



테니스 포핸드 스트로크 동안 오픈스탠스 조건에 따른 3차원 운동학적 분석

3-D Kinematic Analysis According to Open Stance Patterns During Forehand Stroke in Tennis

최지영(연세대학교) · 김로빈*(한성대학교)

Choi, Ji-Young(Yonsei University) · Kim, Ro-Bin*(Hansung University)

ABSTRACT

J. Y. CHOI, R. B. KIM, 3-D Kinematic Analysis According to Open Stance Patterns During Forehand Stroke in Tennis. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 15, No. 3, pp.161-173, 2005. Recently among several tennis techniques forehand stroke has been greatly changed in the aspect of spin, grip and stance. The most fundamental factor among the three factors is the stance which consists of open, square and closed stance. The purpose of this study was to investigate the relations between the segments of the body, the three dimensional anatomical angle according to open stance patterns during forehand stroke 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 angle were defined.

1. In three dimensional maximum linear velocity of racket head the X axis showed 11.41 ± 5.27 m/s at impact, not the Y axis(horizontal direction) and 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 bewteen right foot and left foot was mean 74.2 ± 11.2 m.

2. The three dimensional anatomical angular displacement of shoulder joint showed most important role in forehand stroke. and is follwed by wrist joints, in addition the movement of elbow joints showed least to the stroke. The three dimensional anatomical angular displacement of racket increased flexion/abduction angle until the impact. after impact, The angular displacement of racket changed motion direction as extension/adduction.

3. The three dimensional anatomical angular displacement of trunk in flexion-extension showed extension all around the forehand stroke. The angular displacement of trunk in adduction-abduction showed abduction at the backswing top and adduction around impact. while there is no significant internal-external rotation

4. The three dimensional anatomical angular displacement of hip joint and knee joint increased extension angle after minimum of knee joint angle in the forehand stroke, The three dimensional anatomical angular displacement of ankle joint showed plantar flexion, internal rotation and eversion in forehand stroke. it could be suggest that the plantar pressure of open stance during forehand stroke would be distributed more largely to the fore foot. and lateral side.

KEYWORDS: FOREHAND STROKE, OPEN STANCE, CARDAN ANGLE

I. 서 론

과거와 달리 현대의 테니스 기술은 파워와 안정성을 동시에 추구하면서 급격한 변화를 겪고 있으며, 여러 테니스 기술들 가운데 가장 큰 변화를 보인 기술은 포핸드 스트로크라고 할 수 있다. 이렇게 포핸드 스트로크이 큰 변화를 겪고 있는 이유로는 스핀의 양, 그립형태, 스탠스유형 등의 변화에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 스트로크는 볼과 라켓을 서로 충돌시키는 필수적이며, 목적적인 동작이며 그 결과는 충돌에 관계되는 여러 변수들에 의해 결정된다. 스트로크에는 여러 종류가 있으며 이들은 각기 특유의 장·단점을 가지므로 적절한 선택과 사용이 승패의 열쇠가 된다(김인식, 1984). 임팩트 후의 볼의 운동경로는 다음의 요소들에 의해 결정이 되는데, 첫째, 볼이 임팩트되는 라켓면의 위치, 둘째, 라켓이 임팩트전 속도와 임팩트 후의 속도, 셋째, 볼의 임팩트 속도, 넷째, 임팩트시 볼에 가해지는 스핀의 정도, 다섯째, 임팩트 동안 가해진 근력, 그리고 기타 외부 조건(바람, 중력등)을 들 수가 있다(서정건, 1986). 포핸드 그라운드 스트로크를 정확히 하기 위해서는 포워드 스윙 및 기타 기본 동작이 얼마만큼 정확하게 이루어지느냐에 달려 있다. 그 중 제일 중요한 것은 정확한 임팩트 지점에서는 손목의 고정, 민첩한 풋 워크등이 정확하게 이루어져야 하며 특히 라켓의 가속도는 최대값을 가져야 한다(서국웅, 1991). 이러한 임팩트 지점을 치는 사람마다 그 시각 능력의 차이로 인하여 다르게 되어 라켓이 최대로 가속화되는 지점도 다르게 된다.

이러한 테니스 포핸드 스트로크를 대상으로한 연구는 주로 동작 분석, 지면반력연구, 근전도, 스윙시 라켓헤드 속도에 대한 분절들의 기여도분석 등이 있다. 서

국웅(1989)과 이중숙(1989)은 테니스의 파워를 위해서는 작용 반작용의 법칙을 철저히 이용해야 하며, 강한 지면반력을 이용하거나 큰 힘을 공에 가하면 그 만큼 큰 운동량을 얻을 수 있기 때문에 작은 체구의 동양인들도 서양인과 맞먹는 파워볼을 칠 수 있다고 하였으며, 특히 테니스의 서비스나 오픈 스탠스의 그라운드 타구를 구사할 때는 강한 지면 반력을 이용해야만 운동역학적으로 힘에서 큰 이득을 얻을 수 있다고 하였다.

강영택(2000)은 테니스 포핸드의 밀어치기 타법과 때려치는 타법의 두 가지 유형을 3차원 영상분석한 결과 크로스 스탠스의 밀어치는 타법을 구사하는 그룹은 체중을 뒤에서 앞으로 이동하여 직선운동을 위주로 한 타법을 구사하며, 오픈 스탠스의 때려치는 타법을 구사하는 그룹은 어깨와 허리의 회전을 이용한 타법을 구사하여 직선운동 보다 회전운동에 보다 더 큰 비중을 두고 있는 것으로 보고하였다. 또한 타구의 정확한 타이밍을 맞추기 위해서 임팩트 직전에 힘을 조절하기 위해 임팩트시 속도가 감소한 것으로 보고하였다.

