



테니스 한손 백핸드 스트로크와 양손 백핸드 스트로크 동작의 3차원 운동학적 비교 분석

3-D Kinematic comparison of One Hand Backhand Stroke and Two Hand Backhand Stroke in Tennis.

최지영* · 신제민(연세대학교 · 상명대학교)

Choi, Ji-Young* · Shin, Je-Min(Yonsei University · Sangmyung University)

ABSTRACT

J. Y. CHOI, J. M. SHIN. 3-D Kinematic comparison of One Hand Backhand Stroke and Two Hand Backhand Stroke in Tennis, Vol. 15, No. 4, pp.85-95, 2005. The purpose of this study was to investigate the relations between the segments of the body, the three dimensional anatomical angle during One Hand Backhand Stroke and Two Hand Backhand in tennis. For the movement analysis three dimensional cinematographical method(APAS) was used and for the calculation of the kinematic variables a self developed program was used with the LabVIEW 6.1 graphical programming(Johnson, 1999) program. By using Euler's equations the three dimensional anatomical Cardan angles of the joint and racket head direction were defined.

1. In three dimensional maximum linear velocity of racket head the X axis and Y axis(horizontal direction) showed -11.04 ± 2.69 m/sec, -9.31 ± 0.49 m/sec before impact, the z axis(vertical direction) maximum linear velocity of racket head did not show at impact but after impact this will resulted influence upon hitting ball. It could be suggest that Y axis velocity of racket head influence on ball direction and z axis velocity influence on ball spin after impact. The stance distance between right foot and left foot was mean 75.4 ± 5.86 cm during one hand backhand stroke and 72.6 ± 4.67 cm during two hand backhand stroke.

2. The three dimensional anatomical angular displacement of trunk in interna rotation-external rotation showed most important role in backhand stroke. and is follwed by flexion-extension. the three dimensional anatomical angular displacement of trunk did not show significant difference between one hand backhand stroke and two hand backhand stroke but the three dimensional anatomical angular displacement of trunk was bigger than one hand backhand stroke.

3. while backhand stroke, the flexion-extension and adduction-abduction of right shoulder joint showed significant different between one hand backhand stroke and two hand backhand stroke. the three dimensional anatomical angular displacement of right shoulder joint showed more flex and abduct in one hand backhand stroke.

4. The three dimensional anatomical angular displacement of left shoulder showed flexion, adduction, and external rotation at impact. after impact, The angular displacement as adduction-abduction of left shoulder

changed motion direction as abduction. angular displacement of left shoulder as flexion-extension showed bigger than the right shoulder

KEYWORDS: BACKHAND STROKE, 3-D KINEMATIC, CARDAN ANGL

I. 서론

인간의 운동은 기본적으로 운동기술(motor skill)의 고유한 운동패턴에 의한 역학적 원리에 의하여 수행된다. 운동기술은 서로 다르게 수행되지만 비슷한 결과를 가져오는 경우가 있는데, 그 예가 테니스의 한손 백핸드 스트로크(one hand backhand stroke)와 양손 백핸드 스트로크(two hand backhand stroke)이다(이정명, 1992). 1998년 US 오픈16강에 오른 선수들의 80% 이상의 남자 선수들이 양손 백핸드를 사용했으며, 포핸드와 백핸드 모두 양손을 사용하는 선수도 있다. 이제는 테니스 선수들에게서 양손 백핸드는 여자뿐만 아니라 남자에게서도 주요한 타법으로 자리 잡았다(강상학, 1998). 따라서 양손 백핸드 스트로크는 한손 백핸드 스트로크를 보완하는 기술이라기보다는 독립된 하나의 스트로크로 인정받고 있다. 이런 현상의 추세에 근거하여 한손 백핸드 스트로크와 양손 백핸드 스트로크의 운동(역)학적인 관점에서 연구들이 최근 발표되고 있다. 그러나 테니스 경기의 공격을 주도하는 포핸드 스트로크에 대한 연구는 활발히 진행되었지만 백핸드 스트로크에 대한 연구는 상대적으로 미진한 상태이다(정철수와 임규찬, 1993; 김석환 등, 1991; 김옥태와 윤재백, 1996; 강영택 등, 1999; 강상학, 2002; Groppel, 1986; knudson & Roberts, 1989; Woo & Chapman, 1992).

양손 백핸드 스트로크에 대한 연구들은 주로 2차원 운동학에 대한 연구(이정명, 1992)를 시작으로 3차원 운동학적 연구로 발전되고 있는 실정이나, 3차원 운동학적 연구는 주로 개개분절의 위치 및 속도에 대한 연구(김의한 등, 2003; 서재하와 김현수, 2003)로 관절에서 발생하는 각운동에 대한 연구는 제한적이라고 할 수 있다. 이정명(1992)은 여자 실업 선수 중 한손 백핸드 드라이브를 사용하는 선수 2명과 양손 백핸드 드라이브를 사용하는 선수 2명을 대상으로 한 연구 결과

에서 두 스트로크 간에 운동학적 변인의 뚜렷한 차이가 없으므로 특정 스트로크가 우세하다는 우열관계로 설명하기는 힘들다는 결론을 내렸다. 또한 각운동에 대한 연구가 이루어졌다고 할지라도 무릎관절과 팔꿈치관절의 2차원적인 분석에 국한 되어 동작생성에 중요한 역할을 하는 어깨관절과 몸통 등에서 발생하는 각운동의 3차원분석은 생략되어 있다(강상학 등, 1998; 강상학, 2000; 김재필, 1993). 이들 연구는 스트로크에 참여되는 상지분절들의 3차원 직선변위 및 직선속도를 분석하고 신체중심의 움직임을 3차원 직선 변위를 중심으로 분석하여 우수선수들의 동작에 대한 정보를 제공하고 있다. 특히 어깨관절의 3차원 분석은 테니스 스트로크에서 높은 비중을 차지하고 있음에도 불구하고 어깨관절의 해부학적인 복잡한 특성 때문에 3차원 각 운동을 분석하기에 단순하지 않지만 어깨관절의 관절운동은 해부학적 운동에 따라 개별적으로 정의되어야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 한손 백핸드 스트로크 동작과 양손 백핸드 스트로크 동작의 3차원적 영상분석 방법을 적용하여 운동학적 변인들의 비교 분석함으로써 특히 임팩트 등과 같은 특정 시점과 함께 동작구간 전체에서 나타나는 라켓헤드의 3차원 변위 및 속도, 중요관절의 해부학적 3차원 각변위 등을 정량화하며 기초적인 운동학적 자료를 제공하는데 있다.

