과, 서브를 가지고 있을 때 획득한 포인트의 비율이 높을수록 남자 단식경기에서 승률이 높았다고 보고하였다. 서브의 전체 구성요인 중 더욱 중요한 것은 서브 속도이다. 스포츠 과학자와 지도자들은 오늘날 높은 수준의 테니스 경기에 있어서 테니스 서브의 효율성이 임팩트 직후 볼 속도에 주로 좌우된다는데 동의하고 있다(Elliott, Fleisig, Nicholls, & Escamilla, 2003). 또한, 이러한 경향은 최근 들어 세계 무대에서 더욱 강조되고 있는 것이다.

테니스 경기에서의 서브에 대한 실증적이고 이론적인 사례를 분석하기 위해 운동역학 분야에서 몇 가지 범주를 중심으로 많은 연구가 이루어져왔다. 그동안 국외의 몇몇 연구자들은 2차원 및 3차원 영상분석을 통해 테니스 서브에 있어서 생체역학적 요인들에 대한 정보를 제공해왔다(Bahamonde, 2000; Bartlett, Piller, & Miller, 1995; Elliott, 1986; Fleisig, Nicholls, Elliott & Escamilla, 2003; Smith, 1979; Sprigings, Marshall, Elliott, & Jennings, 1994). 하지만, 이러한 운동학적 연구의 대부분은 상지를 중심으로 하는 신체의 움직임과 관련된 변인(관절 각, 선속도, 각속도 등)들에 관한 것이었다.

일례로, Fleisig et al.(2003)은 2000년 시드니 올림픽에 참가한 선수들을 대상으로 높은 속도의 서브를 만들어내는 세계적 테니스 선수의 운동학적 변인 연구에서, 서브 동작 시 최대 각속도는 몸통 기울기(trunk tilt) 280deg/s, 윗 몸통(upper torso) 회전 870deg/s, 골반(pelvis) 회전 440deg/s, 팔꿈치 신전 1510deg/s, 손목 굴곡 1950deg/s 그리고 어깨 내측 회전(남자 2420deg/s, 여자 1370deg/s) 순으로 나타났으며, 임팩트 시에 몸통은 수평면 위로 48° 기울었고, 팔은 101° 외전 되었으며, 팔꿈치, 손목 그리고 리드하는 무릎은 약간 굴곡 되었다고 보고하였다.

한편, 본 연구와 관련한 선행연구들을 살펴보면, Chow et al.(2003)은 실제 시합 상황에서의 엘리트 테니스

스 선수의 제1서브(first serve)와 제2서브(second serve)의 임팩트 전, 후 볼과 라켓의 운동학적 비교를 실시하였다. 그 결과, 임팩트 전 라켓 헤드 속도와 정향각은 제1서브와 제2서브 사이에 유의할 만한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다.

Bahamonde(2000)는 테니스 서브 동작 시 각운동량에 대한 최대의 에너지는 X축(베이스라인에 평행)과 Y축(네트와 수직) 회전에 대한 각운동량으로부터 나오며, Z축 회전에 대한 각운동량은 작고 일정한 패턴이 없다고 하였다.

Marshall 과 Elliott(2000)는 근위-원위 분절 연쇄(proximal-to-distal segmental sequencing) 링크 시스템에서 종축 회전의 역할(상완의 내측 회전과 전완의 회내)은 서브와 같은 순간적인 구조에서는 거의 주목을 받지 못하였다고 하였다. 이 연구는 또한, 신체의 던지기, 차기, 치기 동작에 있어서 대부분의 평가가 말단 선속도, 관절 각속도, 그리고 분절 각속도 등 분절의 근위-원위 연쇄에 대한 연구이며, 이것은 장축 회전에 대한 역할을 충분히 정량화 하지 못한다고 비판하면서, 테니스 서브에 있어서 상지의 장축회전(longitudinal rotation)은 신체 분절의 최고 각속도 후에 도달하는 것으로 라켓 헤드 속도의 생산에 있어 중요하며, 전통적인 근위-원위 연쇄 개념은 테니스 서브의 복잡성을 정확히 묘사하는데 적절하지 않다고 주장하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 테니스 서브와 관련한 선행연구들은 최종적으로 볼을 임팩트하는 라켓의 움직임에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 하지만 테니스 서브는 결국 라켓으로 볼을 치는 동작으로 마무리되며, 이러한 라켓의 움직임에 대한 분석을 통해 테니스 서브 속도를 높일 수 있는 신체의 효율적인 움직임을 제시하는 것이 바람직하다 할 수 있다. 이러한 문제 제기를 해결하기 위해 테니스 서브 속도에 따른 라켓의 운동학적 변인(라켓의 성분별 속도, 각속도, 각도)의 차이를 분석하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 참가자

본 연구의 참가자는 국내 남자 실업팀 소속의 선수 3명으로 모두 오른손잡이이며, 실험 전 본 연구의 목적과 방법에 대해 설명을 듣고 동의서에 서명하였다. 참가 대상자의 평균 신장은  $180.3 \pm 2.52\text{cm}$ , 체중은  $69.7 \pm 1.53\text{kg}$  이었다. 그리고 선수경력은 평균  $14.3 \pm 3.06$  년이었고 실험에 사용된 라켓의 질량은  $323.3 \pm 5.77\text{g}$ , 라켓의 텐션은  $52 \pm 1.73\text{lb}$  이었다.

