



테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서브 동작의 운동학적 분석

Kinematical Analysis of Service Motion by Stance Types in Tennis Serve

김성섭* · 김의환(용인대학교)

Kim, Sung-Sup* · Kim, Eui-Hwan (YongIn University)

국문요약

본 연구의 목적은 우수 고등학교 테니스 선수 7명을 대상으로 테니스 서브 스탠스 유형(pinpoint stance, platform stance)에 따른 서브 동작의 운동학적인 분석을 통하여 빠른 서브를 구사할 수 있도록 지도할 기초자료를 제공하는데 있다.

Pinpoint Stance는 백스윙국면에서 뒷발을 앞발방향으로 이동하기 때문에 신체중심(COM)과 라켓의 많은 움직임으로 인해 소요시간이 Platform Stance 보다 0.04초 길게 소요되었다. 발을 이동하면서 골반부위를 앞으로 이동시켜서 몸을 활처럼 많이 휘게 함으로써 백스윙부터 임팩트까지 파워를 낼 수 있는 구간을 넓혀 COM과 라켓의 속도를 빠르게 하여 서브의 속도를 증가시키는데 기여하는 스탠스임을 알 수 있었다. Platform Stance는 백스윙국면에서 발의 이동이 없기 때문에 COM과 라켓의 작은 움직임으로 인해 소요시간이 Pinpoint Stance 보다 0.04초 짧게 소요되었다. 발의 이동이 없어서 파워를 낼 수 있는 구간을 좁혀 COM과 라켓의 속도가 느리게 나타났지만 중심의 안정감을 높여 서브의 성공률을 높이는데 기여하는 스탠스임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

S. S. KIM, and E. H. KIM, Kinematical Analysis of Service Motion by Stance Types in Tennis Serve. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 18, No. 1, pp. 147-158, 2008. The purpose of this study was to analyze the kinematical variables involved in two types of service motion in tennis pinpoint and platform stance, to find the fastest serving method. Seven skilled high school tennis players participated, and the kinematics were recorded by the Vicon motion analysis system. For the gathering and analysis of the data workstation, bodybuilder and polygon were used.

During the back swing for the pinpoint stance, as the back leg moves forward the COM and the racquet moves more, thus taking 0.04 seconds longer than the platform stance. The body of the subject takes a bow-shape as the subject's foot moves back and their hip moves forward. This movement enables the subject to create more power during the backswing to impact. It also increases the spread of the COM · racquet and the serve speed is increase. As there is no forward movement of the foot during the backswing of the platform stance, the COM and the racquet move less and thus the time required is shorter than that for the pinpoint stance by 0.04seconds. Similarly, the time spent creating the power for the serve is shortened, the COM · racquet is narrower and the speed is lessened. However, the advantage of this serve is that it increases the stability.

KEYWORDS : TENNIS, SERVE, PINPOINT STANCE, PLATFORM STANCE

I. 서론

현대 테니스의 흐름은 상대방의 실수를 바라는 소극적인 플레이가 아닌 적극적인 스타일로 변화되었으며, 힘과 섬세한 기술을 동시에 요구하고 있다. 특히 테니스의 첫 타구인 서비스의 위력은 경기의 승패 여부를 결정짓는 가장 위력적인 무기라 할 수 있다(임병규 · 박홍석, 2000). 따라서 테니스 선수들의 서비스가 강력한 무기가 된다면 상대선수는 경기를 시작하기도 전에 두려워할 것이다. 그렇게 되면 상대방을 경기에서 정신적으로 압도할 수가 있다(Bollettieri, 2001).

Elliott, Takahashi & Noffal.(1997)은 '강력하고 정확한 서브 능력을 향상시키기 위해서는 세밀한 동작분석과 많은 연습에 의해서 가능해진다. 또한 효과적으로 서브를 하기 위해서는 지면 반력에 의해 생성된 힘이 다리, 엉덩이, 몸통, 상지로 인체의 체인링크시스템(Kinetic Chain Link System)을 통하여 적절하게 전이가 이루어져야 한다'고 보고 하였으며, Bartlett, Storey & Simons(1989)는 서비스의 구사 능력은 서비스 스윙 기술과 유연성, 근력의 복합성이 이루어 질 때 효율적인 결과를 나타낼 수 있다.

한편, 테니스의 서브에 관한 선행연구는 운동학적인 연구(임용규 · 김중훈, 1975; 신순호, 1990; 황인승 · 이성철 · 김주선 1992; 최웅재, 1993; 진영완 · 최웅재, 1994; 조현영, 1997; 윤소윤, 1996; 정남주, 1997; 신선우, 1998; 진영완 · 유병인 · 이성철, 1998; 김재석, 2002; 조필환, 2002; 신제민 · 진영완, 2003; 강상학, 2004; 이건희, 2006; 오정환 · 최수남 · 남택길, 2006)와 운동역학적 연구(김영엽, 1982; 이종규, 1982; 진성태, 1984; 권중호, 1985; 노순철, 1986; 김승범, 1987; 김찬희, 1987; 정완기, 1993; 강재규, 1993; 조항명, 2000; 이중숙 · 강재형 · 유창재 · 양정옥 · 이훈식, 2001; 진영완, 2001; 김승길, 2004)로 구분 될 수 있다. 이러한 연구들은 서브 동작을 연구대상 즉, 초등학교 선수부터 국가대표 선수를 분석하거나 숙련자와 비숙련자간의 비교 분석을 하였으며, 또 서브의 타법에 따라 플랫, 슬라이스, 톱스핀을 분석하거나 타법 간의 비교분석도 있었다. 이러한

연구들은 서브의 스피드에 초점을 둔 연구가 많았다.

국외의 서브에 관한 운동학적 연구 중 1960년 이후 EMG 분석(Owens & Lee, 1969 ; Anderson, 1979 ; Miyashita, 1980)에서 서브 동작 시 근육운동에는 침묵시기(silent period)가 존재한다는 것을 알아내었다. 그 후 서브 동작에 대한 2차원 영상 분석(Beecher, 1977 ; Smith, 1979 ; Elliott, 1983 ; Elliott & Wood, 1983) 연구에서 단일 평면상에서 나타나는 변인들만을 분석하였고, Van Cheluwe & Hebbelinck(1985), Bahamonde(1989) 등은 3차원 영상분석법을 이용하여 테니스 서브 동작을 분석하였다. 최근의 연구들은 Lo, Wang, Wu & Su(2004)의 테니스 플랫과 스핀 서브 시 하지의 운동학적 분석, Lo, Wang, Wu & Su(2004)의 테니스 서브의 몸통과 하지의 생체역학적 분석, Brian J. Gordon, Jesús Dapena(2006)의 테니스 서브에서 관절 회전력이 라켓헤드의 기여도, Glenn, Rochelle, Bruce & Rafael(2006)은 빠른 속도의 서브를 위한 운동학적 변인들 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