II. 연구 방법

1. 실험대상자

본 연구를 위하여 6명의 고등학교 남자 테니스선수가 실험대상자로 자원하였으며, 피험자 3명은 한손 나머지 피험자 3명은 양손 백핸드 스트로크를 실시하였다. 실험대상자들의 평균 키는 176.7 ± 2.08 cm, 평균 몸무게는 65.7 ± 3.79 kg, 평균 선수경력은 6.3 ± 0.58 년 이었다.

2. 영상데이터의 수집

영상자료를 얻기 위한 실험은 Y대학교의 클레이 테니스 코트에서 두 대의 디지털비디오 카메라를 설치하여 동작을 촬영하였으며, 테니스공을 테니스 코트의 서비스 라인을 지난 센터 마크 지점에 테니스 지도자가 연속적으로 공급해주면서 대상들에게 파워 있고 정확하게 정지동작이 없이 연속적으로 동작을 실시하도록 요구하였다. 정확성에 대한 목표는 프론트 코트 지역이었다. 이 지역의 네모 안에 성공하지 못한 시기는 연구에 포함시키지 않았으며, 분석에 포함한 시기는 5회로 하였다.

실험에 앞서 각 대상자들은 30분 정도의 충분한 연습을 수행한 후 본 실험에 임하였다. 영상분석시 필요한 분절좌표계(segment reference system)를 생성하는데 사용되어지는 해부학적 경계점을 쉽게 알아보기 위하여 피험자들은 연습용 반바지만을 착용하게 하고, 각 인체 해부학적 경계점에는 반사용 마커(reflection marker)를 부착한 후, 2 대의 디지털비디오카메라로 촬영하여 영상자료를 수집하였다. 영상분석을 위하여 2대의 6mm 디지털비디오카메라의 광축(optical axis)이 동작수행 지역과 교차하도록 동작수행 시상면을 기준으로 좌측에 각각 설치하였다. 이 때 2대의 디지털비디오카메라의 동조를 위하여 직접 제작하여 만든 디지털 방식의 동조 타이머(TIMER)를 사용하였다. 동작수행 지역의 중앙 지점과 비디오 카메라의 거리는 좌측 4.70m, 우측

의 촬영속도를 적용하였다. 임팩트 순간은 볼과 라켓면이 만나는 순간 또는 볼이 라켓 면을 떠난 직후로 설정하였으며, 이렇게 촬영된 영상자료는 비디오 편집기 통하여 재생한 영상을 iomega사의 Buz-motion capture card와 Ariel capture 프로그램을 사용하여 분석하였다. 해부학적 경계점의 3차원 공간 좌표를 계산하기 위해 8개의 통제점(control point)을 갖는 3차원 좌표측정대(three-dimensional calibration frame)를 동작 수행지역에 1.00m×2.00m×2.00m의 직사면체 공간이 이루어질 수 있도록 설치하여 촬영한 후 제거하였다.

3. 계수화작업

자료의 수집과정에서 얻어진 영상 데이터를 컴퓨터에서 읽을 수 있는 데이터로 전환시킨 후 Ariel Digi4 Program를 사용하여 계수화하였다. 비디오 분석기를 통해 컴퓨터와 연결된 모니터 위에 영사시켜 인체표면에서 확인할 수 있는 19개의 해부학적 경계점, 4개의 라켓헤드 마커, 라켓 그립 끝 점, 볼, 그리고 1개의 기준점을 수치화하였다. 순간적으로 보이지 않는 마커는 앞뒤 프레임을 반복 관찰하여 보간법을 사용하여 처리하였다. 양쪽 비디오 카메라에서 얻어진 영상자료의 해부학적 경계점 2차원 좌표값과 같은 장면에서 촬영된 기준점의 통제점군들 가운데 선택된 8개의 통제점 좌표값, 그리고 8개의 통제점의 실측치를 이용하여 DLT(Direct Linear Transformation)방법(Abdel-Aziz & Karara, 1971)을 사용하여 해부학적 경계점의 3차원 공간 좌표 값을 얻었다. 이 때 통제점 값은 통제점 군을 5번 수치화한 값의 평균값을 사용하였다.

4. 평활화 및 시간 축의 정규화

이렇게 얻어진 해부학적 경계점의 3차원 공간 좌표값을 Second-Order Butterworth Low-Pass Filter(Winter, 1990)를 이용하여 평활화(smoothing) 하였다. 이 때, 원(raw) 데이터 값이 가능한 변형되지 않도록 각 분절들의 선형속도 값들의 곡선형태를 살펴보면서 표본 주파수(sampling frequency)와 차단 주파수(cutoff frequency)

<표 1> 해부학적경계점의 위치

분 절	해부학적 경계점
발	head metatarsal II
발목	lateral malleolus
하퇴	femoral condyles
대퇴	greater trochanter
손	Knuckle II middle finger
손목	unlar styloid
전완	elbow axis
상완	glenohumeral joint
머리	vertex

4.35m 하였으며, 이 때 두 카메라 사이의 거리는 4.40m로 하였다. 비디오 카메라의 촬영속도는 60 frames/sec

의 비율이 가장 적절하다고 나타난 비율 10이 되도록 6Hz 의 차단주파수를 선택하였다. 테니스 백핸드 스트로크 동작시 백스윙 탑부터 홀로우스루 까지 동작시간을 기준으로 시간축은 Reinschmidt(1996)에 의하여 제시된 3차 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)을 이용하여 시간 축을 100%로 정규화(normalization)하였다.