## 2. 실험 및 분석 도구

본 실험에 사용된 촬영도구는 고속카메라(Fastcam PCI) 3대였다. 3차원 공간좌표를 설정하기 위하여 가변형 통제점틀을 서브 동작을 포함하도록 하여 높이 3m, 길이 2m, 폭 1m의 직육면체로 조립한 후 지면에 수직으로 설치하였다. 촬영된 영상의 분석을 위한 동영상 편집 및 디지털라이징, 원자료 및 변인 산출은 영상분석 프로그램(Kwon3D ver. 3.1)이 사용되었다.

## 3. 실험 절차

실험 장소는 실내체육관에 테니스 코트를 설치하여 실험이 이루어졌다. 서브 동작을 원활하게 수행하고자, 10분간 준비운동을 하고, 그 후 실험공간에서 추가 10분 간 점점 증가하는 속도로 서브 연습을 실시하였다.

완전한 준비를 마친 후, 참가자는 듀스코트(Duce court)에서 서브를 수행하였으며, 이들은 매 회의 서브를 제1서브(first serve)로 설정하여 가장 빠른 플랫 서브(flat serve)로 실시하였다. 서브의 1회 시도 사이에 약 20초간의 휴식을 가지고 성공한 서브가 총 8회가 될 때까지 실시하였는데, 이 때 성공한 서브의 기준은 선수의 능력에 호응하는 최대 파워로 볼을 임팩트하여 서비스 박스 안의 목표 지점(target)에 낙하한 것으로 한정하였다. 목표 지점은 서비스박스의 센터 부근에 설정하였다.

영상촬영을 위한 3대의 고속카메라는 서브 동작을 포함하는 통제점틀이 완전히 상에 잡히도록 하여 진행 방향의 좌측 전방, 우측 전방 그리고 우측 후방에 각각 약 12m의 거리를 두고 설치되었고, 그 높이는 지면으로부터 1.5m 높이로 지면과 수직으로 설치되었다. 카메라의 개각도는  $45^\circ$ , 노출시간은  $1/1000\text{s}$ , 촬영속도는

$250\text{frame/s}$ 로 하였으며, 동조용 LED가 카메라 상 안에 포함되도록 설치되었고, 서브 동작의 촬영은 실제 동작을 촬영하기 전에 통제점 틀을 약 10초간 촬영하고 제거한 후에 이루어졌다.

선수는 인체 관절점의 정확한 디지털라이징을 위해 반바지 타이즈만을 착용토록 하였으며, 인체 관절점에는 랜드마크(landmarks)가 부착되었다. 또한 정확한 라켓의 움직임을 분석하고자 라켓에도 다섯 개의 랜드마크를 붙였다.

## 4. 자료 처리

통제점 틀의 좌표화는, 높이 3m, 길이 2m, 폭 1m의 통제점 틀에 표시되어 있는 총 62개의 통제점이 정해진 순서에 따라 다섯 번씩 좌표화된 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 21개의 관절점에 의해 연결된 강체로 보고, 라켓의 구분점 다섯 개와 볼의 설정 후 총 27개의 포인트가 좌표화되었다. 이때 인체 분절 자료(Body Segment Parameters)와 통제점의 좌표화, 인체 관절 중심점과 라켓 및 볼의 좌표화, 동조, DLT 방법에 의한 3차원 좌표의 계산과 자료의 스무딩은 Kwon3D(ver. 3.1) 프로그램이 이용되었다. 또한 영상 좌표화 과정에서 나타나는 노이즈를 최소화하기 위해 저대역통과필터(butterworth low-pass digital filter)가 사용되었고, 차단주파수는 신체의 경우 8Hz로, 볼의 경우는 250Hz로 설정되어 처리되었다.

## 5. 자료 분석

각각의 시도를 분석하기 위하여 3개의 이벤트를 설정하였다. 제1이벤트(E1)는 라켓의 상방 스윙을 위해 라켓을 밑으로 떨어뜨려 라켓 끝(high frame)의 수직 변위가 최저인 순간(back scratching; BS), 제2이벤트(E2)는 볼의 임팩트 순간(ball impact; BI) 그리고 제3이벤트(E3)는 임팩트 후 착지하는 순간(foot landing; FL)으로 설정되었다.