위의 국내외 선행연구들은 주로 플랫서브와 스핀서브 동작에 대한 운동역학적인 변인들을 주로 많이 연구했으나 스탠스 유형에 따른 서브동작에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

Groppel(1992)에 의하면 '서브 시 스탠스는 플랫폼 스탠스(platform stance)와 핀 포인트 스탠스(pinpoint stance)의 두 가지 유형으로 분류했다. 플랫폼 스탠스는 서브를 하는 동안 발이 약간 넓게 벌린 플랫폼 형태로 안정된 자세를 유지할 수 있다. 핀 포인트 스탠스는 서브를 넣는 동안 뒷발이 앞으로 미끄러져 들어가 발이 작은 핀 포인트 형태의 지지 기저를 형성한다. 핀 포인트 스탠스의 이점은 서브를 넣은 후에 코트 속으로 스텝인 해서 들어가기 쉬운 동작이므로 공격형 즉, 서브 앤 발리 형을 주로 사용하는 선수에게 유리하고, 플랫폼 스탠스는 그라운드 스트로크를 주로 구사하는 수비형 선수에게 유리하다'고 보고하였다.

스탠스 유형에 따라 발의 동작이 다르게 나타난다. 즉, 뒷발이 앞으로 이동되면서 스윙을 하는 것과 뒷발이 이동되지 않으면서 서브를 구사할 경우 서브의 스피드뿐만 아니라 정확성에도 영향을 미치므로 서브동작에서 스탠스는 중요한 파워서브의 요인이다.

한편, 우리나라 선수들은 두 스탠스 유형에 장단점을 파악하여 각 개인의 신체적, 체력적 요인에 맞는 스탠스를 연습하는 것이 아니라 서브를 처음 배울 때 지도자의 지도에 따라서 결정되거나 편의상 무의식적으로 스탠스를 결정하는 경우가 많은 경향이며, 지도할 객관적 자료가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 테니스 두 스탠스 유형에 따른 서브의 운동학적 변인을 분석하여 테니스 선수들이 좀 더 빠른 서브를 구사하게 할 수 있도록 현장에서 지도할 객관적인 기초자료를 얻기 위해 테니스 고등학교 우수선수 7명을 대상으로 스탠스 유형(pinpoint stance, platform stance)에 따른 서비스 동작의 운동학적인 변인을 분석하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 피험자는 2006년도 전국체육대회 단체전 남자 고등부 우승팀의 선수들로 스탠스 유형(pinpoint S와 platform S)에 따른 서비스를 원활하게 구사하는 7명을 대상으로 선정하였으며, 이들의 인체계측학적 특징 및 주요사항은 <표 1>과 같다.

2. 실험장비

본 연구를 수행하기 위하여 사용한 실험장비는 촬영

표 1. 피험자의 인체계측학적 특징 및 주요사항

성명	HYS	KKY	LH H	LSM	LTS	SJM	SYW	M±SD
나이 (year)	17	16	18	17	19	19	17	17.6±1.1
경력 (year)	5	5	9	6	5	9	6	6.4±1.8
그립 (grip)	continental						continental	
신장 (cm)	172.6	172.3	174.8	170.7	174	190	171.4	175.1±6.7
체중 (kg)	74.5	61.5	75.1	60.5	75.1	73.5	57	68.2±8.1

장비, 데이터수집, 분석용 소프트웨어로 분류된다<표 2>.

서비스 동작은 VICON사의 MX13 카메라 7대와 VICON 시스템을 사용하여 촬영하였으며, MX13 카메라는 각 카메라가 광학 마커들로부터 얻은 2차원의 영상들을 3차원으로 재구성하여, 각 마커의 위치 데이터 뿐만 아니라 각 신체 분절의 각도 값을 측정하는 장치이며, 최대 1000Hz까지 측정이 가능한 장비이다.

3. 실험방법







본 연구의 실험 장소는 경기도 소재 Y. 대학교 국제스포츠과학연구원의 생체역학실험실에서 동작촬영 및 분석을 수행하였다.

실험 전 피험자에게 실험에 대한 상세한 의도와 절차를 세부적으로 설명하여 정확하게 이해하도록 하였으며, 서비스 동작 촬영 및 데이터 수집을 위한 실험장비 배치도는 <그림 1>과 같다.

본 실험에 앞서 정확한 운동역학적인 변인의 데이터를 얻기 위해 3차례 예비실험을 하였다.

영상분석시스템을 셋업한 후 피험자의 신체 특성은 마틴식 인체계측기를 이용하여 측정한 후 실험실시 전

표 2. 실험장비

구 분	모델명	사 진
촬영 장비	The MX13 1.3 Motion Capture Camera	
데이터 수집	MX Control	
	MX Ultra Net	
분석용 소프트 웨어	Workstation	
	Bodybuilder	
	Polygon	

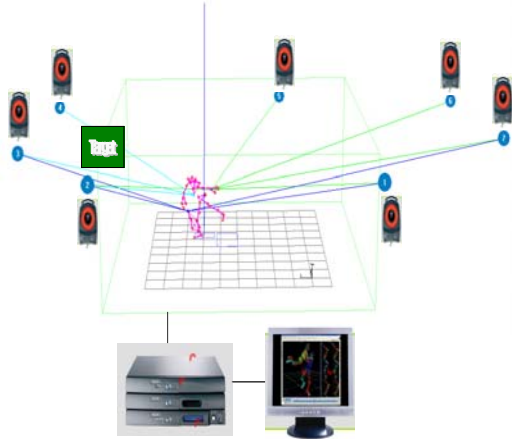


그림 1. 서비스 동작 촬영 및 데이터 수집
실험장비배치도

에 컴퓨터에 입력시켰다. 인체계측 측정이 끝난 후 피험자의 관절 부위에 반사마커를 부착시켰다. 이때 피험자의 복장은 해부학적 경계점이 최대한 보이도록 하기 위해 검정색 타이저를 착용하였고, 테니스화를 신지 않고 맨발로 동작을 수행하였으며, 반사마커를 부착 후 충분한 스트레칭과 서비스 스윙연습을 한 후 본 실험을 하였다.

모든 준비가 끝난 후 진행자의 '준비'와 '시작' 구령에 맞추어 동작을 수행하였으며, 실험순서에는 pinpoint stance를 먼저 하고 platform stance를 실시하였으며, 실험 간의 휴식은 충분히 하였으며, 라켓은 Wilson사의 NBLADE모델로서 라켓의 무게는 320g, 텐션은 60lbs, 볼은 Nassau Co.의 Patriot No.1 모델에 반사테이프를 감아서 활용하였으며, 피험자마다 스탠스 유형별 5회의 성공 시까지 서비스 동작을 촬영하였다. 이 때 촬영속도는 300Hz로 설정하였다. 서비스의 성공여부는 타켓(50cm×50cm)에 맞는 것으로 선택하였으며, 타켓은 베이스 라인으로부터 5.2m 거리를 두었으며, 1.94m 높이에 설치하였다.

