



## 테니스 포핸드의 스탠스 유형에 따른 족저압력분포의 변화

### Change of Plantar Pressure Distribution according to Stance Patterns during Tennis Forehand

이태근 · 김승재(한서대학교) · 최지영\*(연세대학교)

Lee, Tae-Keun · Kim, Seung-Jae(Hanseong University) · Choi, Ji-Young\*(Yonsei University)

---

#### ABSTRACT

T. K. LEE, S. J. KIM, J. Y. CHOI, Change of Plantar Pressure Distribution according to Stance Patterns during Tennis Forehand

, Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 15, No. 2, pp. 185-196, 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 and it is very important to know the patterns of plantar pressure distribution for the better understanding of forehand stroke. Therefore, the purpose of this study was to investigate the change of plantar pressure distribution according to close, square and open stance patterns during forehand stroke in tennis. Three high school tennis players were recruited for the study and required to perform forehand stroke five consecutive trials in the condition of open, square and close stance. The forehand strokes were filmed with two digital video cameras and measured with pedar system for plantar pressure.

The plantar regions under the foot were divided into 3 regions, which were forefoot, midfoot, and rear foot. In conclusion, the first hypothesis, "The plantar pressure of close stance during forehand stroke would be distributed more largely to the left foot.", was rejected and the result showed that The plantar pressure of close stance during forehand stroke was distributed transferring from right foot to left foot similar to square stance. The second hypothesis, "The plantar pressure of square stance during forehand stroke would be distributed transferring from right foot to left foot." was accepted. The third hypothesis, "The plantar pressure of open stance during forehand stroke would be distributed more largely to the right foot.", was accepted.

KEYWORDS: STANCE PATTERNS, PLANTAR PRESSURE, VERTICAL REACTION FORCE

---

## I. 서론

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 스트로크의 큰 변화를 겪고 있는 이유로는 스핀의 양, 그림형태, 스탠스유형 등의 변화에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 포핸드의 스탠스는 양발을 네트에 수직으로 놓기 때문에 스퀘어 스탠스(square stance), 양발이 네트에 평행하기 놓는 오픈 스탠스(open stance), 앞발이 뒷발 앞을 가로질러 비스듬하게 놓는 크로즈드 스탠스(closed stance) 그리고 반쯤 열린(semi-open stance) 스탠스는 공을 맞추는 지점에 더 가까운 발이 다른 발보다 약간 더 뒤에 놓이는 것이다.

Knudson & Blackwell(2000)은 오픈스탠스와 스퀘어스탠스 테니스 포핸드 스트로크에 있어서 몸통의 근 활동을 분석한 결과 스탠스 사이의 근 활동에 있어서 유의한 차이가 없었는데 이것은 테니스 전문가들이 주장한 오픈 스탠스 포핸드 스트로크가 스퀘어스탠스 포핸드 스트로크보다 더 큰 근 활동을 필요로 한다는 주장과 상반된 결과라고 주장하였다. 한편, 척추기립근(erector spinae: ES)의 표준 EMG의 평균값이 외복사근(external oblique: EO)과 복직근(rectus abdominis: RA)보다 유의하게 더 큰 것으로 보고하였는데 이것은 테니스에 있어서 테니스 특유의 힘 불균형의 관찰과 등 하부 부상의 빈도를 증가시키는 것과 일관된 것이라고 주장하였다. 강영택(2000)은 테니스 포핸드의 밀어치기 타법과 때려 치는 타법의 두 가지 유형을 3차원 영상분석한 결과 크로스 스탠스의 밀어치는 타법을 구사하는 그룹은 체중을 뒤에서 앞으로 이동하여 직선운동을 위주로 한 타법을 구사하며, 오픈스탠스의 때려 치는 타법을 구사하는 그룹은 어깨와 허리의 회전을 이용한 타법을 구사하여 직선운동 보다 회전운동에 보다 더 큰 비중을 두고 있는 것으로 보고하고 있어 테니스 퍼핸드 스트로크 시 스탠스 유형에 따른 운동학적 차이점