분석구간은 3개의 국면에 대해 2개의 구간으로 설정

되었다. 1구간은 라켓의 가속구간으로써 이벤트 1에서 2까지(racket acceleration phase: RP), 2구간은 착지구간으로써 이벤트 2에서 3까지(landing phase: LP)로 설정한 후 분석되었다. 주요 자료 처리를 위한 기준 시간은 임팩트 순간으로 설정되었고, 실질적인 서브의 효율은 임팩트 이후에 수행된 동작에 의해서도 어느 정도 영향을 받지만 가령, 착지하는 발, 상완의 내측회전, 라켓 경로, 밸런스 등에 의해서 본 연구에서는 임팩트 이후 구간의 분석은 일부분으로 제한되었다.

### 6. 용어의 정의

- 1) 라켓/-X 각(racket/-X angle): 라켓의 종축(butt에서 high frame)과 -X축이 이루는 절대각
- 2) 라켓/Z 각(racket/Z angle): 라켓의 종축(butt에서 high frame)과 Z축이 이루는 절대각
- 3) 라켓 프레임(racket frame): 라켓의 그립과 목 부분을 제외한 등근부분으로써, 임팩트를 기준으로 라켓 아래쪽의 중앙은 low frame, 몸에 가까운 쪽의 중앙은 near frame, 라켓 상단의 중앙은 high frame, 몸에서 먼쪽의 중앙이 far frame으로 정의

### 7. 통계처리

전술된 연구과정으로 얻게 된 테니스의 서브 속도에 따른 라켓의 운동학적 변인들에 대한 차이를 분석하기 위해 SPSS 14.0 통계프로그램을 이용하였다. 이를 이용하여 평균 및 표준편차가 계산되었고, 집단 간의 차이를 분산분석(ANOVA)으로 분석하였다. 유의수준(p)은 .05로 설정되었다.

## IV. 연구결과

### 1. 볼 속도

실제 서브에 있어서 중요한 요인 중 하나인 서브 성공률은 평균 43.6% 이었으며, 선수 A는 50%(16회), 선

표 1. 개인별 서브 속도 분산분석 (unit: m/s)

	A	B	C
M±SD	50.2±0.81	47.9±1.16	52.8±1.04
F		47.281	
p		.000**	

Note. \*, \*\* Significant differences between A, B, and C; \* p<.05, \*\* p<.01

수 B는 36.4%(22회), 선수 C는 47.1%(17회)를 보였다. 각각의 시도에 대한 서브 속도의 결과는 <표 1>과 같다.

각 선수들 간의 서브 속도 평균은 유의한 차이를 보였고(F=47.281, p<.01), 사후검증 결과 선수 간에 유의한 차가 나타났다. 구체적으로 살펴보면, 서브 속도의 전체 평균은 50.3m/s(180.9km/h) 이었으며, 선수 A의 서브 속도는 평균 50.2m/s(180.6km/h), 선수 B의 서브 속도는 평균 47.9m/s(172.3km/h), 그리고 선수 C의 서브 속도는 평균 52.8m/s(190.1km/h)로써 선수 C, A, 그리고 B 순으로 나타났다.

### 2. 라켓의 성분별 속도

서브 수행 시 임팩트 순간 라켓의 성분별 속도를 분석한 결과는 다음의 <표 2>와 <그림 1>과 같다.

임팩트 순간 좌우축(X axis) 방향의 라켓 속도 결과, 선수 A가 -2.62m/s, 선수 B가 0.72m/s 그리고 선수 C가 -0.43m/s로 유의한 차가 나타났고(F=88.905, p<.01), 사후검증 결과 선수 A, B, C 간에 유의한 차가 나타났다. 한편, 이러한 결과는 선수 A와 C는 라켓의 움직임이 좌측으로 선수 B는 라켓의 움직임이 우측으로 이동하면서 임팩트 되었음을 알 수 있다.

임팩트 순간 전후축(Y axis) 방향의 라켓 속도 결과, 선수 A는 평균 22.1m/s, 선수 B는 평균 21.38m/s 그리고 선수 C는 평균 24.12m/s로 유의한 차가 나타났고(F=104.985, p<.01), 사후검증 결과 선수 A, B, C 간에 유의한 차가 나타났다. 또한 선수 간의 전후축 방향에 대한 라켓 속도는 서브 속도와 일치하였으며, 방향 성분 중 매우 큰 비중을 차지하였다.