테니스 스트로크와 관련된 EMG분석은 Knudson(2000), 이중숙(2002) 그리고 용석준(1990) 등에 의하여 시도 되었는데, Knudson(2000)은 오픈스탠스(open stance)와 스퀘어(square stance) 테니스 포핸드 스트로크에 있어서 몸통의 근 활동을 분석한 결과 스탠스 사이의 근 활동에 있어서 유의한 차이가 없었는데 이것은 테니스 전문가들이 주장한 오픈스탠스 포핸드 스트로크가 스퀘어스탠스 포핸드 스트로크보다 더 큰 근 활동을 필요로 한다는 주장과 상반된 결과라고 주장하였다. 또한 테니스 포핸드 스트로크시, 라켓헤드 속도를 증가시키기 위한 분절들의 기여도 분석 연구는 김신희(1995), 강상학(2002), 정철수, 임규찬(1993), E.Springs(1994)에 의하여 이루어져 왔으나, 그 결과가 연구자에

따라 서로 상반되는 결과는 제시하고 있다. 정철수, 임규찬(1995)은 테니스 포워드 스윙 패턴이 서로 다른 single unit 스윙과 multisegment 스윙에 숙련된 남자 선수를 대상으로 두 가지 스윙 패턴의 라켓 속도의 기여 요인을 비교한 결과 multisegment 스윙 패턴과 single unit 스윙 패턴간에는 라켓 속도의 차이는 없었지만 분절 기여도는 다른 경향을 보였다고 보고하였다. 즉, multisegment 스윙 패턴에서는 임팩트시 라켓 속도에 대한 분절 기여도가 몸통회전, 팔꿈치관절, 손목관절, 어깨관절, 몸통의 순으로 나타났으며 이 중 몸통회전의 twist 성분은 몸통회전의 somersault 보다 높게 나타났으며 어깨관절에서는 twist 성분이 상대적으로 보다 높게 나타났고, single unit 스윙 패턴에서 임팩트시 라켓속도에 대한 분절 기여도는 어깨관절, 몸통회전, 손목관절, 팔꿈치관절, 몸통 순으로 나타났으며 이 중 몸통회전의 twist 성분은 몸통회전의 somersault 보다 높게 나타났으며 어깨관절에서는 somersault 성분이 상대적으로 보다 높게 나타났다고 밝히고 있다.

B Elliott(1997)는 테니스 포핸드시 라켓헤드 속도에 기여하는 상지대의 영향을 그림위치에 대한 조건으로 분석하였는데, 그림에 대한 일반적인 견해는, 임팩트 시 손목의 흔들림을 막기 위해서는 잡는 그림을 단단히 고정시키는 것(firm)이 요구된다(Elliott와 Kilderry, 1983; Groppe, 1984). 따라서 운동역학적으로 먼저 탑스핀을 칠 때는 손목과 팔꿈치관절을 견고하게 유지해야 된다(서국웅, 1992; Hatze, 1979; Watanabe, 1979). Plagenhoef(1979)은 볼이 라켓 중심을 벗어나서 임팩트 되었을 때 라켓의 회전을 막기 위해서는 그림을 단단하게 잡는 것이 그림을 가볍게 잡았을 때 보다 임팩트 이후 볼 속도가 증가 한다고 하였다. Putnam(1979)은 라켓 그림을 고정하는 방법에 따라 임팩트 이후 볼 속도와 손에 전달되는 힘의 크기는 거의 차이가 없다는 이론을 발표하였다. Brody(1979), Watanabe, Ikegami와 Miyashita(1979)은 실험 연구를 통하여 임팩트 후 볼 속도와 손에 전달되는 힘의 크기는 라켓 그림을 고정한 상태와 프리스탠딩 자세에서 거의 차이가 없다고 하였다. 이것은 Putnam(1979)이 결과와 일치하고 있다.

앞서 언급된 스핀의 양, 그림형태, 스탠스유형 등의 세 가지 유형 가운데 현재까지의 연구들과 현장에서 필요한 지식들을 비교해볼 때 제일 필요한 것은 포핸드스트로크의 기본이라고 할 수 있는 스탠스라고 할 수 있다. 테니스 교본에는 스탠스를 클로즈 스탠스, 스퀘어 스탠스, 오픈 스탠스 등의 세 가지 또는 세미 오픈스탠스를 포함하여 네가지로 나누어 설명하고 있지만, 전체 엉덩이 부위가 회전하지 못하는 클로즈드 스탠스는 포핸드를 치는 것은 역시 문제가 되며 이는 허리뿐만 아니라 엉덩이 부분을 다칠 우려가 있다는 것이다. 운동량을 앞으로 이동시키는 이런 형태의 포핸드는 거의 없고, 그것은 파워 있게 공을 치기가 매우 어렵다. 대부분의 경우 반쯤 열린 스탠스인 오픈스탠스를 사용하며 이런 반쯤 열린 스탠스는 체중을 더 효과적으로 앞으로 이동시킬 수 있다. 이것을 더 공격적인 의도로 베이스라인에서 볼을 치는 선수들이 사용하는 전형적인 스탠스이다.

앞선 선행연구들 중 테니스 포핸드 스트로크 시 스탠스에 주된 관점을 두고 분석한 연구는 극히 제한적이라고 할 수 있다. 또한 전통적인 포핸드가 스퀘어 스탠스를 강조하였다면 현대적인 스탠스는 오픈스탠스를 지향하고 있는 만큼(Roetert, P., & Groppe, J; 2001), 오픈 스탠스에 따른 3차원 운동학적 분석이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 테니스 포핸드 스트로크 동작을 오픈스탠스 조건에 따른 3차원 영상분석방법을 적용하여 라켓헤드의 3차원 변위 및 속도, 중요관절의 해부학적 3차원 각변위 등 기초적인 자료를 제공하는데 있다.

II. 연구 방법

1. 실험대상자

본 연구를 위하여 6명의 고등학교 남자 테니스선수가 실험대상자로 자원하였으며, 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 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 분절 좌표계(segment reference system)를 생성하는데 사용되는 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 4.35m 하였으며, 이 때 두 카메라 사이의 거리는 4.40m로 하였다. 비디오 카메라의 촬영속도는 60 frames/sec의 촬영속도를 적용하였다. 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 avi파일로