5. 컴퓨터 소프트웨어를 이용한 운동학적 자료의 획득

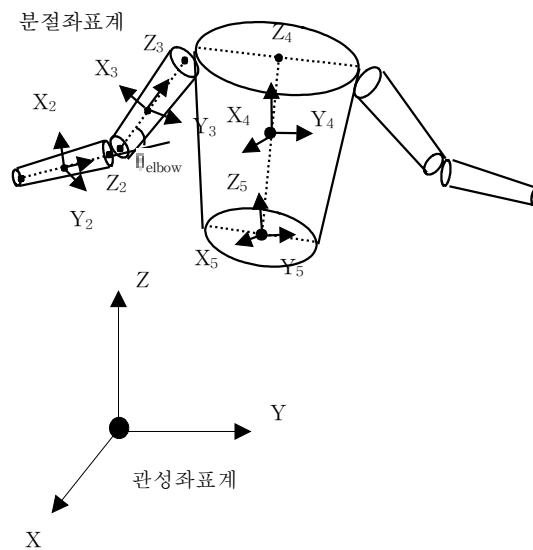
이러한 과정을 거쳐 얻은 3차원 좌표 값은 LabVIEW 6.1(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) graphical programming (Johnson, 1999)을 사용하여 직접 작성한 프로그램을 이용하여 운동학적 자료를 계산하였다.

6. 통계처리

본 연구에서의 실험결과 처리는 SPSS 10.0 for Windows 통계 package를 사용하였으며, 측정항목의 모든 자료는 평균과 표준편차로 산출하였다. 테니스 백핸드 스트로크의 각 유형별 차이는 독립표본 t-test를 통해 검증하였다. 이때 통계의 유의도 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

8. Cardan Angles를 이용한 지역축에 대한 분절의 각도

지역축에 대한 분절의 각도를 구하기 위하여 오일러 각 공식(Euler's equation of angle)과 세 개의 축이 다를 때 사용되어지는 Cardan angles(Nigg & Herzog, 1994)을 사용하여 지역좌표계(R, 혹은 분절)와 관성좌표계간의 상대각을 구할 수 있는데, 분절(혹은 지역좌표계 R: G_{xyz} , 단위벡터 i, j, k)의 방향을 관성좌표계 (X, Y, Z 단위벡터 I, J, K)에 대하여 정의하기 위하여 Cardan Angles ϕ, θ, ψ 를 순서대로 사용하여야 한다(Chao, 1980; Lafortune 1984; Grood & Suntay,



<그림 1> 기준좌표계

1983). 편의상 지역좌표계(R)와 관성좌표계(B)가 서로 일치하고 있다고 가정하고, 이때의 지역좌표계 방향을

$$R_1 : G_{x_1, y_1, z_1}$$

이라고 표시하면 그들의 단위 벡터들도 서로 일치하며 $i_1=I, j_1=J, k_1=K$ 가 된다. 어느 한 순간의 지역좌표계(R)혹은 분절의 관성좌표계(B)에 대한 방향은 다음과 같은 순서의 회전으로 얻어 낼 수 있다. 아래의 계산 순서는 근위분절에 설정한 축 (X, Y, Z)의 단위벡터를 I, J, K 로 하고 원위 분절에 설정한 축(x, y, z)의 단위 벡터를 i, j, k 로 정의 했을 때 1차, 2차 3차 회전각을 구하는 방법이다(황인승, 1997).

이상의 3번의 회전에 의하여 만들어진 각들인 ϕ, θ, ψ 의 의미를 해석해 보면 다음과 같다.

- ϕ : 굴곡(flexion)과 신전(extension)을 나타내는 각.
 - (+)는 굴곡(flexion)
 - (-)는 신전(extension)
- θ : 내전(adduction)과 외전(abduction)을 나타내는 각.
 - (+)는 내전(adduction)
 - (-)는 외전(abduction)
- ψ : 내측회전(internal rotation)과 외측회전(external rotation)을 나타내는 각.
 - (+)는 내측회전(internal rotation)
 - (-)는 외측회전(external rotation)이다.

III. 결과 및 논의

본 연구의 결과는 테니스 한손 백핸드 스트로크와 양손 백핸드 스트로크시 라켓헤드의 중심 이동궤적과 라켓헤드 중심의 3차원 속도에 대하여 살펴본 후, 테니스 백핸드 동작의 백스윙 탑, 포워드 스윙 구간, 임팩트순간, 팔로우스루 구간에서 중요관절의 3차원 해부학적 각도의 변화에 대하여 살펴보았다.

1. 시간요인

표-2은 테니스 백핸드 스트로크의 전반적인 시간요인에 대하여 나타낸 것으로 전체동작 시간요인은 한손 백핸드 스트로크의 경우 0.54±0.03sec가 소요되었으며, 백스윙 탑에서 임팩트까지 0.38±0.03sec가 소요되었다. 양손 백핸드 스트로크의 경우 0.53±0.03sec가 소요되었으며, 백스윙 탑에서 임팩트까지 0.36±0.03sec가 소요되었다. 전체스윙동작 구간을 100%로 환산했을 경우 백스윙 탑에서 임팩트까지는 한손 백핸드 스트로크의 경우 69%지점, 양손 백핸드 스트로크 68%지점에서 발생하였다.