임팩트 순간에 수직축(Z axis) 방향의 라켓 속도를 분석한 결과, 선수 A가 평균 1.16m/s, 선수 B가 평균

표 2. 임팩트 순간 라켓의 성분별 속도 분산분석 (unit: m/s)

		X axis	Y axis	Z axis	Resultant
A	M	-2.62	22.10	1.16	22.31
	±SD	±0.42	±0.50	±0.98	±0.52
B	M	0.72	21.38	-1.04	21.45
	±SD	±0.29	±0.46	±1.21	±0.43
C	M	-0.43	24.12	1.19	24.18
	±SD	±0.74	±0.31	±0.73	±0.29
F		88.91	104.99	20.52	105.15
p		.000**	.000**	.000**	.000**

Note. \*, \*\* Significant difference between A, B and C; \* p<.05, \*\* p<.01

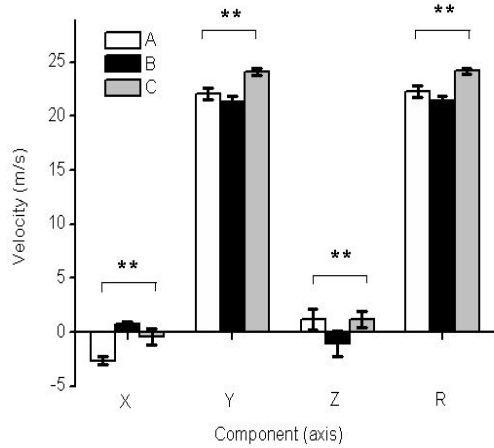


그림 1. 임팩트 순간 라켓 속도

Each data showed mean ±SD(A, B and C n=8), \*, \*\* Significant difference between A, B and C; \* p<.05, \*\* p<.01,

-1.04m/s 그리고 선수 C가 평균 1.19m/s로 유의한 차이를 보였고(F=20.518, p<.01), 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 큰 결과 값은 아니지만 선수 A와 C는 라켓의 상방 움직임에서 임팩트가 이루어졌고, 선수 B는 라켓의 하방 움직임에서 임팩트가 이루어졌음을 알 수 있다.

임팩트 순간 라켓의 합성속도는 선수 A가 평균 22.31m/s, 선수 B가 평균 21.45m/s 그리고 선수 C가 평균 24.18m/s로 나타나 유의한 차이를 보였고(F=105.148, p<.01), 사후검증 결과 선수 A, B, C 간에 유의한 차를 나타냈다.

표 3. 임팩트 순간 라켓의 성분별 각속도 분산분석(unit: deg/s)

		X axis	Y axis	Z axis	Resultant
A	M	-2461.3	-136.5	-607.3	2540.6
	±SD	±166.8	±75.7	±63.3	±163.4
B	M	-2119.7	24.6	-568.9	2195.8
	±SD	±680.0	±27.9	±181.1	±618.8
C	M	-2570.4	-41.6	-650.3	2654.9
	±SD	±813.7	±92.9	±219.6	±620.1
F		39.117	9.552	3.622	40.171
p		.000**	.001**	.045*	.000**

Note. \*, \*\* Significant difference between A, B and C; \* p<.05, \*\* p<.01

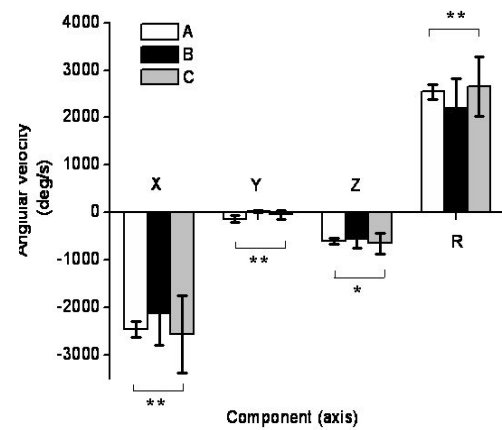


그림 2. 임팩트 순간 라켓 각속도

Each data showed mean ±SD(A, B and C n=8), \*, \*\* Significant difference between A, B and C; \* p<.05, \*\* p<.01

### 3. 라켓의 성분별 각속도

서브 수행에 있어 임팩트 순간 라켓의 성분별 각속도는 <표 3>과 <그림 2>와 같다.

임팩트 순간 좌우축(X axis)에 대한 라켓의 각속도는 선수 A가 평균 -2461.3deg/s, 선수 B가 평균 -2119.7deg/s 그리고 선수 C가 평균 -2570.4deg/s로 나타나 선수 A, B, C 간에 유의한 차가 나타났고(F=39.117, p<.01), 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 좌우축에 대한 라켓의 각속도는 선수 모두가 각속도 성분 중에서 가장 큰 결과 값을 나타

냈으며, 선수 간 서브 속도와의 일치하였다.