에 설명하고 있다. McLaughlin(2004)은 테니스 스트로크 시 사용할 수 있는 스탠스에는 스퀘어(square), 오픈(open), 크로즈드(closed) 스탠스 등의 세 가지가 있다고 밝혔다. 이 가운데 오픈스탠스는 현재의 많은 정상급 선수들이 이용하고 있는데도 불구하고 좋은 균형을 잡고 체중이동을 하기에는 어렵다고 밝히고, 특히 웨스턴 그림이나 세미웨스턴 그림을 이용하는 선수들이 주로 사용한다고 밝혔다. Roetert & Groppe(2001)은 전통적으로 테니스선수들은 체중을 앞으로 이동하는 동시에 팔 동작을 하면서 포핸드 스트로크를 하였지만 현대에 와서는 강한 탑스핀이 걸리는 포핸드 스트로크가 강조되면서 오픈스탠스가 지배적이 되었다고 밝히고 있다. 이러한 오픈스탠스의 포핸드 스트로크 특성은 뒷다리의 굴곡과 신전 움직임이 힘을 발생시키는 원천이며, 스텝을 옆으로 밟기 때문에 선형운동량의 전이가 거의 없고, 다리-엉덩이-몸통-위팔 분절로 이어지는 회전에 의해 발생하는 상당한 양의 각운동량을 발생시킨다고 하였다. Bahamonde & Knudson(2003)은 타격시 라켓의 절대속도, 어깨관절의 토크 등을 살펴본 결과 오픈스탠스 포핸드가 스퀘어스탠스 포핸드보다 상체에 훨씬 큰 부하를 발생시킬 것이라는 가설을 입증하지 못하였으며, Knudson & Blackwell (2000)의 연구 결과에서도 포핸드 스트로크의 스탠스에 있어서 오픈 스탠스와 스퀘어 스탠스 사이의 근 활동에 있어서 유의한 차이가 없었다고 보고하였다. 특히 포핸드 오픈스탠스의 자세는 테니스라켓의 경량화와 함께 최근 들어 가장 많은 변화가 나타나고 있는 스탠스라 할 수 있으며, 보다 현장적용적인 지식을 얻기 위해서는 퍼핸드 스트로크 시 스탠스 유형에 따른 지면과 이루어지는 족저 압력에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

족저 압력의 분포에 관한 연구는 운동역학 분야에서 신발과 관련된 연구(Alexander, Chao, Kenneth, & Johnson, 1990; Cavanagh, Hewitt, & Perry, 1992; Hennig, Sanderson, 1995; Hennig, & Milani, 1995), 달리기(Hennig, M. E. & Milani, T. L. 1995;

Milani, T. L., Schnabel, S. & Hennig, E. M. 1995), 견기(Rosenbaum, D., Hautmann, S., Gold, M., & Class, L. 1994) 그리고 재활을 목적으로 한 보행분석(Gheluwe, B. V., & Nelen, B) 등에서 다양하게 이루어져 왔으나 테니스 포핸드 스트로크시 발생하는 족저 압력 분포에 관한 연구는 거의 전무하다고 해도 과언이 아니다. 따라서 본 연구의 목적은 테니스 포핸드 스트로크의 세가지(조건 1: 오픈스탠스, 조건 2: 스퀘어스탠스, 조건 3: 클로우스스탠스) 스탠스 조건에서의 백스윙, 포워드 스윙, 팔로우스루 등의 구간에서 족저 주요 영역별 최대 압력 분포와 수직력을 조사하여 테니스 포핸드 스트로크의 오픈스탠스 시 체중이동에 대한 정량적인 자료를 얻는데 두었다.

본 연구의 목적을 달성하기 위해 스탠스 유형에 따른 발바닥 압력 분포의 변화에 대해 다음과 같이 세 가지 연구의 가설이 설정되었다.