4. 연구내용

테니스 서비스 동작의 중요한 이벤트와 국면은 <그림 2>와 같다.

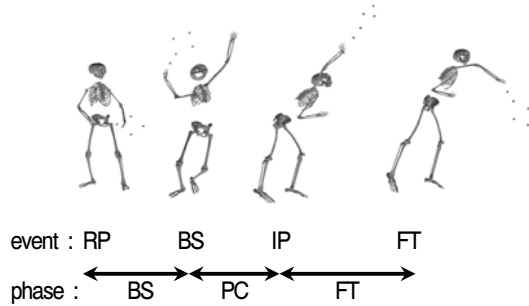


그림 2. 서비스 동작의 이벤트 및 국면

1) 이벤트(event)

본 연구에서는 4개의 이벤트로 구분하였다.

- ① 준비자세(Ready Position ; RP) : 서브를 넣기 위해 발을 편안히 벌린 자세에서 라켓을 뒤로 이동하기 직전의 순간
- ② 백스윙(Back Swing ; BS) : 토스를 하고 라켓을 뒤로 뺄 때 상지의 팔꿈치가 최저가 될 때의 동작
- ③ 임팩트(Impact ; IP) : 볼이 라켓 면에 부딪히는 순간
- ④ 팔로스로우(Follow Through ; FT) : 임팩트 후 한쪽 발 부위가 지면에 닿는 순간

2) 국면(phase)

본 연구에서는 4개의 이벤트를 3개의 국면으로 구분하였다.

- ① 1국면(Back Swing Phase ; BSP) : 준비자세에서 백스윙까지 구간
- ② 2국면(Power Curve Phase ; PCP) : 백스윙에서 임팩트까지 구간
- ③ 3국면(Follow Through Phase ; FTP) : 임팩트에서 팔로스로우까지의 구간

5. 자료처리

본 연구에서 테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작의 3차원 좌표 및 운동학적 데이터 산출은 VICON System의 분석프로그램인 Workstation, Bodybuilder, Polygon을 이용하였으며, 스탠스 유형별(pinpoint stance와 platform stance)로 어떠한 차이가

있는지를 분석하기 위하여 성공한 5회 중 가장 잘된 동작 3회를 선택하였다. 산출된 각 변인들의 값을 SPSS 13.0을 활용하여, 평균 및 표준편차를 구하고, 평균차를 통계적으로 검증하기 위하여 종속 t-검증을 하였으며, 이때 유의수준은 $p<.05$ 로 하였다.

III. 결과 및 논의

1. 소요시간

테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작의 국면별 소요시간과 전체 소요시간은 <표 3>과 같다.

전체소요시간은 pinpoint S.에서 평균 1.75 ± 0.16 초, platform S.는 평균 1.71 ± 0.13 초로서 0.04초 단축되었다.

전체소요시간에서는 pinpoint S.가 platform S.보다 0.04초 긴 시간을 소요했는데, 이는 제 1국면인 백스윙 구간에서 pinpoint S.는 오른발을 왼발 옆으로 이동하여 새로운 기저면을 형성하기 때문에 차이가 나타난 것으로 사료된다.

전체소요시간에 관한 선행연구와 비교해 보면, Smith(1979)의 연구 결과에 의하면 1st서브의 경우 최고 긴 동작 시간과 짧은 동작 시간인 각각 2.13초, 1.34초로 평균 1.74초, 2nd서브의 경우 각각 2.19초와 1.35초 평균 1.77초, 광창수·정철수·김성배·진성태·이계산·최부길(1990)은 1st서브가 평균 1.68초 2nd서브가 평균 1.74초, 황인승 등(1992)은 선수 집단 1.70초,

윤소윤(1996)은 평균 1.73 ± 0.11 초, 윤희중·정남주(1997)는 평균 0.73 ± 0.06 초, 이진희(2006)는 우수선수는 1.87 ± 0.35 초, 비우수선수는 2.27 ± 0.35 초 보고하였는데, 서브의 전체소요시간은 본 연구의 실험결과와 큰 차이가 없이 유사하였다.

국면별 소요시간을 살펴보면, pinpoint S.는 1국면에서 평균 1.31 ± 0.17 초, 2국면에서 0.29 ± 0.34 초, 3국면에서 0.15 ± 0.36 초로 나타났으며, platform S.는 1국면에서 1.27 ± 0.15 초, 2국면에서 0.30 ± 0.43 초, 3국면에서 0.14 ± 0.50 초로 나타내었다. 통계적으로는 전체소요시간과 1국면, 3국면에서는 유의한 차이가 없었지만, 2국면에서는 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$).

국면별 소요시간에 관한 선행연구와 비교해 보면, 황인승 등(1992)은 1국면 선수집단은 1.28초, 2국면 0.13초, 3국면 0.29초, 윤소윤(1996)은 백스윙과 토스단계의 경우, 평균 0.60 ± 0.04 초로 나타났고, 포워드 스윙과 임팩트 단계의 경우, 평균 0.76 ± 0.05 초, 팔로스로우 단계는 0.37 ± 0.07 초, 이진희(2006)는 우수선수는 1국면 1.28 ± 0.35 초, 2국면 0.21 ± 0.02 초, 3국면 0.33 ± 0.03 초의 시간이 소요되었다고 보고하였는데 본 연구의 1국면에서 pinpoint S.는 평균 1.31초, platform S.는 1.27초, 2국면에서 pinpoint S.는 0.29초, platform S. 0.30초, 3국면에서 pinpoint S.는 0.15초, platform S.는 0.14초로 나타냈는데 이는 국면의 설정이 각 연구마다 조금씩 차이가 있기 때문에 나타난 결과라고 사료된다.

테니스에서 서브는 유일하게 혼자서 컨트롤 할 수 있는 기술이며, 타법에 따라 동작의 형태도 매우 복잡하고 다양하게 이루어진 기술이다. 본 연구에서와 같이 스탠스 유형에 따른 국면별 소요시간에 대해 살펴보면, 백스윙 국면에서는 pinpoint S.가 긴 시간을 소요하였는데 이는 발을 앞으로 이동하면서 COM과 라켓이 많이 이동하여 백스윙을 완성하기 때문에 나타난 결과라고 사료된다. 파워커브 국면은 서브의 파워와 타법에 영향을 미치는 국면으로 pinpoint S.가 시간이 짧게 나타났는데 이는 볼의 스피드를 더 높일 수 있는 조건이라고 사료된다. 팔로스로우 국면에서는 임팩트 시 타점의 높이에 따라서 영향을 받는데 pinpoint S.가 platform S.에 비해서 라켓과 COM의 변위가 크게 나타났으며, 라켓과 COM의 속도도 빠르게 나타내서 팔로스로우 국면에서

표 3. 스탠스 유형별 소요시간 unit : sec.