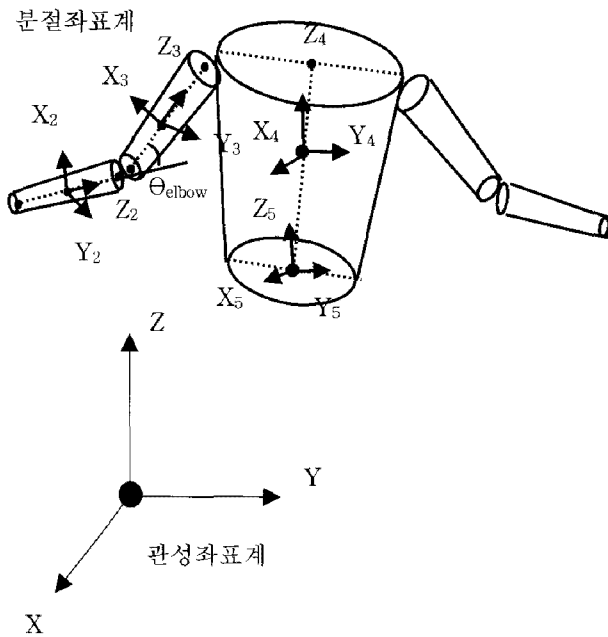
전환시킨 후 Ariel Digi4 Program를 사용하여 계수화하였다. 비디오 분석기를 통해 컴퓨터와 연결된 모니터 위에 영사시켜 인체표면에서 확인할 수 있는 19개의 해부학적 경계점과 5개의 라켓마크와 1개의 기준점을 수치화하였다. 양쪽 비디오 카메라에서 얻어진 영상자료의 해부학적 경계점 2차원 좌표값과 같은 장면에서 촬영된 기준점의 통제점군들 가운데 선택된 8개의 통제점 좌표값, 그리고 8개의 통제점의 실측치를 이용하여 DLT(Direct Linear Transformation)방법(Abdel-Aziz & Karara, 1971)을 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 살펴 보면서 시행착오를 거쳐 표본 주파수(sampling frequency)와 차단 주파수(cutoff frequency)의 비율이 가장 적절하다고 나타난 비율 10이 되도록 6Hz의 차단주파수를 선택하였다. 테니스 포핸드 스트로크 동작시 백스윙 탑부터 활로우스루 까지 동작시간(0.59 ± 0.09 sec)을 기준으로 3차 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)을 이용하여 시간 축을 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.



<그림 1> 기준좌표계

6. 각도의 계산

인체의 움직임을 대표하는 각도는 관성좌표계에 대한 신체 개개분절의 움직임을 알 수 있는 외지방향각(external orientation angle)과 개개분절의 상체분절에 대한 움직임을 나타내는 내지방향각(internal orientation angle) 그리고 상위분절에 대한 개개분절의 움직임을 알 수 있는 관절의 상대각으로 나눌 수 있다. 외지방향각은 고정된 비회전좌표계에 대한 개개분절에 심은 지역좌표계(local frame)의 변화를 비교함으로써 설명할 수 있는데, 이때 회전변환 행렬식(rotational transformation matrix)를 사용하여 각도의 계산이 이루어지며, 내지방향각 또한 상체분절에 심은 좌표계와 개개분절의 지역좌표계는 회전변환 행렬식을 사용하여 계산하게 된다. 관절의 상대각은 상위분절의 지역축에 대한 개개분절의 지역좌표계의 변화는 회전변환 행렬식을 사용하여 계산하게 된다.

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, 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 단위벡터들도 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 회전에 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

1. 테니스 라켓헤드의 3차원 변위 및 속도

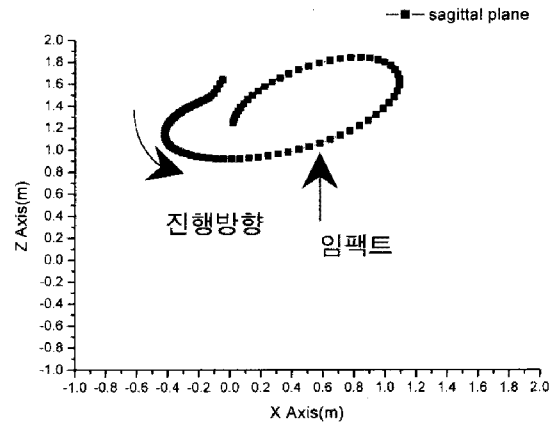
본 연구의 결과는 오픈스탠스 조건에 따른 테니스 포핸드 스트로크 동작의 3차원 운동학적 변인은 라켓

헤드의 중심 이동궤적과 라켓헤드 중심의 3차원 속도에 대하여 살펴본 후, 테니스 스윙동작의 백스윙 탑, 포워드 스윙 구간, 임팩트순간, 팔로우스루 구간에서 의 중요관절의 3차원 해부학적 각도의 변화에 대하여 살펴보았다.

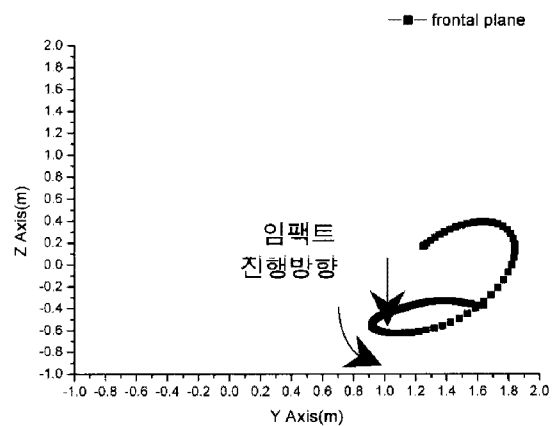
라켓헤드의 이동궤적을 살펴보기 전에 오픈스탠스 조건에 따른 테니스 포핸드 스트로크의 전반적인 시간요인에 대하여 살펴보면 전체동작시간요인은 $0.59 \pm 0.09 \text{sec}$ 가 소요되었으며, 백스윙 탑에서 임팩트까지 $0.35 \pm 0.10 \text{sec}$ 가 소요되었다. 전체스윙동작구간을 100%로 환산했을 경우 백스윙 탑에서 임팩트까지는 59%구간에 나타났다.

그림 5, 6, 7에 나타난 그래프는 테니스 포핸드 스윙동작시 3차원 개개의 시상면, 관상면 그리고 수평면에 나타난 라켓헤드의 이동궤적을 나타내고 있다. 시상면에서의 주된 라켓헤드의 움직임은 백스윙 탑에서 임팩트 시점으로 진행하면서 테니스 포핸드 동작의 진행방향인 X축방향은 전방으로 점차 증가하는 양상을 보였으나 상하방향인 Z축방향으로는 백스윙 탑에서 임팩트 전까지 아래쪽으로 진행되다가 임팩트 이후 다시 위쪽방향 급격하게 진행되는 것으로 나타났다. 관상면에서의 라켓헤드의 움직임은 상하방향인 Z축방향에서는 임팩트 이전에는 거의 높이의 변화가 없다가 임팩트 이후 증가되는 양상을 보이고 있으며, 좌우방향인 Y축방향은 백스윙 탑이후 좌측방향으로 이동하여 임팩트이후 좌측에서 우측으로 급격히 진행되는 양상을 나타내고 있다. 수평면에서의 주된 라켓헤드의 움직임은 백스윙 탑에서 임팩트 시점으로 진행하면서 테니스 포핸드 동작의 진행방향인 X축방향은 전방으로 점차 증가하는 양상을 보였으나 좌우방향인 Y축방향으로는 백스윙 탑에서 임팩트 전까지 거의 변화없이 진행되다가 임팩트 이후 다시 위쪽방향 급격하게 진행되는 것으로 나타났다.