임팩트 순간 전후축(Y axis)에 대한 라켓의 각속도는 선수 A가 평균 -136.5deg/s, 선수 B가 24.6deg/s, 선수 C가 -41.6deg/s로 나타나 선수 A, B, C 간에 유의한 차이가 나타났고(F=9.552, p<.01), 사후검증 결과 선수 B와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 한편, 선수 A와 C는 라켓이 전후면(X-Z 평면)에서 반시계방향으로 회전하면서 임팩트가 이루어졌으며, 선수 B는 시계방향으로 회전하면서 임팩트가 이루어진 것을 알 수 있다. 그러나 라켓의 각속도 성분 중에서 가장 작은 결과 값을 나타냈으며, 라켓 각속도는 임팩트 전후를 기준으로 방향이 바뀌는 결과를 보였다.

임팩트 순간 수직축(Z axis)에 대한 라켓의 각속도 평균은 선수 A가 -607.3deg/s, 선수 B가 -568.9deg/s, 선수 C가 -650.3deg/s로 나타나 선수 A, B, C 간에 유의한 차이가 났고(F=3.622, p<.05), 사후검증 결과 선수 A와 C 간에는 유의한 차이가 없었고, 선수 A와 B 간에도 유의한 차이가 없었다.

임팩트 순간 라켓의 합성 각속도는 선수 A가 평균 2540.6deg/s, 선수 B가 평균 2195.8deg/s, 선수 C가 2654.9deg/s로 나타나 선수 A, B, C 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고(F=40.171, p<.01), 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 없었다. 임팩트 순간 라켓의 성분별 각속도에 대한 결과, 라켓의 좌우축, 수직축 그리고 합성 속도에서 선수 간의 각속도 결과는 서브 속도와 일치함을 보여주었다.

#### 4. 라켓의 각도

서브 수행 시 가속구간에서의 어깨와 라켓의 각 변화에 대한 결과는 <표 4>와 같다.

라켓 종축과 -X축이 이루는 각에 대한 결과, E1(back scratching)에서 선수 A는 평균 105.3°, 선수 B는 평균 114°, 선수 C는 105.2°로 유의한 차이가 나타났고(F=34.704, p<.01), 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 없었다. E2(ball impact)에서 선수 A는 평균 103.8°, 선수 B는 평균 106.9°, 선수 C는 평균 105.9°로 유의한 차이가 나타났고(F=5.250, p<.05), 사후

표 4. 가속구간 라켓의 각도 분산분석 (unit: deg)

		Racket lh/-X		Racket lh/Z	
		E1	E2	E1	E2
A	M	105.3	103.8	163.5	16.0
	±SD	±1.1	±1.8	±1.0	±1.9§§
B	M	114.0	106.9	155.2	18.8
	±SD	±5.0	±1.8	±4.6	±2.8§
C	M	105.2	105.9	161.4	18.4
	±SD	±2.0	±1.9	±2.6	±2.2§§
F		34.704	5.250	25.818	2.493
p		.000**	0.02*	.000**	.107
		F=13.598, p=.001**		F=40.925, p=.000**	

Note. E1, back scratching; E2, ball impact, Racket lh/-X, angle of racket low-high frame line and -X axis; Racket lh/Z, angle of racket low-high frame line and Z axis; \*, \*\* Significant difference between A, B and C; \* p<.05, \*\* p<.01

검증 결과 선수 A와 B에서만 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 또한 가속구간에서의 각 변화는 선수 A가 1.5°, 선수 B가 평균 7.1°, 선수 C가 평균 0.7°로 서로 간에 유의한 차이가 나타났고(F=13.598, p<.01), 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

라켓 종축과 Z축이 이루는 각의 경우, 라켓 가속구간의 시작인 E1에서는 선수 A가 평균 163.5°, 선수 B는 평균 155.2° 그리고 선수 C는 평균 161.4°로 유의한 차이가 나타났고(F=25.818, p<.01). 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. E2에서는 E1에 서와는 달리 선수 A가 평균 16°, 선수 B는 평균 18.8°, 선수 C는 평균 18.4°로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 가속구간에서 라켓 종축과 Z축이 이루는 각도의 변화는 선수 A가 147.5°, 선수 B가 136.4°, 선수 C가 143°로 유의한 차이가 나타났고(F=40.925, p<.01), 사후검증 결과 선수 A, B, C 간에 유의한 차이를 보였다.

## V. 논 의

### 1. 서브 속도와 라켓의 성분별 속도

테니스 서브 수행은 신체의 효율적인 움직임이 불에 전달되어야 하는 것으로 좋은 운동 수행은 결국 라켓의

역할이 클 수밖에 없고, 이를 위해 개인의 능력을 극대화해야 하는 것이다. 즉, 서브 수행 시 라켓의 움직임을 통해 신체의 움직임을 분석할 수 있다는 뜻이며, 임팩트 순간 라켓의 성분별 속도를 분석한 결과, 좌우측 방향으로 선수 A, B, C가 각각  $-2.62\text{m/s}$ ,  $0.72\text{m/s}$ ,  $-0.43\text{m/s}$ 로 유의한 차를 보였고, 사후검증 결과도 선수 간에 유의하게 나타났다.