국면	스탠스	M±SD	t	p
1	Pinpoint	1.31±0.17	1.73	.099
	Platform	1.27±0.15		
2	Pinpoint	0.29±0.34	-2.20	.039*
	Platform	0.30±0.43		
3	Pinpoint	0.15±0.36	1.28	.215
	Platform	0.14±0.50		
Total	Pinpoint	1.75±0.16	1.69	.107
	Platform	1.71±0.13		

* $p<.05$

약간의 차이를 나타낸 결과라고 사료된다.

2. COM 및 라켓의 변위와 속도

1) COM 및 라켓의 변위

테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작 시 COM의 변위는 <표 4>와 같다.

스탠스 유형별 COM의 변위를 살펴보면, X(좌우)방향은 pinpoint S의 경우 백스윙 국면에서 오른쪽으로 0.20±0.07m, 파워커브 국면에서 오른쪽으로 0.01±0.04m, 팔로스로우 국면에서 오른쪽으로 0.02±0.03m 이동되었으며, platform S의 경우 백스윙 국면에서 왼쪽으로 0.34±0.20m, 파워커브 국면에서 오른쪽으로 0.33±0.18m, 팔로스로우 국면에서는 왼쪽으로 0.17±0.29m 이동되었다. Y(전후)방향은 pinpoint S의 경우 앞으로 백스윙 국면에서 0.30±0.13m, 파워커브 국면에서 0.31±0.049m, 팔

로스로우 국면에서 0.08±0.03m 이동되었으며, platform S의 경우 앞으로 백스윙 국면에서 0.06±0.05m, 파워커브 국면에서 0.31±0.07m, 팔로스로우 국면에서는 0.08±0.05m 이동되었다.

Z(상하)방향은 pinpoint S의 경우 백스윙 국면에서 아래로 0.01±0.03m, 파워커브 국면에서 위로 0.19±0.03m, 팔로스로우 국면에서 아래로 0.10±0.03m 이동되었으며, platform S의 경우 백스윙 국면에서 아래로 0.02±0.03m, 파워커브 국면에서 위로 0.19±0.04m, 팔로스로우 국면에서는 아래로 0.10±0.06m 이동되었다.

COM의 합성변위는 pinpoint S. 시 백스윙 국면 0.23±0.08m, 파워커브국면 0.35±0.04m, 팔로스로우 국면에서는 -0.0003±0.03m 이동되었으며, platform S. 시 백스윙 국면 0.03±0.03m, 파워커브 국면 0.35±0.07m, 팔로스로우 국면 -0.10±0.22m 이동되었다.

통계적으로 COM의 변위는 X, Y방향과 합성변위의 백스윙 국면, X방향의 파워커브국면에서 유의한 차가 나타났으며($p<.05$), 다른 방향의 국면에서는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작 시 라켓의 변위는 <표 5>와 같다.

스탠스 유형별 라켓의 변위를 살펴보면, X(좌우)방향은 pinpoint S의 경우 백스윙 국면에서 왼쪽으로 0.25±0.15m, 파워커브 국면에서 오른쪽으로 0.44±0.19m, 팔로스로우 국면에서 다시 왼쪽으로 0.26±0.20m 이동되었으며, platform S의 경우 백스윙 국면에서 왼쪽으로 0.37±0.19m, 파워커브 국면에서 오른쪽으로 0.39±0.17m, 팔로스로우 국면에서 다시 왼쪽으로 0.20±0.30m 이동되었다.

Y(전후)방향은 pinpoint S의 경우 백스윙 국면에서 뒤로 0.47±0.17m, 파워커브 국면에서 앞으로 0.91±0.18m, 팔로스로우 국면에서 0.10±0.56m 이동되었으며, platform S의 경우 뒤로 백스윙 국면에서 0.66±0.18m, 파워커브 국면에서 앞으로 0.89±0.10m, 팔로스로우 국면에서는 앞으로 0.11±0.48m 이동되었다.

Z(상하)방향은 pinpoint S의 경우 백스윙 국면에서 위로 1.11±0.39m, 파워커브 국면에서 위로 0.68±0.07m, 팔로스로우 국면에서 아래로 2.12±0.23m 이동되었으며,

표 4. 스탠스 유형별 COM의 변위 unit : m

방향	국면	스탠스	M±SD	t	p
X (좌우)	1	pinpoint	0.20±0.07	8.147	.000*
		platform	-0.34±0.20		
	2	pinpoint	0.01±0.04	-5.108	.002*
		platform	0.33±0.18		
	3	pinpoint	0.02±0.03	1.725	.135
		platform	-0.17±0.29		
Y (전후)	1	pinpoint	0.30±0.13	5.556	.001*
		platform	0.06±0.05		
	2	pinpoint	0.31±0.05	-0.060	.954
		platform	0.31±0.07		
	3	pinpoint	0.08±0.03	-0.023	.983
		platform	0.08±0.05		
Z (상하)	1	pinpoint	-0.01±0.03	1.314	.237
		platform	-0.02±0.03		
	2	pinpoint	0.19±0.03	-0.143	.891
		platform	0.19±0.04		
	3	pinpoint	-0.10±0.03	-0.232	.824
		platform	-0.10±0.06		
R (합성)	1	pinpoint	0.23±0.08	6.734	.001*
		platform	0.03±0.03		
	2	pinpoint	0.35±0.04	-0.001	.999
		platform	0.35±0.07		
	3	pinpoint	-0.01±0.03	1.249	.258
		platform	-0.10±0.22		

* $p<.05$

표 5. 스탠스 유형별 라켓의 변위 unit : m

방향	국면	스탠스	M±SD	t	p
X (좌우)	1	pinpoint	-0.25±0.15	2.529	.045*
		platform	-0.37±0.19		
	2	pinpoint	0.44±0.19		
		platform	0.39±0.17		
	3	pinpoint	-0.26±0.20		
		platform	-0.20±0.30		
Y (전후)	1	pinpoint	-0.47±0.17	2.844	.029*
		platform	-0.66±0.18		
	2	pinpoint	0.91±0.18		
		platform	0.89±0.10		
	3	pinpoint	0.10±0.56		
		platform	0.11±0.48		
Z (상하)	1	pinpoint	1.11±0.39	.037	.971
		platform	1.11±0.39		
	2	pinpoint	0.68±0.07		
		platform	0.67±0.09		
	3	pinpoint	-2.12±0.23		
		platform	-2.04±0.33		
R (합성)	1	pinpoint	0.55±0.19	1.708	.138
		platform	0.36±0.30		
	2	pinpoint	1.19±0.07		
		platform	1.10±0.11		
	3	pinpoint	-1.39±0.54		
		platform	-1.35±0.55		

*p<.05

platform S.의 경우 백스윙 국면에서 위로 1.11±0.39m, 파워커브 국면에서 위로 0.67±0.09m, 팔로스로우 국면에서는 아래로 2.04±0.33m 이동되었다.