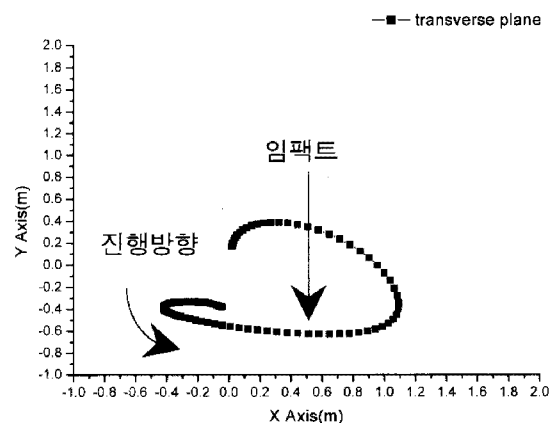
본 연구의 라켓헤드의 이동궤적에 대한 견해는 백스윙 탑에서 임팩트 시점까지는 거의 직선운동적인 요소가 많이 나타나 정하여진 목표의 타격이 주된 수행목표가 되어 동작이 이루어지나, 공에 전달되는 스핀의 양 또는 공의 방향성의 결정은 임팩트 이후의 동작에서도 중요하게 작용될 것이라고 사료된다.



<그림 2> 시상면에서의 라켓헤드의 이동궤적



<그림 3> 관상면에서의 라켓헤드의 이동궤적



<그림 4> 수평면에서의 라켓헤드의 이동궤적

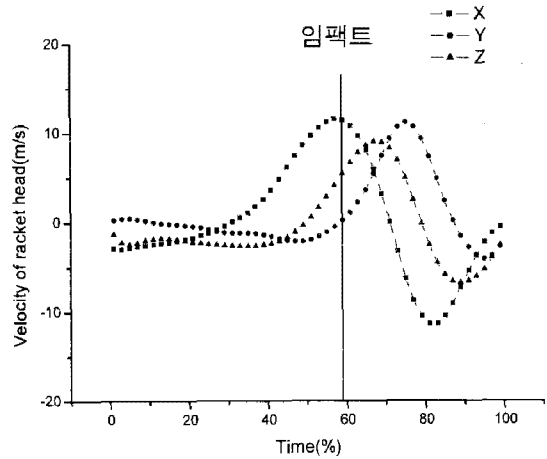
표-82. 오픈스탠스 시 따른 포핸드 스트로크시 발의 보폭 (단위 : cm)

시점	백스윙탑	임팩트	활로우스트루
발변위	90.1±10.3	74.2±11.2	72.1±16.4

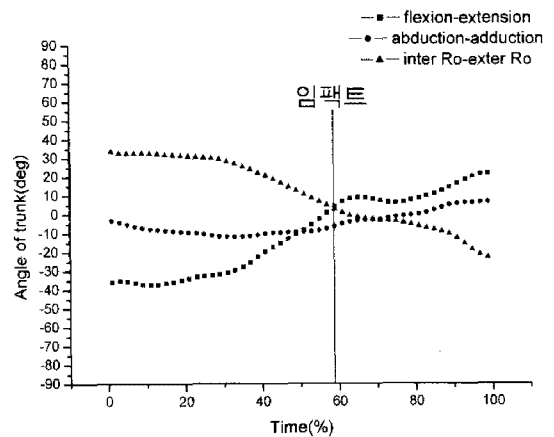
그림 8는 라켓헤드의 3차원 속도를 나타낸 것으로 X축 시간은 전체 동작시간 평균 0.59±0.09sec를 100%로 전환하여 나타낸 것으로 59%지점이 임팩트 지점을 나타내고 있다. 라켓헤드의 X, Y, Z방향의 속도 중 X방향 즉, 전후방향의 속도만이 거의 임팩트 시점에 일치하여 최고속도가 발생하였으며, 좌우방향인 Y방향과 상하방향인 Z방향은 임팩트이후에 최고속도를 보이고 있다. 이러한 결과는 임팩트 이후 좌우방향의 방향성과 상하방향의 스핀의 양에 지대한 영향을 미칠 것이라고 사료된다. 임팩트시 X, Y, Z방향의 속도는 11.41±5.27m/s, 0.22±7.23m/s 그리고 5.42±5.87m/s로 각각 나타났으며, 각 방향의 최고속도는 11.55±5.13m/s (58%지점), 11.14±3.82m/s (75%지점) 그리고 9.01±2.19m/s (68%지점)으로 나타났다. 강상학은 임팩트시 라켓헤드의 속도가 13.5±1.2m/s로 보고하고 있어 본 연구의 결과 평균 12.63m/s보다 약간 높은 값을 제시하고 있다. 표-1은 왼발과 오른발 사이의 보폭을 나타낸 것으로 양발의 무게중심점을 구한 다음 수평면에서의 거리를 나타낸 것이다. 양발사이의 보폭은 백스윙 탑시 90.1±10.3cm, 임팩트시 74.2±11.2cm 그리고 활로우스트루 72.1±16.4cm으로 나타났다. 강상학(2002)은 발 보폭의 측정 부위와 방법에 대하여는 설명은 없지만 양발의 보폭을 평균 66cm라고 보고하고 있다.

2. 상지관절의 해부학적 3차원 각변위

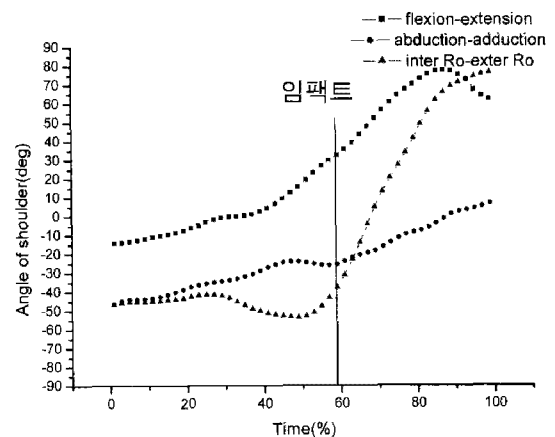
본 연구에서 이용된 관성좌표계는 오른손 직교좌표계(right-handed orthogonal reference frame)로서 X축은 피험자의 전후(anterior-posterior)방향인 운동의 진행 방향으로 정의하였으며, Y축은 좌우(medial-lateral)방향 그리고 Z축은 상하방향을 나타내는 수직(vertical)방향으로 나타낸다. 피험자의 움직임은 주로 후방에서 전방쪽으로 즉 Z축과 X축이 만나서 형성되는 시상면(sagittal plane)에서 수행이 되었다. 따라서 피험자의