전후측 방향으로 라켓의 성분속도는 선수 A, B, C가 각각 평균  $22.1\text{m/s}$ ,  $21.38\text{m/s}$  그리고  $24.12\text{m/s}$ 로 유의한 차가 나타났고, 사후검증 결과 역시 선수 간에 유의하게 나타났다. 또한 선수 간의 전후측 방향에 대한 라켓 속도는 서브 속도와 일치하였다.

수직측 방향으로 라켓의 성분속도는 선수 A, B, C가 각각 평균  $1.16\text{m/s}$ ,  $-1.04\text{m/s}$ ,  $1.19\text{m/s}$ 로 유의한 차이가 나타났고, 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 한편, 선수 모두 최고 속도가 나타났을 경우 라켓의 상향스윙이 이루어졌다는 결과를 얻을 수 있었다.

본 결과와 관련하여 윤희중과 정남주(1997)는 플랫폼 서브 수행에서 임팩트시 라켓의 성분별 속도가 X방향  $-3.6\text{m/s}$ , Y방향  $27.92\text{m/s}$ , Z방향  $14.12\text{m/s}$ 로 좌우 변동을 적게 하여 안정된 서브를 구사하는 것으로 보고하였다. 한편, 신선우(1998)는 국가대표 상비군 3명을 대상으로 서브 동작에서 임팩트시 라켓의 속도는 X축 방향으로  $2.01\sim 4.64\text{m/s}$ , Y축 방향으로  $8.6\sim 11.36\text{m/s}$ , Z축 방향으로  $-1.13\sim -2.94\text{m/s}$ 라고 보고하였는데, 본 연구의 결과와는 다소 차이가 있었다. 또한, 스피너서브 동작에서 임팩트 순간 라켓의 속도에 영향을 미치는 요인은 손목의 외전, 팔꿈치의 신전, 어깨관절의 내측회전 순이었으며, 최대 선속도는 어깨관절, 팔꿈치관절, 손목관절, 라켓헤드 순이었다고 보고된 선행연구(진영완, 이성철 및 유병인, 1998)도 참고해 볼 필요가 있다.

이러한 결과를 바탕으로 연구자는 서브 속도와 관련하여 좌우측 방향에서의 라켓 움직임은 신체 중심의 이동방향인 좌측(-방향)과 일치시켜 라켓을 가져가는 것이 역학적으로 유리할 것으로 판단할 수 있다. 전후측 방향으로의 성분속도는 매우 큰 비중을 차지하였다. 이는 전방으로 라켓을 빠르게 움직이는 것이 서브 속도를 높이는데 특히 중요하며, 이를 위해 몸통, 상완, 전완 및

손으로 이어지는 순차적인 분절의 움직임을 통해 라켓의 속도를 높이는 것이 필요함을 시사한다. 한편, 수직측 방향으로의 결과는 선행연구와 많은 차이를 보였는데 서브의 종류에 따른 차이라 볼 수 있다.

## 2. 서브 속도와 라켓의 성분별 각속도

라켓의 각속도는 라켓 자체의 회전운동을 의미하는 것으로 임팩트 순간 라켓 자체의 회전운동 양상을 분석할 수 있으며, 또한 라켓의 각운동을 일으키는 신체의 관절 운동을 분석하는데 활용될 수 있다.

임팩트 순간 라켓의 성분별 각속도 결과, 좌우측에서 선수 A, B, C가 각각 평균  $-2461.3\text{deg/s}$ ,  $-2119.7\text{deg/s}$ ,  $-2570.4\text{deg/s}$ 로 나타나 선수들 간에 유의한 차이가 나타났고, 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 좌우측에서의 각속도는 성분별 각속도 중에서 가장 큰 음(-)의 결과 값을 나타냈는데, 이는 X축을 기준으로 회전운동의 오른손 법칙에 의해 전방회전 즉, 시계방향으로의 빠른 각운동이 요구됨을 의미한다.

전후측에서의 각속도 결과는 선수 A, B, C가 각각 평균  $-136.5\text{deg/s}$ ,  $24.6\text{deg/s}$ ,  $-41.6\text{deg/s}$ 로 나타나 선수 A, B, C 간에 유의한 차이가 나타났고, 사후검증 결과 선수 B와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 한편, 선수 A와 C는 라켓이 전후면(X-Z 평면)에서 반시계방향으로 회전하면서 임팩트가 이루어졌으며, 선수 B는 시계방향으로 회전하면서 임팩트가 이루어진 것을 알 수 있다. 즉, 선수 A와 C는 몸통의 좌측굴과 어깨 내측회전을 통해 라켓의 움직임에 기여하는 것으로 사료된다.