2. 테니스 라켓헤드의 3차원 변위 및 속도

표-3는 라켓헤드의 임팩트시 X, Y, Z방향의 속도를 나타낸 것으로 임팩트시 백핸드 스트로크에 따른 라켓헤드의 3차원 속도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 한손 백핸드와 양손 백핸드의 X방향과 Y방향 속도는 임팩트 이전에 최고 속도를 나타내었으며, Z방향 경우는 모두 임팩트 이후에 최고 속도가 발생하였다. 임팩트시 라켓헤드의 중심점 X, Y, Z방향의 속도는 한손 백핸드 스트로크 경우 -11.04± 2.69m/s, -9.31±0.49m/s 그리고 3.40± 1.60m/s로 각각 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크 경우-12.39± 3.52m/s, -7.39±0.39m/s, 4.87±1.63m/s로 나타났다. 본 연구의 결과 합성속도(resultant velocity)는 한손 백핸드 스트로크 경우 평균 15.34±3.12m/s, 양손 백핸드 스트로크 14.96± 2.10m/s로 나타나 한손 백핸드 스트로크시 약간 높

<표 2> 백핸드 스트로크 시간요인

(단위 : sec)		
동작유형	전체시간	임팩트
one hand	0.54±0.03	0.38±0.03
two hand	0.53±0.03	0.36±0.03
t-value	-0.478	-0.679

* p<0.05

<표 3> 임팩트시 라켓헤드의 3차원속도

(단위 : m/sec)			
동작유형	X	Y	Z
one hand	-11.04±2.69	-9.31±0.49	3.40±1.60
two hand	-12.39±3.52	-7.39±0.39	4.87±1.63
t-value	-0.523 (.628)	5.327* (.006)	1.120 (.326)

* p<0.05

<표 4> 임팩트시 백핸드 스트로크 발 변위

(단위 : cm)	
동작유형	발변위
one hand	75.40±5.86
two hand	72.61±4.67
t-value	-0.642 (.556)

* p<0.05

을 나타내고 있다. 김석환(1991)은 라켓속도를 임팩트 전 18.88±1.45m/sec 임팩트 후 17.94± 2.12m/sec의 라켓속도 값을 제시하고 있어 본 연구의 결과보다 약간 높은 값을 나타내고 있다.

표-4은 왼발과 오른발 사이의 보폭을 나타낸 것으로 양발의 무게중심점을 구한 다음 수평면에서의 거리를 나타낸 것이다. 양발사이의 보폭은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 임팩트시 보폭의 크기는 한손 백핸드 스트로크 경우 75.40± 5.86cm, 양손 백핸드 스트로크 72.61±4.67cm, 나타났다. 강상학(2002)은 발 보폭의 측정 부위와 방법에 대하여는 설명은 없지만 포핸드 스트로크시 양발의 보폭을 평균 66cm라고 보고하고 있다.

3. 상지관절의 해부학적 3차원 각변위

표-5는 임팩트시 상체와 상지(upperlimb)관절의 임팩트시 3차원 각도 요인을 나타낸 것이다. 그림 2은 상체의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 테니스 백핸드 스트로크의 굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 임팩트 이전까지는 신전된 상태에서 임팩트 이후 굴곡되는 양상을 나타내었으나 카운트의 방향에서는 백스윙 탑부터 시작하여 활로우스루까지 계속 굴곡되는 양상으로 나타났다. 임팩트시 상체의 3차원 각도는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 한손 백핸드 스트로크의 경우 15.0±12.6도, 양손 백핸드 스트로크 31.8±29.1도의 굴곡각도를 나타내었으며, 최대값에서 최소값의 차이를 구한 굴곡-신전각의 범위는 한손 백핸드 스트로크의 경우 평균 59.8±8.7도, 양손 백핸드 스트로크의 경우 평균 54.5±28.6도를 나타내었다.

그림 3은 상체의 내전과 외전을 나타내는 것으로 한손 백핸드 스트로크의 경우 Y축 각변위는 백스윙구간부터 내전되는 양상을 나타내었으나 양손 백핸드 스트로크는 임팩트 이후 외전 되는 것으로 나타났다. 임팩트시 한손 백핸드 스트로크의 경우 11.4±11.0도, 양손 백핸드 스트로크 4.7±12.30도의 내전각을 나타내었으며, 운동의 방향성에서 서로 상반되게 나타났다. 최대값에서 최소값의 차이를 구한 내전-외전각의 범위는 한손 백핸

드 스트로크의 경우 평균 27.8±9.1도, 양손 백핸드 스트로크의 경우 평균 20.8±10.7도를 나타내었으며, 최소각의 발생시점은 한손 백핸드 스트로크의 경우는 스트로크 초기(18% 지점) 그리고 양손 백핸드 스트로크의 경우 임팩트 이후(80% 지점)에서 발생하여 유의도 수준 $p < 0.05$ 에서 유의한 차이를 보이고 있다.

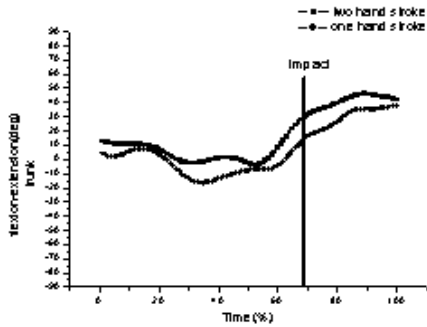
그림 4는 상체의 내측회전과 외측회전을 나타내는 것으로 Z축의 각변위는 백스윙 탑에서 내측회전 되었던 상체가 임팩트를 전 후하여 활로우스루까지 계속 외측회전 되는 양상을 보이고 있다. 한손 백핸드 스트로크의 경우 8.1±14.0도, 양손 백핸드 스트로크 -5.6±9.2도의 내측회전과 외측회전각을 나타내었으며, 운동의 방향성에서 임팩트 전에 최대 내측회전각을 보인 후 외측회전된 상태에서 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났다. 최대값에서 최소값의 차이를 구한 내측회전-외측회전각의 범위는 한손 백핸드 스트로크의 경우 평균 75.8±5.4도, 양손 백핸드 스트로크의 경우 평균 108.0±20.7도를 나타내어 세가지 방향의 상체 각변위 중 상체의 회전 각변위가 가장 크게 나타났다.