<그림 5>라켓헤드의 3차원속도



<그림 6>상체의 각도변위

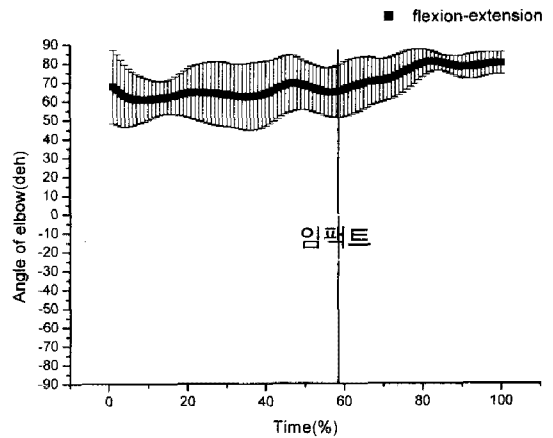


<그림 7>오른어깨관절의 각도

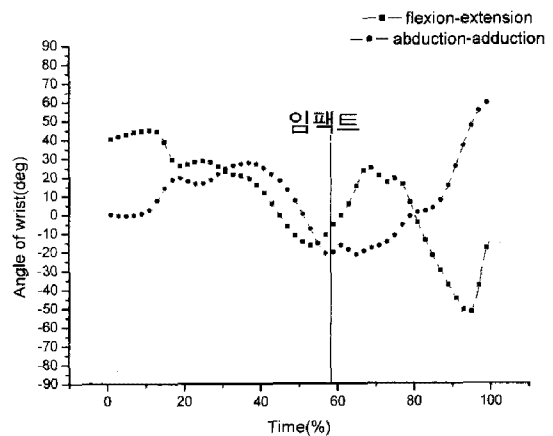
움직임의 진행 방향을 X축의 양(+)의 방향으로 설정하였고, 지면과 수직이 되는 위쪽을 Z축의 양(+)의 방향, 피험자의 전진 방향을 기준으로 오른쪽을 Y축의 양(+)의 방향으로 설정하였다.

그림 7은 상체의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 그래프의 Y축 0점을 기준으로 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. 상체의 회전 및 굴곡각도를 살펴보기 위하여 연구목적상 상체를 윗몸통 그리고 아래 몸통으로 나누어 아래몸통에 대한 윗몸통의 3차원 각변위를 살펴보았다. 상체의 3차원 각변위는 오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크의 굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 임팩트 이전까지는 굴곡된 상태에서 임팩트 이후 신전되는 양상을 나타내었으나 각운동의 방향에서는 백스윙 탑부터 시작하여 팔로우스루까지 계속 신전되는 양상으로 나타났다. 내전과 외전을 나타내는 Y축 각변위는 거의 변화 없이 진행되었으며, 내측회전과 외측회전을 나타내는 Z축의 각변위는 백스윙 탑에서 외전되었던 상체가 임팩트를 전 후하여 내전되는 형태를 나타내고 있다. 임팩트시 상체의 신전각도는 4.24 ± 8.42 도로 나타났으며, 수직축에 대한 회전을 나타는 Z축의 각변위는 외전 2.75 ± 9.05 도로 나타났다. 상체의 굴곡 최대값은 21.49 ± 4.71 도, 최소값은 -37.20 ± 8.29 로 나타나 평균 58도의 각변위를 나타내고 있다. 또한 상체의 회전각은 최대값 33.54 ± 12.63 도, 최소값은 -23.24 ± 11.19 로 나타나 평균 56도의 각변위를 나타내고 있다. 강영택(2000)오픈 스탠스의 때려치는 타법을 구사하는 그룹은 어깨와 허리의 회전을 이용한 타법을 구사하여 직선운동 보다 회전운동에 보다 더 큰 비중을 두고 있는 것으로 보고하였다.

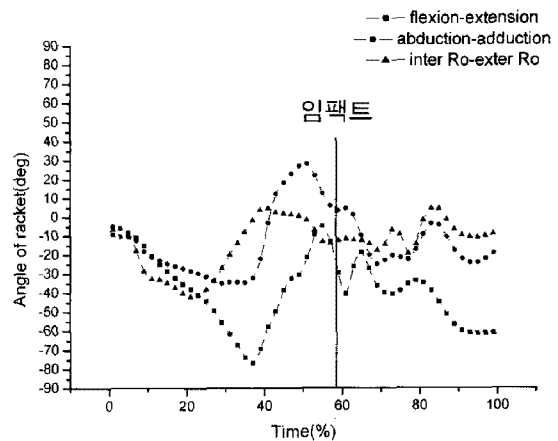
그림 8은 오른어깨관절의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 어깨관절의 회전 및 굴곡각도를 살펴보기 위하여 윗몸통에 대한 상완분절의 3차원 각변위를 살펴보았다. 그래프의 Y축 0점을 기준으로 X축 각변위는 (+)는 굴곡(flexion), (-)는 신전(extension), Y축 각변위는 (+)는 내전(adduction), (-)는 외전(abduction) 그리고 Z축 각변위는 (+)내측회전(internal rotation), (-)외측회전(external rotation)으로 정의 하였다. 어깨관절의 3차원 각변위는



<그림 8>오른팔꿈치관절의 각도



<그림 9>오른손목관절의 각도



<그림 10>라켓의 각도

오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크의 굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 백스윙 탑 직후 약간 신전된 상태를 보였으나 임팩트 시점을 지나 전반적으로 굴곡되어 스윙이 이루어지는 것으로 나타났으며, 내전과 외전을 나타내는 Y축 각변위는 전반적인 동작에서 백스윙 탑 이후 내전된 형태로 스윙이 이루어지는 것으로 나타났으나, 운동의 방향은 내전에서 외전되는 양상을 나타내고 있다. 내측회전과 외측회전을 나타내는 Z축의 각변위는 임팩트 이전까지는 내측회전이 발생하나 임팩트 이후 외측회전으로 전환되면서 스윙동작이 이루어지고 있다.