- 1) 포핸드 스트로크 동안 클로즈 스탠스의 발바닥 압력은 왼발에 보다 크게 분포될 것이다.
- 2) 포핸드 스트로크 동안 스퀘어 스탠스의 발바닥 압력은 오른발에서 왼발로 이동되면서 분포될 것이다.
- 3) 포핸드 스트로크 동안 오픈 스탠스의 발바닥 압력은 오른발에 보다 크게 분포될 것이다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험대상자

본 연구를 위하여 3명의 고등학교 남자 테니스선수 3명이 실험대상자로 자원하였으며, 실험대상자들의 평균 키는  $176.7 \pm 2.08$ cm, 평균 몸무게는  $65.7 \pm 3.79$ kg, 평균 선수경력은  $6.3 \pm 0.58$ 년, 평균 발길이는  $273.3 \pm 2.89$ mm이었다.

### 2. 실험 설계

본 실험은 Y 대학 클레이 테니스 코트에서 두 대의 디지털비디오 카메라를 설치하여 동작을 촬영하

였으며, 동시에 족저압력분포 측정기인 pedar system을 착용한 후, 테니스 포핸드 스트로크를 세가지 스탠스 조건별로 실시하였다. 세 가지 스탠스 조건은 1) 오픈 스탠스(open stance), 2) 클로즈드 스탠스(closed stance) 그리고 3) 스퀘어 스탠스(square stance)로 설정하였으며, 이러한 스탠스 조건에 따라 살펴본 운동역학적 변인들로는 발바닥 영역별 최대 발바닥 압력 값과 발바닥의 수직 힘 곡선이였다. 테니스공을 테니스 코트의 서비스 라인을 지난 센터 마크 지점에 연속적으로 공급 해주면서 대상들에게 파워 있고 정확하게 정지동작이 없이 연속적으로 동작을 실시하도록 요구하였으며, 적용된 스텝은 스플릿 스텝(Split Step)을 적용하였다. 정확성에 대한 목표는 프론트 코트 지역이었다. 이 지역의 네모 안에 성공하지 못한 시기는 연구에 포함시키지 않았으며, 분석에 포함한 시기는 5회로 하였다.

### 3. 발바닥 압력 분포 자료의 측정

세가지(조건 1: 오픈스탠스, 조건 2: 스퀘어스탠스, 조건 3: 클로우스스탠스) 스탠스 조건에 따른 테니스 포핸드 스트로크의 정량적 검증을 위해서는 이의린과 김승재(1998)에 의해 제안된 신발 안착형 발바닥 압력분포 측정에 의한 발바닥 압력분포 분석법에 기초하여 이루어졌다. 먼저 발바닥 압력 분포의 측정에는 용량성(capacitive) 압력 탐색 안착형인 pedar(novelgmbh) 시스템이 이용되었다. 압력 센서로 구성되어 있는 안착은 260mm와 270mm 용의 두 가지 크기로 275mm, 280mm의 테니스 신발에 잘 조절하여 위치시켰으며, 안착의 보정(calibration)은 제작회사에서 이미 마친 후 처음 사용하는 것이기 때문에 필요하지 않았다. 왼발과 오른발의 안착은 각각 99개의 용량성 압력 센서를 포함하며, 약 2.5mm의 두께를 보였다. 왼발과 오른발의 안착은 전선으로 휴대용 동조 장치와 연결되어 있으며, 이 동조장치는 다용도 입출력 접속 장치를 거쳐 pedarwin 소프트웨어가 내장되어 있는 컴퓨터로 연결되었다. 발바닥 압력 자료의