수직측에서의 각속도 결과는 선수 A, B, C가 각각  $-607.3\text{deg/s}$ ,  $-568.9\text{deg/s}$ ,  $-650.3\text{deg/s}$ 로 나타나 선수 간에 유의한 차이가 나타났고, 사후검증 결과 선수 B와 C 간에 서브만 유의한 차이를 보였으며, 서브 속도와의 일치하였다.

임팩트 순간 라켓의 합성 각속도는 선수 A, B, C가 각각 평균  $2540.6\text{deg/s}$ ,  $2195.8\text{deg/s}$ ,  $2654.9\text{deg/s}$ 로 나타나 선수 A, B, C 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 없었으며, 서브 속도와도 일치하였다.

이와 같은 임팩트 순간 라켓의 성분별 각속도에 대한 결과에 따르면 라켓의 좌우측, 수직측 그리고 합성

속도에서 선수 간 속도의 결과는 서브 속도와 일치함을 알 수 있다.

Springs et al.(1994)는 임팩트 시 라켓 헤드 속도에 있어 가장 많이 기여하는 것은 상완의 내측 회전이었고, 전완 회전은 임팩트 시에 가장 빠른 회전을 나타냈지만, 라켓 헤드 속도의 기여도는 네 번째로 나타났다고 보고하였다. 또한 강상학(2004)은 네 명의 대학 선수들을 대상으로 서브 동작을 분석한 결과 라켓 헤드 속도를 높이는 기여도는 상완의 분절운동으로 어깨관절의 내측회전에 의한 선속도가 높게 나타났으며, 전완의 회전운동에 의한 기여도는 낮게 나타났다고 보고하였다. 정남주(1997)는 플렛서브의 라켓 속도에 대한 인체분절의 기여도 패턴은 초기에는 팔꿈치관절이 주도하다가 임팩트 순간에 가까워지면서 어깨관절과 몸통관절이 주도하였으며, 몸통회전과 팔꿈치관절이 서브 수행에 높은 기여를 하는 것으로 보고하여, 어깨와 몸통의 역할에 대해 언급하였는데 이는 본 연구의 라켓의 각운동과 같은 의미로 해석되어질 수 있을 것이다.

라켓의 좌우측 방향의 각속도는 전방으로의 각운동으로써 손목의 굴곡과 관련 있는 움직임으로 손목의 강한 굴곡 운동이 서브의 속도에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 라켓의 수직축 방향의 각속도는 종축에 대한 회전의 의미로써 전완의 회내와 관련 있는 움직임으로 볼 속도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으나 손목의 굴곡운동보다는 약하게 나타났다. 라켓의 전후축 방향의 각속도는 운동방향을 기준으로 작게 나타나는 것이 바람직하며, 선수 간에 각운동 방향이 다른 것은 볼의 토스와 임팩트를 위한 신체 중심의 이동과 관련된 개인적 스타일에 따른 것으로 사료된다.

### 3. 서브 속도와 라켓의 각도

볼을 임팩트 하기 위한 라켓의 움직임에서 라켓종축의 각 변화는 라켓의 움직임과 그에 따른 신체의 움직임을 효율적으로 분석하는데 중요하다.

라켓 가속구간에서 라켓 종축과 -X축이 이루는 각은 E1(back scratching)에서 선수 A, B, C가 각각 평균 105.3°, 114°, 105.2°로 유의한 차이가 나타났고, 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 없었다, 라켓 가

속구간에서의 각도 변화는 선수 A, B, C가 각각 평균 1.5°, 7.1°, 0.7°로 유의한 차이를 보였고, 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 없었다. 위의 결과는 라켓의 끝을 최저로 떨어뜨리는 순간에 좌우축을 기준으로 직각이 되도록 하는 것이 바람직하며, 이후 임팩트를 위한 라켓 종축의 움직임은 직선방향으로 이동되는 것이 서브 속도를 높이는데 효과적인 것이라 판단된다.

라켓의 가속구간에서 라켓 종축과 Z축이 이루는 각은 라켓 가속구간의 시작인 E1에서 선수 A, B, C가 각각 평균 163.5°, 155.2°, 161.4°로 유의한 차이가 나타났고, 사후검증 결과 선수 A와 C는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 라켓의 가속구간에서 각도의 변화는 선수 A가 147.5°, 선수 B가 136.4°, 선수 C가 143°로 유의하게 나타났고, 사후검증 결과도 선수들 간에 모두 유의하게 나타났다. 이는 서브 속도를 높이기 위해서는 라켓 종축과 -X축이 이루는 각 변화와 마찬가지로 E1(Back scratching) 순간에 라켓의 끝을 최대한 지면을 향하게 한 후, 빠르게 임팩트 위치로 가져가는 것이 중요하다고 판단된다.