임팩트시 어깨관절의 굴곡각도는 32.46 ± 16.13 도로 나타났으며, 외전각도는 -25.45 ± 9.08 도 나타났으며, 내측회전각도는 -37.70 ± 25.85 도로 나타났다. 어깨관절의 경우 선행연구에서도 지적했듯이 테니스 포핸드 스트로크시 어깨관절의 3차원 각변위가 크게 나타나고 있다. 굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 최소값 14.15 ± 16.31 도에서 최대값 77.59 ± 6.43 를 나타내어 -평균 91.74 도의 각변위를 나타내고 있으며, 내전과 외전을 나타내는 Y축 각변위는 최소값 -46.48 ± 7.83 도에서 최대값 7.13 ± 8.71 도로 나타나 평균 53 도의 각변위를 나타내고 있다.

또한 수직축에 대한 회전을 나타내는 Z축 각변위는 최소값은 임팩트 직전에 발생하였는데 -53.65 ± 8.60 도로 나타났으며, 최대값은 76.49 ± 10.81 도로 나타나 평균 129 도의 각변위를 나타내고 있다. 어깨관절의 3차원 각변위에 따른 운동의 방향성을 살펴보면, 스윙은 상체를 기준으로 아래서 위로, 바깥쪽에서 안쪽으로 동작이 이루어지는 것을 알 수 있다. 강상학(2002)은 포핸드 탑스핀 스트로크의 경우 볼 속도를 높이기 위해서 어깨 관절에서의 동작이 중요한 역할을 했다고 보고하였다.

그림 9은 오른팔꿈치관절의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 팔꿈치관절의 각변위는 그래프의 Y축 0점을 기준으로 각변위는 (+) 굴곡(flexion), (-)신전(extension)으로 정의 하였다. 그래프의 상하실선은 표준편차를 나타낸 것이다. 오른팔꿈치관절의 각변위는 오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크 스윙동안 전반적으로 굴곡된 상태에서 스윙이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 임팩트시 팔꿈치관절의 굴곡각도는 65.36 ± 14.09 도로 나타났으며, 팔꿈치관절 최소각은 60.64 ± 11.58 도로

백스윙 탑 직후 스윙 9%지점에서 발생하였으며, 최소각 이후 팔꿈치관절의 각도변화는 임팩트시점 그리고 활로우스루 동작과 계속적으로 증가하는 것으로 나타나 최대 80.65 ± 5.69 도로 팔꿈치관절의 전체 각변위는 평균 20 도정도로 가장 작은 각변위를 나타내고 있다. 이는 전반적인 스윙 과정에서 팔꿈치관절은 거의 고정시킨 상태에서, 앞서 살펴본 어깨관절의 각변위가 대부분을 이루는 것을 알 수 있다. 강상학(2002)은 평균 147 도의 팔꿈치각을 보고하고 있다.

그림 10은 오른손목관절의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 해부학적으로 손목관절에서는 수직축에 대한 회전운동이 발생하지 않으므로 그래프의 Y축 0점을 기준으로 X축 각변위는 (+)는 굴곡(flexion), (-)는 신전(extension), Y축 각변위는 (+)는 내전(adduction), (-)는 외전(abduction)으로 정의 하였다. 오른손목관절의 3차원 각변위는 오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크 스윙동안 전반적으로 굴곡된 상태를 보이고 있으나, 운동의 방향성을 살펴보면 백스윙 탑에서 임팩트로 진행되면서 신전되는 양상을 보이다가 임팩트 이후 다시 굴곡되는 형태로 나타났다. 내전과 외전을 나타내는 Y축의 각변위의 운동의 방향은 백스윙 탑에서 내전된 상태로 진행되다가 임팩트 까지 외전상태를 나타내어 임팩트 이후 다시 내전되는 형태를 나타내고 있다.

임팩트시 손목관절의 신전각도는 -5.04 ± 38.27 도로 나타났으며, 외전된 각도는 -20.34 ± 30.74 도로 나타났다.

굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 최소값 -51.97 ± 13.17 도에서 최대값 45.04 ± 26.02 도를 나타내어 평균 97.01 도의 각변위를 나타내고 있으며, 내전과 외전을 나타내는 Y축 각변위는 최소값 -21.42 ± 35.39 도에서 최대값 60.26 ± 10.23 도로 나타나 평균 81.68 도의 각변위를 나타내어 어깨관절 다음으로 큰 각변위를 나타내고 있다. 이중숙(1989) 수관절은 과신전된 상태에서 라켓헤드와 지면에서 동일한 높이에 있어야 한다고 보고하였으며, 강상학(2002)은 손목의 굴곡각을 평균 107 도로 보고하고 있다.

그림 11은 라켓의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 그래프의 Y축 0점을 기준으로 X축 각변위는 (+)는 굴곡(flexion), (-)는 신전(extension), Y축 각변위는 (+)는 내전(adduction), (-)는 외전(abduction) 그리고 Z축 각변위

는 (+)내측회전(internal rotation), (-)외측회전(external rotation)으로 정의 하였다. 라켓의 회전 및 굴곡각도를 살펴보기 위하여 연구목적상 오른전완분절에 대한 라켓의 3차원 각변위를 살펴보았다. 라켓의 3차원 각변위는 오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크의 굴곡과 신전을 나타내는 X축 각변위는 임팩트 이전까지는 굴곡된 상태에서 임팩트 이후 신전되는 양상을 나타내었으며, 내전과 외전을 나타내는 Y축 각변위는 임팩트 이전에 내전된 상태를 보이다 임팩트 직전에 외전되면서 임팩트가 이루어진 후 다시 내전되는 것으로 나타났다. 내측회전과 외측회전을 나타내는 Z축의 각변위는 전반적인 동작에서 내측회전 형태로 스윙이 이루어지는 것으로 나타났다.

임팩트시 라켓의 굴곡각도는 4.24 ± 8.42 도로 나타났으며, 외전각도는 -6.30 ± 7.33 도 나타났으며, 내측회전각도는 2.75 ± 9.05 도로 나타났다.

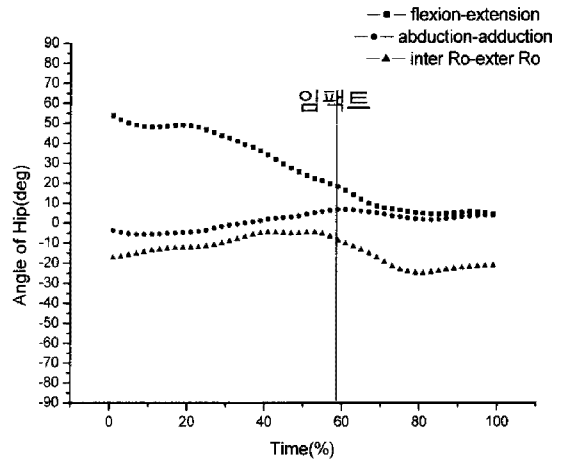
3. 하지관절의 해부학적 3차원 각변위

그림 12은 오른엉덩관절의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 그래프의 Y축 0점을 기준으로 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. 오른엉덩관절의 3차원 각변위는 오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크 스윙동안 전반적으로 백스윙 탑에서 굴곡된 상태에서 임팩트를 지나 전반적으로 신전되는 경향으로 나타났으며, 백스윙 탑에서 임팩트 후까지 전반적으로 외측회전된 상태로 스윙이 이루어지고 있는 것으로 나타났으나, 내전과 외전은 크게 발생하지 않는 것으로 나타났다.