표본 주파수는 50 Hz 이었다. 테니스 포핸드 동작의 전체 구간에서 수집된 자료는 오픈 스탠스에서 117.7±17.69 프레임, 크로즈드 스탠스에서 124.86±13.17 프레임, 그리고 스퀘어 스탠스에서 115.4±9.51 프레임의 발바닥 압력 분포 그래픽으로 각각 2.34sec, 2.49sec, 2.30sec의 평균 동작 수행 시간을 보였다. 압력 자료의 시작시기와 종료시기를 알기 위해 pedarwin의 자료 측정을 시작하는 마우스의 한번 누르기와 동시에 카메라 프레쉬 라이트가 터지고 자료 측정을 종료하는 마우스의 한번 누르기와 동시에 카메라 프레쉬 라이트가 터지도록 설치하였다. 발바닥 압력 자료의 시작시기와 종료시기를 알리는 카메라 프레쉬 라이트는 60frames/sec의 촬영속도를 갖는 디지털비디오 카메라의 영상자료에 기록되었다. 왼발과 오른발의 스텝의 그래픽 형태로 측정된 발바닥 압력 분포 자료는 자료 분석을 위한 처리가 가능하도록 ASCII 파일로 전환되었다.

#### 4. 영상 자료의 측정과 동작구간의 구분

발바닥 압력 분포 측정의 시작시기와 동일한 테니스 스윙의 시작 신호에 약 1초 앞서 촬영을 시작한 디지털 카메라의 영상자료에서는 발바닥 압력 분포 측정의 시작시기와 종료시기를 나타내는 카메라 프레쉬 라이트를 볼 수 있었다. 이성철과 이세용(1997)은 본 연구에서 이용된 pedar 시스템의 발바닥 압력 분포의 수집 자료의 경과시간에 오차를 보고하고 기자재 간의 동조를 백분율로 나타내는 것을 제안한 바 있다. 두 측정기기간에 나타난 오차의 원인은 발바닥 압력 분포의 표본주파수의 부정확성에서 기인될 수 있다.

세 가지 스탠스 조건에 따른 테니스 포핸드 동작 구간은 디지털 카메라의 영상자료를 시각적으로 관찰하여 그 백분율에 따라 나누었다. 백스윙 구간은 전체 동작 가운데 오픈 스탠스에서 45.8±12.01%, 크로즈드 스탠스에서 44.3±4.88%, 그리고 스퀘어 스탠스에서 40.8±4.87%를 차지하였다. 포워드 스윙(foreword swing) 구간은 백스윙

위치에서부터 타격순간까지로 정의하였으며, 전체 동작 가운데 오픈 스탠스에서 22.8±4.88%, 크로즈드 스탠스에서 26.2±3.40%, 그리고 스퀘어 스탠스에서 25.0±4.46%를 차지하였다. 마지막으로 팔로스로우(follow-through) 구간은 타격순간 이후부터 테니스 스윙동작이 끝나는 지점인 타격시 중심되는 발이 스텝을 밟은 후 다시 지면에 닿는 시점까지로 정의하였으며, 전체 동작 가운데 오픈 스탠스에서 31.4±6.56%, 크로즈드 스탠스에서 29.5±4.32%, 그리고 스퀘어 스탠스에서 34.2±5.09%를 차지하였다. 이 영상자료의 백분율을 발바닥 압력 분포 자료에 그대로 적용하여 백스윙 구간, 포워드 스윙 구간, 팔로스로우 구간의 프레임 수를 각각 정의하였다.

#### 5. 발바닥 부위의 영역 분할

발바닥 영역 구분은 테니스 스윙 동작의 측정 직전에 실험 대상자가 테니스 신발과 신발 내부에 압력 센서가 장착된 상태로 제자리에 선 자세에서 힘을 가할 때 나타나는 pedar 창 의 발바닥 압력 변화의 관찰 결과에 근거하여 할당하였다. Hennig & Milani (1995)는 비록 압력 분포 측정 기기가 다르고 발바닥 영역 할당 근거는 제시하지 않았지만 여러 신발 형태에 따라 달리기 동안의 신발 내부 압력 분포를 나타내는데 8개의 영역으로 분할한 바 있다. 이를 8개 영역의 구분을 기초로 해서 본 연구 목적에 맞게 구분된 3개의 발바닥 영역은 앞발부위는 엄지발가락(hallux), 앞발내측(medial forefoot), 앞발중앙(central forefoot), 앞발외측(lateral forefoot)을 포함하고, 중간발 부위는 중간발내측(medial midfoot), 중간발외측(lateral midfoot)을 포함시켰으며, 뒤발부위는 뒤꿈치내측(medial heel), 뒤꿈치외측(lateral heel) 부위로 정의하였다.