강영택(2000)오픈 스탠스의 포핸드 때려치는 타법을 구사하는 그룹은 어깨와 허리의 회전을 이용한 타법을 구사하여 직선운동 보다 회전운동에 보다 더 큰 비중을 두고 있는 것으로 보고하였다.

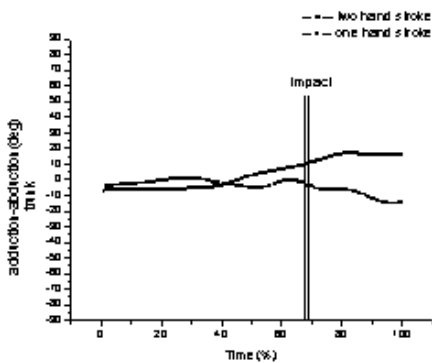
<표 5> 임팩트시 중요관절의 3차원 각도

(단위 : deg)

동작유형	two hand stroke			one hand stroke			t-test		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
상체	31.8 ±29.1	-4.7 ±12.30	-5.6 ±9.2	15.0 ±12.6	11.4 ±11.0	8.1 ±14.0	0.885 (.426)	-1.683 (.168)	-1.408 (.232)
어깨(R)	15.8 ±5.0	30.3 ±11.1	40.3 ±24.1	50.0 ±0.7	-0.8 ±14.7	37.1 ±23.7	-11.83 (.000)	2.932 (.043)	0.164 (.878)
어깨(L)	31.2 ±14.6	7.8 ±15.3	-3 ±13.3	-15.5 ±24.1	8.3 ±8.8	0.3 ±17.1	2.878 (.045)	-0.040 (.970)	-0.042 (.968)
팔꿈치(R)	33.6 ±5.0			19.4 ±17.4			1.364 (.244)		
팔꿈치(L)	32.0 ±6.3			38.6 ±39.7			-0.290 (.786)		
손목	-62.4 ±22.5	-10.8 ±3.4		-13.8 ±21.6	6.6 ±11.8		-2.696 (.054)	-2.455 (.070)	



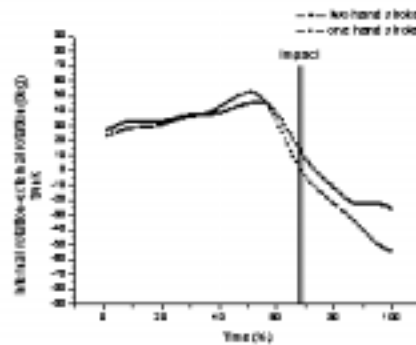
<그림 2> 상체의 굴곡-신전 각변위



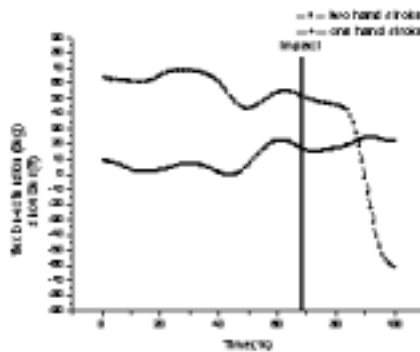
<그림 3> 상체의 내전-외전 각변위

그림 5, 6, 7는 오른어깨관절의 임팩트시 3차원 각변위를 나타낸 것으로 어깨관절의 회전 및 굴곡각도를 살펴보기 위하여 윗몸통에 대한 상완분절의 3차원 각변위를 살펴보았다. X축 각변위는 (+)는 굴곡(flexion), (-)는 신전(extension), Y축 각변위는 (+)는 내전(adduction), (-)는 외전(abduction) 그리고 Z축 각변위는 (+)내측회전(internal rotation), (-)외측회전(external rotation)으로 정의 하였다. 어깨관절의 3차원 각변위는 테니스 백핸드 스트로크의 굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 한손 백핸드 스트로크의 경우 백스윙 탑 직후 약간 굴곡된 상태를 보였으나 임팩트 시점을 지나 전반적으로 신전되어 스윙이 이루어지는 것으로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크의 경우 백스윙 탑에서 굴곡된 상태에서 스트로크가 진행되어 임팩트 이후 더욱 굴곡되는 양상을 나타내고 있다. 임팩트시 어깨의 3차원 굴곡-신전 각

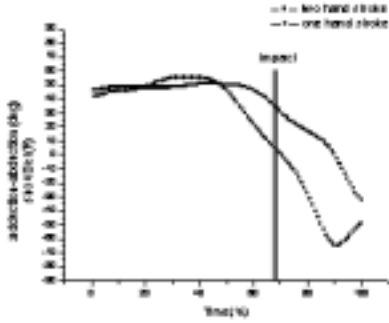
도는 한손 백핸드 스트로크의 경우 $50.0 \pm 0.7 \pm 12.6$ 도, 양손 백핸드 스트로크 15.8 ± 5.0 도의 굴곡각도를 나타내 유의도 수준 * $p < 0.001$ 수준에서 한손 백핸드 스트로크가 평균 34도 더 굴곡된 상태에서 임팩트가 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 관절의 굴곡과 신전의 각변위 범위에서도, 한손 백핸드 스트로크의 경우 평균 145.6 ± 50.4 도, 양손 백핸드 스트로크의 경우 평균 44.3 ± 13.6 도를 나타내어 유의도 수준 * $p < 0.05$ 수준에서 한손 백핸드 스트로크가 평균 101도의 큰 관절 각변위를 나타내고 있다. 내전과 외전을 나타내는 Y축 각변위는 전반적인 동작에서 백스윙 탑 이후 임팩트 이전까지 내전된 형태로 스윙이 이루어지는 것으로 나타났으나, 임팩트 직전 운동의 방향은 내전에서 외전으로 전환되는 양상을 나타내고 있다. 임팩트시 각도는 한손 백핸드 스트로크 경우 -0.8 ± 14.7 도 양손 백핸드 스트로크 경우 30.3 ± 11.1 도로 나타내 유의도 수준 * $p < 0.05$ 수준에서 한손 백핸드 스