COM의 합성변위는 pinpoint S.의 경우 백스윙 국면에서 0.55±0.19m, 파워커브 국면에서 1.19±0.07m, 팔로스로우 국면에서 -1.39±0.54m 이동되었으며, platform S.의 경우 백스윙 국면에서 0.36±0.30m, 파워커브 국면에서 1.10±0.11m, 팔로스로우 국면에서는 -1.35±0.55m 이동되었다.

통계적으로 라켓의 변위는 X, Y방향의 백스윙과 합성변위의 파워커브 국면에서 유의한 차가 나타났으며 (p<.05), 다른 방향의 국면에서 유의한 차이를 나타내지 않았다.

테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작 시 COM 및 라켓의 합성변위를 비교해 보면 <그림 3>과 같다.

스탠스 유형별 COM과 라켓의 합성변위는 준비자세

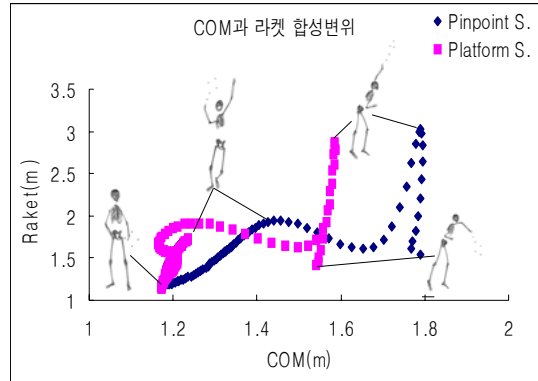


그림 3. 스탠스 유형별 COM 및 라켓의 합성변위

에서 두 스탠스가 비슷한 위치에 있었으며, 백스윙 시 pinpoint S.가 COM과 라켓의 이동이 크게 나타났으며, 임팩트 시에도 마찬가지로 pinpoint S.에서 COM과 라켓이 높은 위치에서 임팩트 되는 것을 알 수 있었다.

COM 및 라켓의 합성 변위에 관한 선행연구와 비교해 보면, 황인승 등(1992)은 1국면과 2국면에서의 X전후, Y상하, Z좌우의 무게 중심변화폭을 보면 1국면에서는 전후 -0.586±0.03m, 상하 0.110±0.03m, 좌우 0.199±0.09m 2국면에서는 전후 0.065±0.01m, 상하 0.044±0.03m, 좌우 0.012±0.01m 이동되었다고 보고하였으며, 이진희 (2006)는 라켓의 이동변위를 좌우방향에서 1국면 좌측으로 0.69m, 2국면 우측으로 0.43m, 3국면 좌측으로 0.08m, 전후방향에서 1국면에서 앞으로 0.1m, 2국면에서 앞으로 1.13m, 3국면에서 앞으로 0.19m, 상하방향에서 1국면은 위로 0.42m, 2국면에서는 위로 1.93m, 3국면에서는 아래로 2.37m 이동되었다고 보고 하였다.

COM과 라켓은 본 연구와 마찬가지로 백스윙에서 뒤로 이동하였다가, 임팩트 시 앞과 위로 동시에 이동 되는 것을 알 수 있었다.

COM과 라켓의 변위는 서브에서 속도와 정확성에 영향을 미치는 요인으로 백스윙부터 임팩트까지의 파워커브국면에서 앞으로 이동되는 것은 속도에 영향을 미치며, 높게 이동되는 것은 정확성에 영향을 미치게 됨으로써 platform S. 보다는 pinpoint S.가 유리하다고 사료된다.

2) COM 및 라켓의 속도

테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작 시

COM의 속도는 <표 6>과 같다.

스탠스 유형별 COM의 속도를 살펴보면, X(좌우)방향은 pinpoint S의 경우 오른쪽으로 백스윙에서 0.15±0.16㎧, 임팩트에서 0.13±0.25㎧, 팔로스로우에서는 0.17±0.23㎧의 속도를 나타냈으며, platform S의 경우 왼쪽으로 백스윙에서 0.03±0.15㎧, 임팩트에서 0.08±0.21㎧, 팔로스로우에서는 0.04±0.20㎧의 속도를 나타냈다.

Y(전후)방향은 pinpoint S의 경우 앞으로 백스윙에서 0.74±0.21㎧, 임팩트에서 0.70±0.22㎧, 팔로스로우에서는 오른쪽으로 0.44±0.15㎧의 속도를 나타냈으며, platform S의 경우 앞으로 백스윙에서 0.69±0.26㎧, 임팩트에서 0.65±0.26㎧, 팔로스로우에서는 0.41±0.25㎧의 속도를 나타냈다.

Z(상하)방향은 pinpoint S의 경우 백스윙에서 위로 0.47±0.48㎧, 임팩트에서 아래로 0.22±0.26㎧, 팔로스로우에서는 아래로 1.23±0.27㎧의 속도를 나타냈으며,

platform S의 경우 위로 백스윙에서 0.53±0.44㎧, 임팩트에서 아래로 0.19±0.21㎧, 팔로스로우에서는 아래로 1.27±0.33㎧의 속도를 나타냈다.

COM의 합성속도는 pinpoint S의 경우 백스윙에서 0.96±0.42㎧, 임팩트에서 0.79±0.23㎧, 팔로스로우에서는 1.40±0.24㎧의 속도를 나타냈으며, platform S의 경우 백스윙에서 0.91±0.47㎧, 임팩트에서 0.77±0.22㎧, 팔로스로우에서는 1.38±0.37㎧의 속도를 나타냈다.

통계적으로 COM의 속도는 X방향의 백스윙, 임팩트, 팔로스로우에서 유의한 차가 나타났으며(p<.05), 다른 방향 이벤트의 속도에서 유의한 차이를 나타내지 않았다.

테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작 시 라켓의 속도는 <표 7>과 같다.