#### 6. 최대 발바닥 압력 값과 수직 힘의 계산 및 처리

앞서의 과정을 거쳐 발바닥 영역별로 할당된 압

력 분포 값으로 본 연구에서 이용될 최대 발바닥 압력 값과 수직 힘 등의 두 가지 종속 변인을 계산하였다. 먼저 최대 발바닥 압력 값은 왼발과 오른발에서 각각 테니스 스윙동작의 전체 구간과 세 가지 동작구간을 나누어 나타내었다. 두 번째 변인인 수직 힘의 계산에 있어서 발바닥 압력 분포의 한 셀의 값이 1 cm×1cm의 단위 면적에 따른 값이므로 그대로 힘 값으로 전환 될 수 있다. 그러므로 수직 힘 값은 개개 프레임에서의 발바닥 영역에 포함되는 셀의 압력 값을 각각 모두 더한 값으로 하였다. 수직 힘은 왼발과 오른발의 전체 부위의 오픈 스탠스에 따른 테니스 스윙동작의 전체 구간에서의 수직 힘 곡선으로 나타내었다. 수직 힘 곡선은 모두 선형 보간법(linear interpolation)을 이용하여 시간 축에 대해 100%의 백분율로 정규화(normalization)하였다(Reinschmidt, 1996). 정규화된 힘 곡선의 잡음을 줄이기 위해 LabVIEW 5.1 에 내장되어 있는 Second-Order Butter-worth Low-Pass Filter(Winter, 1990)이용하여 평활화 하였다.

### Ⅲ. 결과 및 논의

본 연구 결과는 세 가지 스탠스 조건(조건 1: 오픈 스탠스, 조건 2: 크로즈드 스탠스, 조건 3: 스퀘어 스탠스)에 따른 테니스 포핸드 동작을 왼발과 오른발의 발바닥 영역별 최대 발바닥 압력의 평균 값을 살펴본 후, 테니스 스윙동작의 세 가지 동작 구간인 백스윙 구간, 포워드 스윙 구간, 팔로스로우 구간에서 발바닥 영역별 최대 발바닥 압력의 평균 값을 각각 살펴보았다. 이어서 세 가지 스탠스 조건에 따른 테니스 스윙동작의 왼발과 오른발의 전체 발바닥의 평균 수직 힘 곡선 형태를 살펴보았다.

#### 1. 스탠스 조건에 따른 최대 발바닥 압력

세 가지 스탠스 조건(조건 1: 오픈 스탠스, 조건 2: 클로우즈 스탠스, 조건 3: 스퀘어 스탠스)에 따른 왼발과 오른발의 테니스 스윙동작의 전체 구간에서 발바닥 영역별 최대 발바닥 압력 값은 오픈