<그림 4> 상체의 내측회전-외측회전 각변위



<그림 5> 어깨관절(R)의 굴곡-신전 각변위

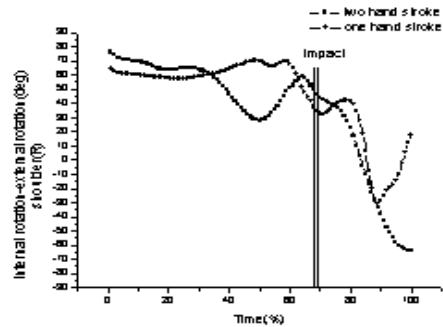


<그림 6> 어깨관절(R)의 내전-외전 각변위

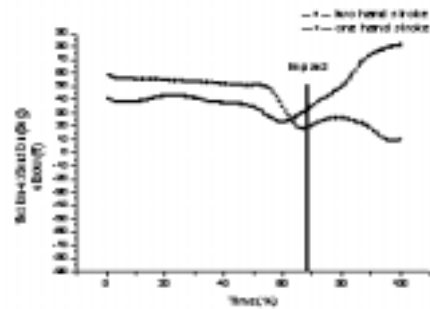
트로크가 평균 29도 더 외전된 상태에서 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났다. 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았지만 전반적인 내전-외전 각변위는 한손 백핸드 스트로크 경우 124.5±19.2도 양손 백핸드 스트로크가 87.2±22.1도로 나타나 한손 백핸드 스트로크 평균 37도 정도 큰 각변위를 나타내고 있다. 내측회전과 외측회전을 나타내는 Z축의 각변위는 임팩트 이전까지는 내측회전이 발생하나 임팩트 이후 급격히 외측회전으로 전환되면서 스윙동작이 이루어지고 있다. 임팩트 시 한손 백핸드 스트로크 경우 37.1±23.7도, 양손 백핸드 스트로크 40.3±24.1도의 내측회전 상태에서 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났다. 전반적인 각변위는 한손 백핸드 스트로크 경우 155.8±12.5도, 양손 백핸드 스트로크 149.8±15.7도로 나타났다. 오른어깨관절의 3차원 각변위에 따른 운동의 방향성을 살펴보면, 스윙은 상체를 기준으로 아래서 위로, 바깥쪽에서 안쪽으로 동작이 이루어지는 것을 알 수 있다. 또한 한손 백핸드 스트로크 경우 양손 백핸드 스트로크 보다 더 굴곡되고 내전된 상태에서 임팩트가 발생하는 것으로 나타났다.

그림 8은 오른팔꿈치관절의 X축 각변위를 나타낸 것으로 팔꿈치관절의 각변위는 (+) 굴곡(flexion), (-)신전(extension)으로 정의 하였다. 한손 백핸드 스트로크의 경우 백스윙 답부터 굴곡되어 스윙이 진행되다가 임팩트 전부터 신전되어 임팩트 이후 계속 신전되는 양상을 나타내고 있으며, 양손 백핸드 스트로크의 경우 임팩트 전부터 더욱 굴곡되는 양상을 나타내어 한손 백핸드 스트로크와 양손 백핸드 스트로크가 임팩트를 기준으로

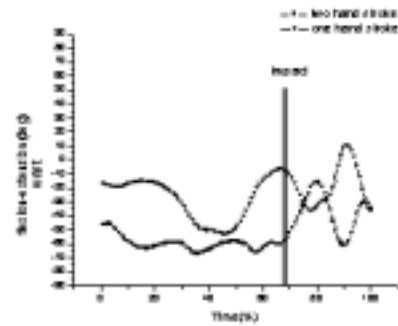
서로 상반되는 운동양상을 나타내고 있다. 팔꿈치관절의 임팩트시 굴곡각도는 한손 백핸드 스트로크 경우 19.4±17.4도로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크 33.6±5.0도로 나타났다. 이는 한손 백핸드 스트로크의 경우 전반적인 스윙 과정에서 앞에서 살펴본 어깨관절과 함께 팔꿈치관절의 역할이 매우 중요하게 작용하는 것으로 나타났다.