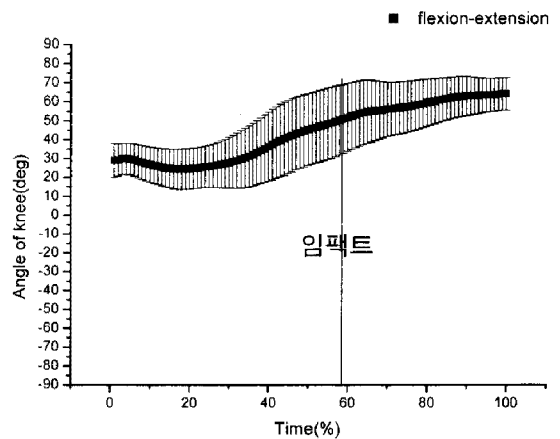
임팩트시 엉덩관절의 굴곡각도는 18.28 ± 14.78 도로 나타나으며, 외측회전된 각도는 -8.74 ± 18.32 도 나타났다.

스윙동안 전반적으로 외측회전이 지배적인 이유는 오픈스탠스의 경우 스윙진행상 왼발이 오른발보다 전방에 나와 있으며, 상체의 회전에 비하여 스윙 중 스트로크의 안정성을 위하여 하지가 지면에서 덜 회전되는 것으로 사료된다.

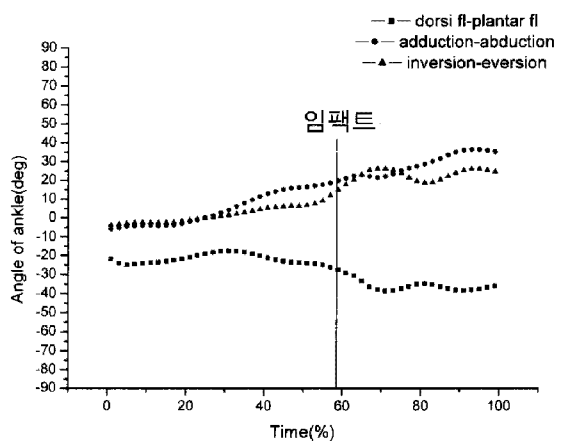
그림 13은 오른무릎관절의 3차원 각변위를 나타낸 것



<그림 11>오른엉덩관절의 각도변위



<그림 12>오른무릎관절의 각도변위



<그림 13>오른발목관절의 각도변위

으로 오른무릎관절의 각변위는 그래프의 Y축 0점을 기준으로 각변위는 (+) 굴곡(flexion), (-)신전(extension)으로 정의 하였다. 그래프의 상하실선은 표준편차를 나타낸 것이다. 오른무릎관절의 각변위는 오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크 스윙동안 전반적으로 굴곡된 상태에서 스윙이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 임팩트시 무릎관절의 굴곡각도는 50.92 ± 18.14 도로 나타났으며, 무릎관절 최소각은 24.33 ± 10.71 도로 백스윙 탑 직후 스윙 18%지점에서 발생하였으며, 최소각이후 무릎관절의 각도변화는 임팩트시점 그리고 활로우스루 동작과 계속적으로 신전되는 것으로 나타나 최대 64.05 ± 8.52 도로 무릎관절의 전체 각변위는 평균 40도 정도로 나타났다. 전통적인 포핸드 스트로크 방법에서는 공을 타격하는 동안 무릎관절각을 굽힐 것을 요구하나 현대적인 포핸드 스트로크에서는 공을 타격하는 동안 무릎관절각이 신전되는 것을 강조한다. 강상학(2002)는 임팩트 시 무릎관절각도를 평균 147도 보고하여 본 연구의 결과와 유사한 관절의 각을 보고하고 있다.

그림 14은 오른발목관절의 3차원 각변위를 나타낸 것으로 발목관절의 각변위는 연구목적상 3차원 상에서 움직임이 발생한다고 가정하였다. 그래프의 Y축 0점을 기준으로 X축 각변위는 (+) 배측굴곡(dorsi-flexion), (-)저측굴곡(plantar-flexion), Y축 각변위는 (+)는 내전(adduction), (-)는 외전(abduction) 그리고 Z축 각변위는 (+)내번(inversion), (-)외번(eversion)으로 정의 하였다. 발목관절의 3차원 각변위는 오픈스탠스 조건에서 테니스 포핸드 스트로크 스윙동안 전반적으로 저측굴곡된 상태와 내전 그리고 외번된 상태에서 스윙이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 임팩트시 발목관절의 저측굴곡각도는 -27.65 ± 24.69 도로 나타나 발바닥의 뒤쪽보다는 앞쪽 영역을 사용하는 것을 알 수 있으며, 발목관절의 내전된 각도는 -19.71 ± 14.44 도 나타났으며 외번된 각도는 14.86 ± 21.32 도 나타났으며, 내번과 외번된 상태는 발의 안쪽보다는 바깥쪽에 중심이 실리어 스윙이 이루어지고 있는 것을 나타내는 것으로 사료된다. 또한 오른발목관절의 최대 3차원 각변위는 각각 저측굴곡각도 -38.60 ± 31.43 (71%지점)도, 내전각도 36.40 ± 16.76 도(94%지점), 그리고 외번된 각도 26.20 ± 34.61 도(70%지점)로 나타났다.

IV. 결론

본 연구의 목적은 테니스 포핸드 스트로크 동작을 오픈스탠스 조건에 따른 3차원 영상분석방법을 적용하여 라켓헤드의 3차원 변위 및 속도, 중요관절의 해부학적 3차원 각변위 등 기초적인 자료를 제공하는데 두었다.