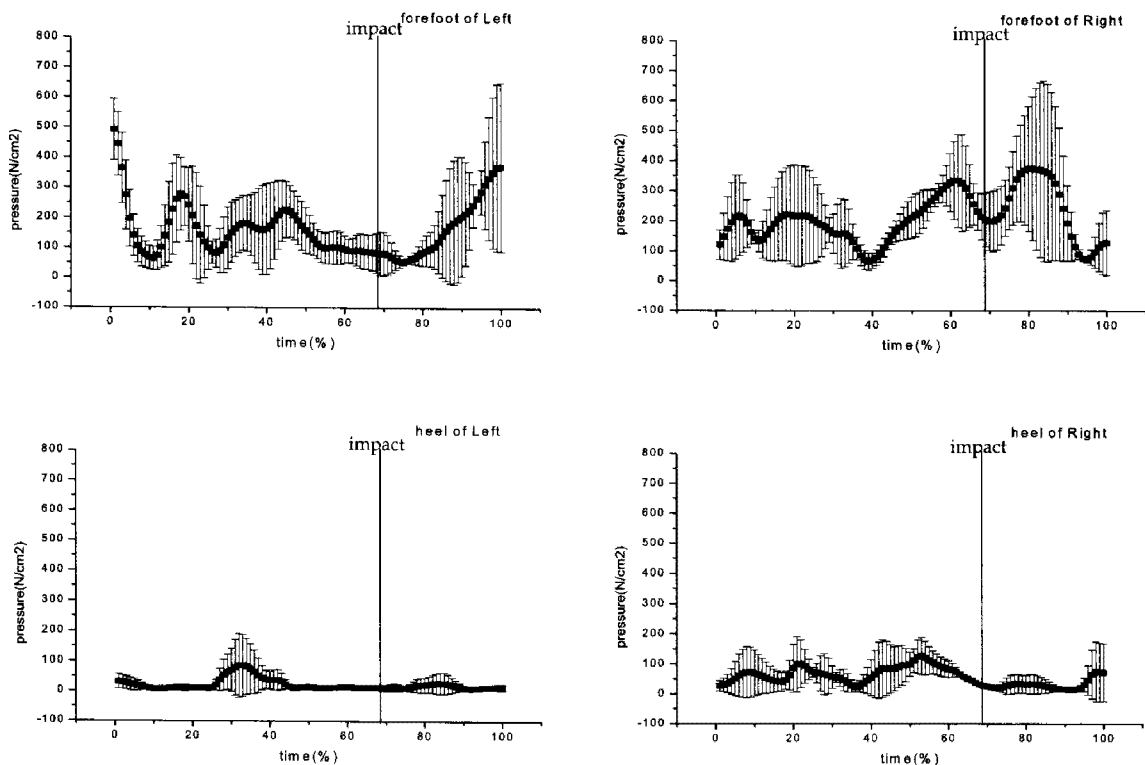


그림 1. 오픈 스탠스 조건의 테니스 포핸드 동작의 발바닥 영역별 평균 압력 값

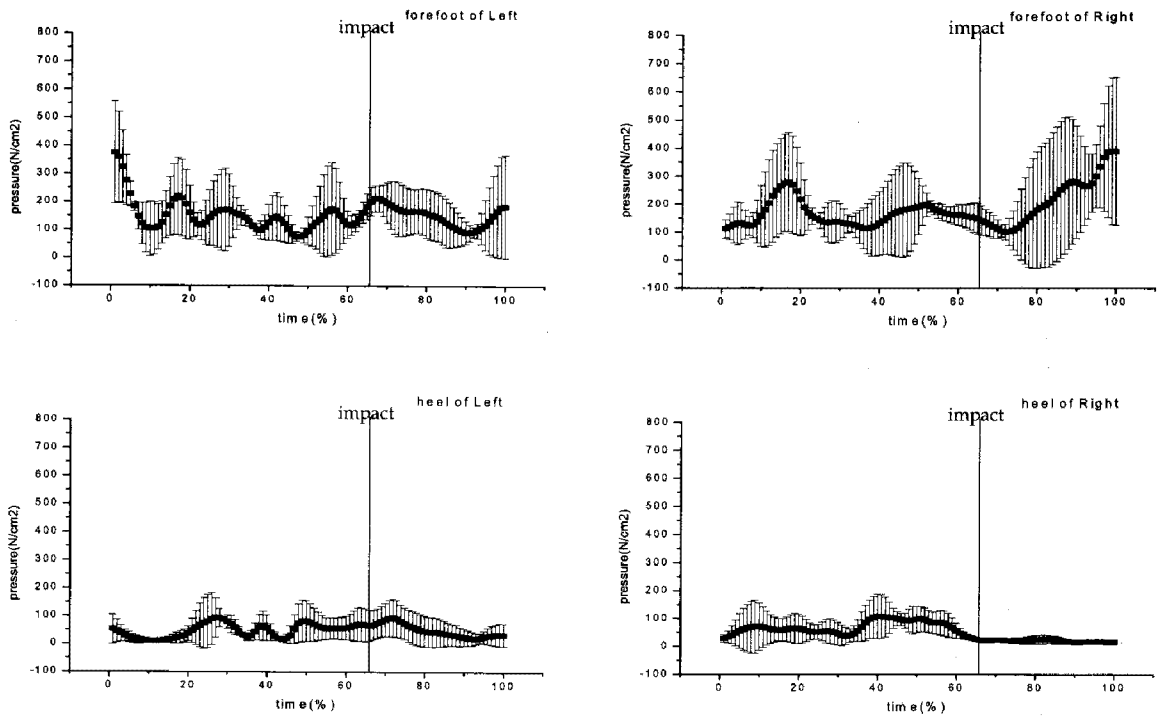


그림 2. 크로즈드 스탠스 조건의 테니스 포핸드 동작의 발바닥 영역별 평균 압력 값