스탠스 유형별 라켓의 속도를 살펴보면, X(좌우)방향은 pinpoint S의 경우 백스윙에서 왼쪽으로 5.78±1.91㎧, 임팩트에서 오른쪽으로 5.66±2.28㎧, 팔로

표 6. 스탠스 유형별 COM의 속도 unit : ㎧

방향	이벤트	스탠스	M±SD	t	p
X (좌우)	2	pinpoint	0.15±0.16	4.117	.006*
		platform	-0.03±0.15		
	3	pinpoint	0.13±0.25	3.271	.017*
		platform	-0.08±0.21		
	4	pinpoint	0.17±0.23	2.967	.025*
		platform	-0.04±0.20		
Y (전후)	2	pinpoint	0.74±0.21	1.063	.329
		platform	0.69±0.26		
	3	pinpoint	0.70±0.22	.456	.664
		platform	0.65±0.26		
	4	pinpoint	0.44±0.15	.427	.684
		platform	0.41±0.25		
Z (상하)	2	pinpoint	0.47±0.48	-2.293	.062
		platform	0.53±0.44		
	3	pinpoint	-0.22±0.26	-4.37	.678
		platform	-0.19±0.21		
	4	pinpoint	-1.23±0.27	.644	.543
		platform	-1.27±0.33		
R (합성)	2	pinpoint	0.96±0.42	1.427	.203
		platform	0.91±0.47		
	3	pinpoint	0.79±0.23	.270	.796
		platform	0.77±0.22		
	4	pinpoint	1.40±0.24	.276	.792
		platform	1.38±0.37		

*p<.05

표 7. 스탠스 유형별 라켓의 속도 unit : ㎧

방향	이벤트	스탠스	M±SD	t	p
X (좌우)	2	pinpoint	-5.78±1.91	-3.49	.739
		platform	-5.64±2.55		
	3	pinpoint	5.66±2.28	-2.446	.050
		platform	7.66±3.19		
	4	pinpoint	-7.11±2.21	.326	.755
		platform	-7.46±2.07		
Y (전후)	2	pinpoint	4.35±2.59	-5.63	.594
		platform	4.51±2.83		
	3	pinpoint	33.15±3.62	2.105	.080
		platform	31.17±3.46		
	4	pinpoint	-8.32±2.41	-1.09	.917
		platform	-8.20±3.60		
Z (상하)	2	pinpoint	0.53±2.88	.472	.654
		platform	0.38±2.38		
	3	pinpoint	-3.48±5.36	.671	.527
		platform	-4.62±4.84		
	4	pinpoint	-4.47±6.40	.802	.453
		platform	-6.17±9.31		
R (합성)	2	pinpoint	7.85±2.57	.047	.964
		platform	7.84±3.28		
	3	pinpoint	32.70±2.37	.585	.580
		platform	32.23±2.00		
	4	pinpoint	14.24±3.02	-1.179	.864
		platform	14.40±4.09		

*p<.05

스로우에서는 왼쪽으로 $7.11 \pm 2.21\%$ 의 속도를 나타냈으며, platform S.의 경우 백스윙에서 왼쪽으로 $5.64 \pm 2.55\%$, 임팩트에서 오른쪽으로 $7.66 \pm 3.19\%$, 팔로스로우에서는 왼쪽으로 $7.46 \pm 2.07\%$ 의 속도를 나타냈다.

Y(전후)방향은 pinpoint S.의 경우 백스윙에서 앞으로 $4.35 \pm 2.59\%$, 임팩트에서 앞으로 $33.15 \pm 3.62\%$, 팔로스로우에서는 뒤로 $8.32 \pm 2.41\%$ 의 속도를 나타냈으며, platform S.의 경우 백스윙에서 앞으로 $4.51 \pm 2.83\%$, 임팩트에서 앞으로 $31.17 \pm 3.46\%$, 팔로스로우에서는 뒤로 $8.20 \pm 3.60\%$ 의 속도를 나타냈다.

Z(상하)방향은 pinpoint S.의 경우 백스윙에서 위로 $0.53 \pm 2.88\%$, 임팩트에서 아래로 $3.48 \pm 5.36\%$, 팔로스로우에서는 아래로 $4.47 \pm 6.40\%$ 의 속도를 나타냈으며, platform S.의 경우 위로 백스윙에서 $0.38 \pm 2.38\%$, 임팩트에서 아래로 $4.62 \pm 4.84\%$, 팔로스로우에서는 아래로 $6.17 \pm 9.31\%$ 의 속도를 나타냈다.

라켓의 합성속도는 pinpoint S.의 경우 백스윙에서 $7.85 \pm 2.57\%$, 임팩트에서 $32.70 \pm 2.37\%$, 팔로스로우에서는 $14.24 \pm 3.02\%$ 의 속도를 나타냈으며, platform S.의 경우 백스윙에서 $7.84 \pm 3.28\%$, 임팩트에서 $32.23 \pm 2.00\%$, 팔로스로우에서는 $14.40 \pm 4.09\%$ 의 속도를 나타냈다.

통계적으로 라켓의 속도는 X방향의 임팩트에서만 유의한 차가 나타났으며($p < .05$), 다른 방향 이벤트의 속도에서 유의한 차이를 나타내지 않았다.

테니스 서브 스탠스 유형에 따른 서비스 동작 시 같이 COM 및 라켓의 합성속도를 비교해 보면 <그림 4>와 같다.

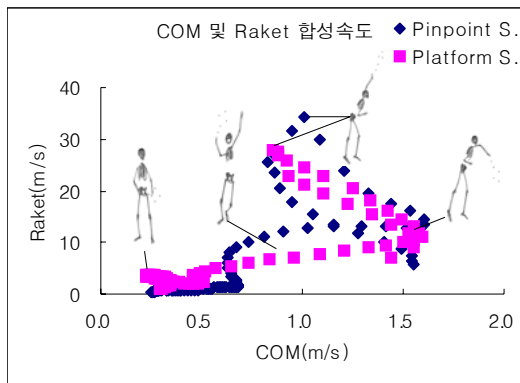


그림 4. 스탠스 유형별 COM 및 라켓의 합성변위

COM과 라켓의 합성속도는 COM과 라켓 모두가 백스윙과 임팩트에서 pinpoint S.가 platform S. 보다 조금씩 빠르게 나타났으며, 팔로스로우에서는 COM은 pinpoint S.가 라켓은 platform S.가 조금 빠르게 나타냈다.

COM의 합성속도는 pinpoint S.의 경우 백스윙에서 0.96% , 임팩트에서 0.79% , 팔로스로우에서는 1.40% 의 속도를 나타냈으며, platform S.의 경우 백스윙에서 0.91% , 임팩트에서 0.77% , 팔로스로우에서는 1.38% 의 속도를 나타냈다.