## VI. 결론 및 제언

테니스의 서브 동작 수행 시 서브 속도에 따른 라켓의 움직임에 대한 운동학적 변인들의 차이를 분석한 본 연구는, 다음과 같은 결론을 제시할 수 있다.

첫째, 임팩트 순간 라켓의 속도와 관련하여 서브의 속도는 전후축 방향으로의 빠른 속도가 중요하며, 이는 몸통회전, 어깨의 내측회전, 팔꿈치 신전 등의 조화된 신체 움직임을 통해 라켓의 빠른 전방이동이 필요함을 알 수 있었다. 또한 임팩트 순간까지 라켓의 상향스윙이 필요함을 확인할 수 있었다.

둘째, 임팩트 순간 라켓의 각속도와 관련하여 서브 속도는 좌우축에서의 빠른 각속도가 중요하며, 이는 서브 속도를 높이기 위해서는 손목의 강한 굴곡운동을 통해 라켓을 전방으로의 각운동을 빠르게 하는 것이 중요함을 말해주는 것이다.

셋째, 임팩트 순간 라켓의 각도와 관련하여 서브 속



도는 라켓 가속구간에서 라켓의 종축과 -X축이 이루는 각의 변화를 작게 하는 것이 중요하며, 이는 가속구간에서 라켓을 볼의 진행방향으로 빠르게 이동시켜야 함과 동시에 라켓 가속구간의 시작인 백스크래칭 순간에 라켓을 지면과 수직이 되도록 하여 가속거리를 최대화 하는 것이 서브 속도를 높이는 데 중요함을 알 수 있었다.

이상의 결론을 바탕으로 추후에는 분석 대상의 확대를 통해 세계적인 서브 속도에 대한 연구가 이루어져야 할 것이며, 또한 연구 방법에 있어 힘과 관련된 분석을 통한 종합적인 연구가 필요한 것이다.

## 참고문헌

- 강상학(2004). 테니스 서브의 운동학적 분석. *한국스포츠 츠리서치*, 15(4), 2135-2146.
- 신선우(1998). 테니스 플랫 서브의 동작 분석. 미간행 석사학위논문. 성균관대학교 교육대학원.
- 윤희중, 정남주(1997). 플랫서브와 스핀서브의 운동학적 분석. *한국운동역학회지*, 7(1), 1-18.
- 정남주(1997). 테니스 플랫서브와 스핀서브의 운동학적 변인과 라켓속도에 대한 인체분절의 기여도. 미간행 석사학위논문. 한국체육대학교 대학원.
- 진영완, 이성철, 유병인(1998). 테니스 스핀 서브동작시 관절운동의 분석. *한국체육학회지*, 37(3), 393-403.
- Bahamonde, R. E.(2000). Changes in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Science*, 18, 579-592.
- Bartlett, R., Piller, J. & Miller, S.(1995). A three-dimensional analysis of the tennis serves of National (British) and county standard players. In *Science and Racket Sports 1*. Reilly and M. H. T. E. LEES(Eds.), London: E & FN Spon, 98-102.
- Chow, J.W., Carlton, L.G., Lim, Y.T., Chae, W.S., Shim, J.H., Kuenster, A.F., & Kokubun, K.(2003). Comparing the pre- and post-impact ball and racquet kinematics of elite tennis players' first and second serves: a preliminary study. *Journal of Sports Science*, 21(7), 529-537.
- Elliott, B.C., Fleisig, G.R., Nicholls, R., & Escamilla, R.(2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *Journal of Science Medicine Sport*, 6, 76-87.
- Elliott, B. C.(1986). A three-dimensional cinematographic analysis of the tennis serve. *Journal of Sport Biomechanics*, 2, 260-271.
- Fleisig, G., Nicholls, R., Elliott, B. C., & Escamilla, R.(2003). Kinematics used by world class tennis players to produce high-velocity serves. *Sports Biomechanics*, 2, 51-64.
- Kwon, Y. H.(2001). KWON3D Manual(ver. 3.01). VISOL Inc.
- Marshall, R. N., & Elliott, B. C.(2000). Long-axis rotation: The missing link in proximal-to-distal segmental sequencing. *Journal of Sports Science*, 18, 247-254.
- O'Donoghue, P.G.(2001). The most important points in Grand Slam singles tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72(2), 125-131.
- Smith, S.L.(1979). *Comparison of selected kinematic and kinetic parameters associated with the flat and slice serves of male intercollegiate tennis players*. Unpublished Doctoral dissertation, Indiana University.
- Springs, E., Marshall, R., Elliott, B.C., & Jennings, L.(1994). A three-dimensional kinematic method for determining the effectiveness of arm segment rotations in producing racquet-head velocity. *Journal of Biomechanics*, 27, 245-254.

투 고 일 : 04월 30일  
 심 사 일 : 05월 12일  
 심사완료일 : 06월 19일