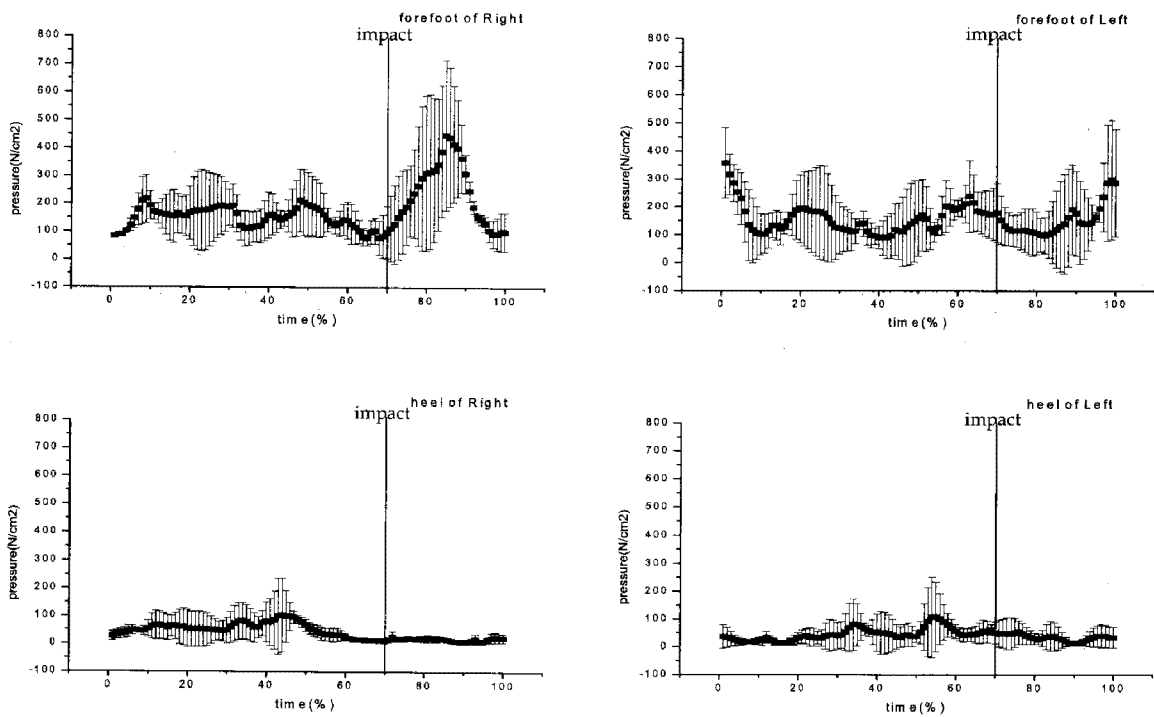


그림 3. 스퀘어 스탠스 조건의 테니스 포핸드 동작의 발바닥 영역별 평균 압력 값

스탠스 <그림 1>, 크로즈드 스탠스 <그림 2>, 그리고 스퀘어 스탠스 왼발<그림 3>에 나타내었다. 각각의 그래프는 전체 동작 구간을 시간 축에 대해