라켓의 합성속도는 pinpoint S.의 경우 백스윙에서 7.85% , 임팩트에서 32.70% , 팔로스로우에서는 14.24% 의 속도를 나타냈으며, platform S.의 경우 백스윙에서 7.84% , 임팩트에서 32.23% , 팔로스로우에서는 14.40% 의 속도를 나타냈다.

COM 합성 속도에 관한 선행연구를 살펴보면, 무게 중심의 속도는 강상학(2004)은 임팩트 직전에 평균 0.84% 로 앞으로 신체중심의 속도가 가장 높게 나타났고, 임팩트 순간에 0.82% , 임팩트 직후에는 0.71% 로 약간 속도가 떨어졌다고 보고하였으며, 이건희(2006)는 국면별 신체무게중심의 합성속도는 임팩트 시 우수선수는 $1.4 \pm 0.9\%$, 비우수선수 $1.0 \pm 0.3\%$ 나타났다고 보고하였다.

본 연구는 임팩트 시 pinpoint S.는 $0.81 \pm 0.23\%$, platform S.가 $0.79 \pm 0.23\%$ 로 나타난 것에 비해 선행연구들이 빠른 속도를 나타내었는데 이는 피험자들의 수준 즉, 강상학(2004)은 대학선수, 이건희(2006)는 우수 선수를 전국 4강 성적이 있는 실업선수로 비우수선수는 경력 10년 이상의 대학선수들을 대상으로 하였기에 다년간의 거쳐 훈련한 선수들이 신체중심의 이동을 원활하게 사용하는 것으로 사료된다.

라켓의 합성 속도에 관한 선행연구를 살펴보면, 황인승 등(1992)은 선수집단이 20.78% , Smith(1979)는 라켓의 최대속도는 초보자의 경우 24.4% , 선수의 경우 33.6% , 윤소윤(1996)은 라켓의 속도의 34.8% , 윤희중·정남주(1997)는 임팩트 시 라켓의 속도는 진행방향속도 값은 $27.92 \pm 3.47\%$, 조필환(2002)은 라켓의 속도 30.02% , 이건희(2006)는 라켓 헤드의 합성속도는 임팩트 시 우수선수는 $47.3 \pm 2.2\%$, 비우수선수는 $44.3 \pm 1.8\%$ 로 나타났다.

본 연구에서는 임팩트 시 pinpoint S는 32.70%, platform S가 32.23%로 pinpoint S가 약간 빠르게 나타났으며, 황인승 등(1992), 조필환(2002)의 연구보다는 빠른 속도를 나타냈지만 윤소윤(1996)과 윤희중·정남주(1997), 이건희(2006)의 연구보다는 느린 속도를 나타내었다. 이는 아직 경력이 짧아 기술의 미완성과, 성장기에 있는 고등학교 선수로서 아직 근력이 부족하기에 나타난 결과라고 사료된다.

운동량은 충격량과 동일하므로 운동량이 크면 클수록 볼에 주는 충격량도 커짐으로써 파워커브 국면에서 무게중심과 라켓헤드의 속도는 서브의 속도를 큰 영향을 미친다. 따라서 보다 빠른 서브를 구사하기 위하여 무게중심과 라켓헤드의 변위는 크게 속도는 빠르게 해야 하는데 이러한 조건은 pinpoint S가 platform S보다 유리한 조건이라고 사료된다.

V. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 테니스 서브 스탠스 유형(pinpoint stance, platform stance)에 따른 서비스 동작의 생체역학적인 분석을 통하여 빠른 서브를 구사할 수 있도록 지도할 기초자료를 제공하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 우수 고등학교 테니스 선수 7명을 대상으로 하였으며, VICON System의 분석프로그램인 Workstation, Bodybuilder, Polygon을 이용하여 3차원 좌표 및 운동학적 변인들을 분석하였다. 구체적인 변인은 국면별 소요시간, COM·라켓의 변위 및 속도 변인들을 중점적으로 비교 분석한바 다음과 같은 결론을 얻었다.

Pinpoint Stance는 백스윙국면에서 뒷발을 앞발방향으로 이동하기 때문에 신체중심(COM)과 라켓의 많은 움직임으로 인해 소요시간이 Platform Stance 보다 0.04초 길게 소요되었다.

발을 이동하면서 골반부위를 앞으로 이동시켜서 몸을 활처럼 많이 휘게 함으로써 백스윙부터 임팩트까지 파워를 낼 수 있는 구간을 넓혀 COM과 라켓의 속도를 빠르게 하여 서브의 속도를 증가하는데 기여하는

스탠스임을 알 수 있었다.

Platform Stance는 백스윙국면에서 발의 이동이 없기 때문에 COM과 라켓의 작은 움직임으로 인해 소요시간이 Pinpoint Stance 보다 0.04초 짧게 소요되었다.

발의 이동이 없어서 파워를 낼 수 있는 구간을 좁혀 COM과 라켓의 속도가 느리게 나타났지만 중심의 안정감을 높여 서브의 성공률을 높이는데 기여하는 스탠스임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 강상학(2004). 테니스 서브의 운동학적 분석. **한국스포츠리서치**, 제 15권 제4호, pp. 2135~2146.
- 강재규(1993). **3-D영상분석에 의한 테니스 서브기술의 운동 역학적 분석**. 미간행 석사학위논문, 연세대학교 교육대학원.
- 곽창수, 정철수, 김성배, 진성태, 이계산, 최부길(1990). 테니스 서브의 3차원 영상분석, **체육과학연구원, 체육과학논총**, 제1권 제2호.
- 권중호(1985). **Tennis Serve 동작의 역학적 분석(여자대학 우수선수를 중심으로)**. 미간행 석사학위논문, 경희대학교 대학원.
- 김승길(2004). **테니스 서브동작에 대한 하지의 근전도 분석**. 미간행 석사학위논문, 부산외국어대학교 교육대학원.
- 김승범(1987). **테니스 기술동작시 근전도 변화에 관한 연구**. 미간행 석사학위논문, 연세대학교 대학원.
- 김재석(2002). **테니스 스핀 서브 동작의 운동학적 분석**. 미간행 석사학위논문. 동의대학교 교육대학원.
- 김영엽(1982). **테니스 동작 시의 근전도 변화에 관한 연구**. 미간행 석사학위논문, 연세대학교 대학원.
- 김찬희(1987). 테니스 동작 시 주동근 분석을 위한 근전도 고찰. **한국체육학회지**, 제26권 제1호. pp. 1099~1106.
- 노순철(1986). **테니스 서브시 지면반력에 관한 연구**. 미간행 석사학위논문, 서울대학교 대학원.
- 신선우(1998). **테니스 Power serve와 spin serve의 운동**