라켓헤드의 이동궤적에 대한 견해는 백스윙 탑에서 임팩트 시점까지는 거의 직선운동적인 요소가 많이 나타나 정하여진 목표의 타격이 주된 수행목표가 되어 스윙동작이 이루어지나, 공에 전달되는 스핀의 양 또는 공의 방향성의 결정은 임팩트 이후의 동작에서도 중요하게 작용될 것이라고 사료된다. 라켓헤드의 X, Y, Z방향의 속도 중 X방향 즉, 전후방향의 속도만이 거의 임팩트 시점에 일치하여 최고속도가 발생하였으며, 좌우방향인 Y방향과 상하방향인 Z방향은 임팩트이후에 최고속도를 보이고 있다. 이러한 결과는 임팩트 이후 좌우방향의 방향성과 상하방향의 스핀의 양에 지대한 영향을 미칠 것이라고 사료된다. 임팩트시 나타난 양발의 보폭은 74.2 ± 11.2 m로 나타났다.

상지관절의 해부학적 3차원 각변위는 어깨관절, 손목관절, 상체 그리고 팔꿈치관절의 순으로 각변위의 크기가 나타났으며, 라켓의 3차원 각변위는 임팩트 이전까지는 굴곡 상태에서 임팩트 이후 신전되는 양상을 나타내었으며, 임팩트 이전에 내전된 상태를 보이다 임팩트 직전에 외전되면서 임팩트가 이루어진 후 다시 내전되는 것으로 나타났다.

상체는 백스윙 탑부터 시작하여 활로우스루까지 계속 신전되고, 백스윙 탑에서 외전되었던 상체가 임팩트를 전 후하여 내전되는 형태를 나타내었다. 어깨관절의 운동의 방향은 백스윙 탑 이후 신전, 내전, 내측회전 되었다가 임팩트시점을 기준으로 굴곡, 외전, 외측회전이 발생하는 것으로 나타나 상체를 기준으로 아래서 위로, 바깥쪽에서 안쪽으로 동작이 이루어지는 것을 알 수 있다. 오른팔꿈치관절은 전반적으로 제일 작은 각변위를 보이면서 굴곡된 상태에서 스윙이 이루어졌으며, 오른손목관절은 운동의 방향성을 살펴보면, 백스윙 탑에서 임팩트로 진행되면서 신전, 외전되는

양상을 보이다가 임팩트 이후 다시 굴곡, 내전되는 형태로 나타났으며, 임팩트 이후 각변위의 크기가 두드러지게 발생하는 것을 알 수 있다.

오른엉덩관절은 백스윙 탑에서 굴곡된 상태에서 임팩트를 지나 전반적으로 신전되는 경향으로 나타났으며, 백스윙 탑에서 임팩트 후까지 전반적으로 외측회전된 상태로 스윙이 이루어지고 있는 것으로 나타났으나, 내전과 외전은 크게 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 오른무릎관절은 최소각이후 임팩트시점 그리고 활로우스로 스윙이 이루어지는 동안 계속적으로 신전되는 것으로 나타났다. 발목관절은 저축굴곡된 상태와 내전 그리고 외번된 상태에서 스윙이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 발바닥의 뒤쪽보다는 앞쪽영역을 사용하는 것 내번과 외번된 상태는 발의 안쪽보다는 바깥쪽에 중심이 실리어 스윙이 이루어지고 있는 것을 나타내는 것으로 사료된다.

앞으로의 연구는 테니스 스탠스 유형에 따른 즉, 오픈스탠스, 클로уз 스탠스, 스퀘어스탠스간의 비교 연구가 이루어진다면 테니스 스트로크를 이해하는데 도움이 될 것이라고 사료된다.

참 고 문 헌

- 강상학(2002). 테니스 탑스핀 포핸드 스트로크의 운동학적 분석, *한국체육학회지*, 제41 권 3호, p557-564
- 강영택(2000). 테니스포핸드시 밀어치기와 때려치기의 운동학적 분석, 부산대학교 대학원석사학위논문
- 김신희(1995). 테니스 포핸드 드라이브시 라켓 속도에 대한 인체분절의 기여도, 서울대학교 석사학위논문
- 김인식(1984). 테니스 타격과 전략, 서울 : 금화출판사
- 서국웅(1989) 인체와 라켓 움직임의 생체역학적 분석, 부산대학교 체육 과학연구소
- 서국웅(1991). 인체와 라켓 움직임의 생체역학적 분석, 부산대학교 체육연구소논문집, 제7호 pp.65-95
- 서국웅(1992). 테니스와 볼 스피. *테니스코리아* 10월호
- 서정건(1986). 테니스 백핸드 드라이브 스트로크에 관한 연구. 경북대학교
- 용석준(1990). 테니스 그라운드 스트로크 동작시 기능적 차이에 따른 근전도 비교분석, 성균관대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 이중숙(1989). 테니스 포핸드 스트로크 동작의 운동역학적 분석-톱스핀, 플렛트, 슬라이스를 중심으로, 부산대학교 석사학위논문.
- 이중숙(2002) 준비동작의 형태 변화에 따른 신체 움직임의 운동역학적 분석, *한국운동역학회*, 12(2) p 179-195.
- 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.
- Baker, J.A. & Putnam, C.A.(1979). Tennis racket and ball responses during impact under clamped and free standing condition, *Research Quarterly*, Vol. 50, No. 2, 164-170.
- Brody, H.(1979). Physics of the Tennis Racket, *American Journal of Physics*, 46-47
- Elliott, B. & Kilderry, R.(1983). *The art and science of tennis*. New York Saunders. 58.
- Groppel, J.L.(1984) *Tennis for advanced players and those who like to be*, Champaign, IL : Human Kinetics
- 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.
- Hatze,H.(1979). Forces and Duration of Impact and Grip Tightness During the Tennis Stroke. *Medicine and science in Sports*, 8. pp. 88-95.
- Johnson, G.W. (1999). *LabVIEW graphical programming: Practical applications in instrumentation and control*. New York: McGraw-Hill. Illinois, 291-312.
- Knudson D., Blackwell J. (2000) Trunk muscle activation in open stance and square stance tennis forehands, *J. sports Med.* 21(5);321-324. Roetert, P., &Groppel, J.(2001). *World-Class Tennis Technique*. England: Human Kinetics Publishers, Inc.
- Nigg, B.M. & Herzog, E. (1994). *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. Watanabe,I,M.(1979). "The effect of Grip Firmness on Ball velocity after Impact." *Medicine and Science in Sports*, Vo1. 11, No. 4, 359-361.
- Plagenhoef,s.(1979). Tennis racket testing related to "tennis elbow." In J.L. Groppel(Ed), *Proceedings of the National Symposium on Racquet Sports*. Champaign : University of

투 고 일 : 07월 30일

심 사 일 : 08월 15일

심사완료일 : 09월 01일