<그림 7> 어깨관절(R)의 내측회전-외측회전 각변위



<그림 8> 팔꿈치관절(R)의 굴곡-신전 각변위

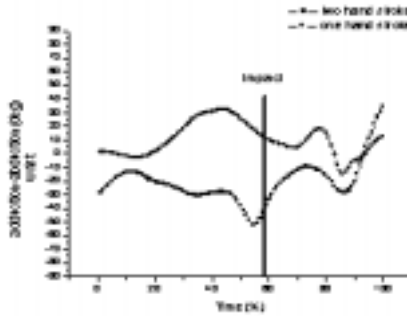


<그림 9> 손목관절(R)의 굴곡-신전 각변위

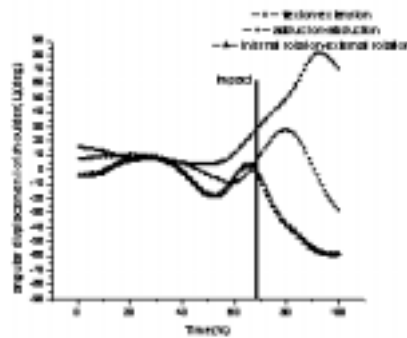
그림 9, 10은 오른손목관절의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 해부학적으로 손목관절에서는 수직축에 대한 회전운동이 발생하지 않으므로 X축 각변위는 (+)는 굴곡(flexion), (-)는 신전(extension), Y축 각변위는 (+)는 내전(adduction), (-)는 외전(abduction)으로 정의하였다. 오른손목관절의 3차원 각변위는 백핸드 스트로크 스윙 동안 전반적으로 신전된 상태를 보이고 있으며, 손목이 신전되어 있는 상태에서 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났다. 운동의 방향성을 살펴보면 한손 백핸드 스트로크 경우 백스윙 탑에서 임팩트로 진행되면서 신전되는 양상을 보이다가 임팩트 이전에 굴곡되어 임팩트 직후 다시 신전되는 형태로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크 경우 백스윙 탑부터 신전된 상태로 스윙이 진행되어 임팩트 이후 굴곡되는 것으로 나타났다. 임팩트 시 한손 백핸드 스트로크 경우 손목관절의 신전각도는 -13.8 ± 21.6 도로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크 손목관절의 신전각도는 -62.4 ± 22.5 도로 나타나 평균 49도의 각변위 차이를 나타내었으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 내전과 외전을 나타내는 Y축의 각변위는 한손 백핸드 스트로크의 경우 내전된 상태에서 양손 백핸드 스트로크의 경우 외전된 상태에서 스윙이 이루어지는 것으로 나타났다. 운동의 방향성에서 살펴보면 한손 백핸드 스트로크는 백스윙 탑에서 내전된 상태로 진행되다가 임팩트 이전에 외전상태를 나타내어 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크의 경우 임팩트 직전에 더욱 외전상태가 되어 손목을 내전시키면서 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났다. 임팩트 시 한손 백핸드 스트로크의 내전각은 6.6 ± 11.8 도로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크의 외전각은 -10.8 ± 3.4 도로 나타났다.

그림 11은 왼어깨관절의 임팩트 시 3차원 각변위를 나타낸 것으로 한손 백핸드 스트로크의 경우 왼어깨관절의 스윙에 대한 기여도가 낮으므로 양손 백핸드 스트로크에 대하여 살펴보았다. 왼어깨관절의 굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 양손 백핸드 스트로크의 경우 백스윙 탑 직후 약간 굴곡되어 스윙이 진행되다가 임팩트 시점을 지나 더욱 굴곡되는 것으로 나타났다. 내전과 신전을 나타내는 Y축 각변위는 백스윙 탑에서 전반적으로 내전된 상태로 스윙이 진행되어 임팩트 이전

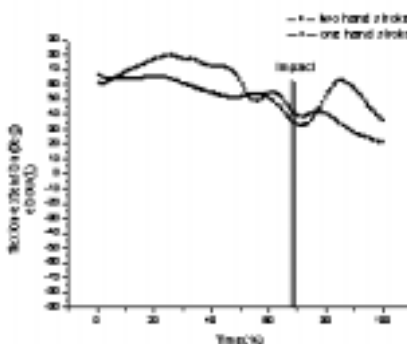
에 약간 외전 되었다가 임팩트 이후까지 계속 내전되는 것으로 나타났다. 내측회전과 외측회전을 나타내는 Z축의 각변위는 임팩트 전에 외측회전에서 내측회전으로 운동방향이 바뀌면서 임팩트가 이루어진 후 다시 외측회전되는 것으로 나타났다.



<그림 10> 손목관절(R)의 내전-외전 각변위



<그림 11> 왼어깨관절의 3차원 각변위



<그림 12> 팔꿈치관절(L)의 굴곡신전 각변위

임팩트시 양손 백핸드 스트로크의 왼어깨 굴곡각은 31.2 ± 14.6 도, 내전각은 7.8 ± 15.3 도, 그리고 외측회전각은 -0.3 ± 13.3 도를 나타내고 있다. 최대값에서 최소값의 차이를 구한 굴곡-신전각의 범위는 평균 83.7 ± 10.2 도, 내전-외전각 평균 57.3 ± 13.7 도, 그리고 내측회전-외측회전 평균 76.04 ± 16.9 도로 나타났다.

그림 12은 왼팔꿈치관절의 X축 각변위를 나타낸 것으로 양손 백핸드 스트로크의 경우 전반적으로 굴곡된 상태에서 스윙이 이루어지는 것으로 나타났으나, 운동의 방향성에서 살펴보면 백스윙 탐부터 임팩트 이전까지 신전되는 양상을 보이다가 임팩트 이후 급격히 굴곡되는 양상을 나타내고 있다. 왼팔꿈치관절의 임팩트시 굴곡각도는 양손 백핸드 스트로크 32.0 ± 6.3 도로 나타났다. 최대값에서 최소값의 차이를 구한 굴곡-신전각의 범위는 평균 80.2 ± 11.5 도로 나타났다.

IV. 결론

본 연구의 목적은 한손 백핸드 스트로크 동작과 양손 백핸드 스트로크 동작의 3차원적 영상분석방법을 적용하여 운동학적 변인들의 비교 분석함으로써 특히 임팩트 등과 같은 특정 시점과 함께 동작구간 전체에서 나타나는 라켓헤드의 3차원 변위 및 속도, 중요관절의 해부학적 3차원 각변위 등을 정량화하며 기초적인 운동학적 자료를 제공하는데 있다.

라켓헤드의 임팩트시 백핸드 스트로크에 따른 라켓헤드의 3차원 속도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

상체의 3차원 각변위는 내측회전-외측회전, 굴곡-신전, 그리고 내전-외전 순으로 나타났으며, 상체의 각변위는 한손 백핸드 스트로크가 양손 백핸드 스트로크보다 3차원 각변위가 큰 것으로 나타났다.