- 역학적 분석.** 미간행 석사학위 논문. 명지대학교 대학원.
- 신순호(1990). 테니스 파워서브와 스피너 서브의 운동학적 분석. 명지대학교 석사논문.
- 신제민, 진영완(2003). 테니스 플랫서브의 3차원 각운동 특성. **한국체육학회지** 제42권 제6호, pp. 973~983.
- 오정환, 최수남, 남택길(2006). 테니스 플랫 서브 동작의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 제16권 2호, pp. 97~108.
- 윤소윤(1996). **TENNIS SERVE의 운동학적 분석.** 미간행 석사학위논문. 수원대학교 대학원.
- 윤희중 · 정남주(1997). 플랫서브와 스피너서브의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 제7권 1호, pp. 1~18.
- 이건희(2006). 테니스 우수선수와 비우수선수의 플랫 서브 동작에 대한 운동학적 분석. 미간행 석사학위논문, 충남대학교 대학원.
- 이종규(1982). 테니스 서브동작의 역학적 분석. 미간행 석사학위논문, 단국대학교 대학원.
- 이중숙, 강제형, 유창재, 양정욱, 이훈식(2001). 근전도 시스템을 이용한 테니스 퍼스트와 세컨드 서비스의 생체역학적 연구. **신라대학교 자연과학연구소 논문집**, 제9권, pp. 103~116.
- 임병규, 박홍석(2000). 튜브 저항 트레이닝이 테니스 선수들의 어깨 회전력과 서비스 능력에 미치는 효과. **발육발달학회지**, 8권 1호, pp. 115~121.
- 임용규, 김종훈(1975). Tennis Serve의 동작 분석. **한국체육 학회지**, 18호, pp. 143~151.
- 정남주(1997). 테니스 플랫 서브와 스피너 서브의 운동학적 변인과 라켓속도에 대한 인체분절의 기여도. 한국체대 석사논문.
- 정완기(1993). **TENNIS SERVE 동작 시 근전도 분석.** 미간행 석사학위 논문. 건국대학교 교육대학원.
- 조필환(2002). 테니스 플랫 서브동작에 대한 숙련자와 미숙련자간의 운동학적 비교 분석. **한국체육 교육학회지**, 제6권 제2호, pp. 230~237.
- 조항명(2000). 초등학교 테니스 선수들의 서브시 지면 반작용력에 관한 연구. 미간행 석사학위논문, 인천대학교 교육대학원.
- 조현영(1997). 테니스 플랫서브의 운동학적인 연구. **호남대학교 학술논문집**, 제18권 제4호.
- 진성태(1984). 던지기 동작에서 각 신체 분절의 역할. 미간행 석사학위논문, 서울대학교 대학원
- 진영완(2001). 테니스 서브 동작 시 근모멘트 분석. **한국운동역학회지**, 제11권 2호, pp. 155~173.
- 진영완, 유병인, 이성철(1998). 테니스 스피너 서브동작 시 관절운동의 분석. **한국체육학회지**, 제37권 제3호.
- 최웅재(1993). 테니스 플랫 서브 동작의 운동학적 분석. 미간행 석사학위논문, 연세대학교 대학원.
- 황인승, 이성철, 김주선(1992). 3D영상분석에 의한 테니스 플랫 서브의 운동학적 분석. **한국체육학회지**, 제31권. 제2호. pp. 201-209.
- Anderson M. B.(1979). Comparison of muscle patterning in the over arm throw and tennis serve. *Research Quarterly*, 50(4), pp. 541~553.
- Bartlett, L. R Storey, M. D., Simons, B. D.(1989). Measurement of upper extremity torque production and its relationship to throwing speed in the competitive athlete. *Am. J. Sport Med.*, 17, pp. 89~91.
- Bahamonde, R. E.(1989) *Kinetic analysis of the serving arm during the performance of the tennis serve.* 12th International Congress of Biomechanics. Ucla, pp. 99~100.
- Beecher, M.(1977). *Relationships of forward hip rotation velocity, magnitude of forward hip rotation and composite arm shoulder strength of the flat tennis serve.* Unpublished master's thesis, Springfield College, Springfield, MA.
- Beerman J. & Sher, L.(1981). Improve tennis service through mathematics. *American Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 53(7), p. 55.
- Bollettieri, N.(2001). *Sonic Serve*, Tennis Korea; Seoul.
- Brian J. Gordon, Jesús Dapena(2006) Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *Journal of sports sciences*, Vol. 24 No. 1. pp. 31~49.

- Elliott B. C.(1983). *Spin and the power serve : A coach's perspective*. Sports Coach, 6(4) : pp. 42~46
- Elliott, B. C., Takahashi, K. & Noffal, G. J.(1997). The influence of grip position on upper limb contributions to racket head velocity in a tennis forehand. *Journal of applied Biomechanics*, 14, PP. 173~196.
- Elliott & Wood(1983). The biomechanics of the foot-up and foot-back tennis serve techniques. *The Australian Journal of Sports Sciences*, 3(2) : pp. 3~5.
- Glenn Fleisig, Rochelle Nicholls, Bruce Elliott & Rafael Escamilla(2006). Kinematics Used by World Class Tennis Players to Produce High-Velocity Serves. *Sports Biomechanics* Vol. 2(1) pp. 51~71.
- Groppel J, L.(1992). *High tech tennis*. Illinois ; Lesiure Press.
- Kuo-Cheng Lo, Lin-Hwa Wang, Chia-ching Wu, Fong-Chin Su (2004). Kinematics of Lower Extremity in Tennis Flat and Spin Serve. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 24-4. pp. 209~212.
- Kuo-Cheng Lo, Lin-Hwa Wang, Chia-ching Wu, Fong-Chin Su(2004). *Biomechanical analysis of trunk & lower extremity in tennis serve*. Proceedings of International Symposium of Biomechanics in Sports. Vol. 22. pp. 261~264.
- Miyashita(1980). Muscular activities in the tennis serve and overhand throwing Scandinavian. *Journal of Sport Sciences*, 2. pp. 52~58.
- Owens, M. S. & Lee. H. Y.(1969). A determination of velocities and angles of projection for the tennis serve. *Research Quarterly*, 40(4), pp. 750~754.
- Smith, S. L.(1979). *Comparisons of selected factors associated with the flat and slice serves of male university tennis players*. In J. L. Groppel(Ed.), Proceedings of the national symposium on racquet sports. (p.17.) Champaign ; University of Illinois.
- Van Gheluwe, B. & Hebbelinck, M.(1985). *The kinematics of the service movement in tennis : A three dimensional cinematographic approach*. In D. Winter, R. Norman, R. Wells, K. Hayes, & A. Patla(Eds), *Biomechanics IX-B*. pp.521~526. Champaign, IL ; Human Kinetics.

투 고 일 : 1월 31일
 심 사 일 : 2월 4일
 심사완료일 : 3월 19일