오른어깨관절의 각변위 역시 한손 백핸드 스트로크 동작이 양손 백핸드 스트로크 동작보다 모든 3차원 각변위에서 큰 값을 나타내고 있다.

오른팔꿈치 관절의 각변위는 한손 백핸드 스트로크의 경우 백스윙 탐부터 굴곡되어 스윙이 진행되다가 임팩트 전부터 신전되어 임팩트 이후 계속 신전되는 양상

을 나타내고 있으며, 양손 백핸드 스트로크의 경우 임팩트 전부터 더욱 굴곡되는 양상을 나타내어 한손 백핸드 스트로크와 양손 백핸드 스트로크가 임팩트를 기준으로 서로 상반되는 운동양상을 나타내고 있다.

오른손목관절의 3차원 각변위는 운동의 방향성을 살펴보면 한손 백핸드 스트로크 경우 백스윙 탐에서 임팩트로 진행되면서 신전되는 양상을 보이다가 임팩트 이전에 굴곡되어 임팩트 직후 다시 신전되는 형태로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크 경우 백스윙 탐부터 신전된 상태로 스윙이 진행되어 임팩트 이후 굴곡되는 것으로 나타났다. 내전과 외전은 한손 백핸드 스트로크는 백스윙 탐에서 내전된 상태로 진행되다가 임팩트 이전에 외전상태를 나타내어 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났으며, 양손 백핸드 스트로크의 경우 임팩트 직전에 더욱 외전상태가 되어 손목을 내전시키면서 임팩트가 이루어지는 것으로 나타났다.

특히 본 연구에서 해결하지 못한 테니스 백핸드 스트로크에 대한 각분절의 기여도 및 운동량의 전이 등 동작의 효율적인 분석을 위하여 운동(역)학적인 분석과 더불어 다양한 방면의 접근이 이루어져야 한다고 생각한다.

참고문헌

- 강상학, 성영호, 김주희(1998). 테니스 양손 백핸드의 운동학적 분석. 용인대학교 체육과학연구 논총. 8(1), 83-93.
- 강상학(2000). 테니스 백핸드 스트로크 동작에 따른 상지 분절들의 해부학적 회전의 기여도. 한국체육학회지. 39(1), 513-519.
- 강상학(2002). 테니스 탑스핀 포핸드 스트로크의 운동학적 분석, 한국체육학회지, 제41권 3호, p557-564.
- 강영택(2000). 테니스포핸드시 밀어치기와 때려치기의 운동학적 분석, 부산대학교 대학원석사학위논문
- 강영택, 서국웅, 윤양진, 이훈식, 정미라, 황명수, 윤길환(1999). 테니스 포핸드시 밀어치기와 때려치기

- 타법의 운동학적 분석. *The Journal of the Research Institute of Physical Education & Sport Science*. 15, 89-99.
- 김석환, 류지선, 장갑석(1991). 테니스 그라운드 스트로크(Ground Stroke)동작의 운동학적 분석. 한국체육대학교 논문집. 14권.
- 김옥태, 윤재백(1996). 테니스 포핸드 드라이브시 운동학적 변인 비교연구. *응용과학연구*. 5(1).
- 김의환, 성영호, 김성섭, 백광현(2003). 테니스 양손 백핸드 드라이브 동작의 중심, 속도변인이 키네메틱분석. *용인대학교 체육과학연구논총*, 13(1), 159-173.
- 김재필(1993). 테니스 백핸드 톱스핀 스트로크에 대한 운동역학적 분석. 미간행 석사학위논문 전남대학교 대학원.
- 서재하, 김현수(2003). 테니스 백핸드 투핸드 톱스핀 드라이브 스트로크의 운동학적 분석. *한국체육교육학회지*. 7(4), 255-263
- 이정명(1992). 여자테니스 선수들의 한손 백핸드 드라이브와 양손 백핸드 드라이브의 운동학적 분석. 미간행 석사학위논문 명지대학교 대학원.
- 정철수 · 임규찬(1993). 테니스 포핸드 스트로크의 포워드 스윙에서 multisegment 스윙과 single unit 스윙의 라켓속도에 대한 기여도 비교에 관한 연구, *서울대학교 체육연구소*
- 황인승(1997). *Kinematic analysis of sports skills using three dimensional cinematography(round house kick in Taekwondo)*. 미출판강의 교재, 연세대학교
- Abdel-Aziz, Y.I. & Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object coordinates in close-range photogrammetry, *Proceedings of the Symposium on Close-Range photogrammetry*,(pp. 1-18). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Chao, E.Y.S. (1980). Justification of triaxial goniometer for the measurement of joint rotation. *Journal of Biomechanics*, 13, 989-1006.
- Elliott, B. & Kilderry, R. (1983). *The art and science of tennis*. New York Saunders. 58.
- Groppel, J. L. (1986). The biomechanics of tennis: An overview. *International journal of Sports Biomechanics*. 2, 141-155.
- Good, E.S., & Suntay, W.J. (1983). A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. *Journal of Biomechanical Engineering*, 105, 136-144.
- Johnson, G.W. (1999). *LabVIEW graphical programming: Practical applications in instrumentation and control*. New York: McGraw-Hill.
- Knudson, D. V. & Roberts, E. M. (1989). Kinematic variability of the tennis forehand drive. *Journal of Biomechanics*. 22(10), 1038.
- Lafortune, M.A. (1984). *The use of intra-cortical pins to measure the motion of the knee joint during walking*. Unpublished Doctorial thesis, Pennsylvania State University.
- Nigg, B.M. & Herzog, E. (1994). *Biomechanics of the musculo-skeletal system*.
- Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Woo, H. & Chapman, A. E. (1992). A 3D kinematic analysis of the squash forehand stroke. *Journal of Biomechanics*. 25(7), 720.

투 고 일 : 10월 30일
 심 사 일 : 11월 20일
 심사완료일 : 12월 07일