100%의 백분율로 정규화(normalization)하여 나타내었으며, 앞발 영역, 중간발 영역, 뒷꿈치 영역 세부분으로 나누어 왼발, 오른발을 각각 나타내었

다. 그래프를 중심으로 상하실선은 표준편차를 나타내고 있다. 테니스 포핸드 스윙동작을 전반적으로 살펴보면 세 가지 스탠스 조건에 따른 스텝 중의 주된 중심이 되는 발은 오른발로 나타났으며, 오른발이 중심이 되어 임팩트가 발생하는 오픈 스탠스의 경우 체중이 오른발에 실린 채 임팩트가 이루어졌으나, 왼발이 중심이 되어 임팩트가 발생하는 크로즈드 스탠스와 스퀘어 스탠스는 오른발에서 왼발로 중심이 이동 되는 순간 임팩트가 발생한다고 할 수 있었다. 또한 세 가지 조건에 따른 테니스 포핸드 동작의 스텝의 이동은 발의 뒷발 영역보다는 발의 앞쪽 영역으로 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

그림 4, 그림 5 그리고 그림 6는 테니스 포핸드 동작 전체구간에서 나타난 세 가지 스탠스 조건에 따른 영역별 최대 발바닥 압력 값을 나타낸 것으로 오픈 스탠스, 크로즈드 스탠스 그리고 스퀘어 스탠스의 발바닥 영역별 왼발, 오른발 최대 발바닥 압력의 평균 값을 나타낸 것이다. ●표는 왼발, ▲표는 오른발의 평균 최대 압력 값을 나타내고 있다. 전반적인 동작의 주된 발바닥 영역은 앞발 영역으로 나타났으며, 중간발 영역은 거의 사용을 하지 않으며, 뒷발 영역도 예상보다 적게 사용되는 것으로 나타났다.

오픈 스탠스 조건에 따른 테니스 포핸드 동작 전반적인 스텝 사용 영역은 앞발 영역으로 나타났으며, 퍼핸드 스윙초기에는 왼발이 중심이 되어 스윙동작을 수행하다가, 임팩트시 오른발이 중심이 되어 타격이 이루어진 후, 활로우스루 구간에서 체중의 이동이 거의 양발에 균등하게 배분되는 양상을 나타내고 있다. 중요시점에 나타난 영역별 평균 최대 발바닥 압력 값을 살펴보면, 초기 백스윙 시 가장 많이 사용하는 영역은 앞발 영역으로 나타났으며 왼발  $492.64 \pm 102.561 \text{N/cm}^2$ 와, 오른발  $221.56 \pm 155.23 \text{N/cm}^2$ 으로 나타나 세 영역 중 가장 큰 최대 발바닥 압력 값을 나타내어, 퍼핸드 스윙의 초기 추진력의 발생은 발바닥의 앞발 영역에서 발생한다고 할 수 있다. 백스윙이 이루어지는 동안 중간발 영역은 거의 사용되지 않고 있었으며, 뒤꿈치 영역은 왼발  $86.44 \pm 103.11 \text{N/cm}^2$ , 오른발

$100.42 \pm 79.84 \text{N/cm}^2$ 으로 나타났다. 임팩트 구간을 포함하고 있는 퍼 워드 스윙 구간의 발바닥 최대 압력 값은 오른쪽 앞발(forefoot) 영역에서 임팩트(69% 지점) 직전에 발생을 하였으며, 그 값은  $334.56 \pm 128.80 \text{N/cm}^2$ 로 나타나 백스윙 시 보다 평균  $113 \text{N/cm}^2$ 이 증가한 것에 비하여, 왼발의 앞발 영역의 최대 압력 값이  $228.57 \pm 93.51 \text{N/cm}^2$ 으로 나타나 평균  $264 \text{N/cm}^2$ 이 줄어드는 경향을 나타냈다. 이는 퍼 워드 스윙 시 체중이 충분히 오른발에 실리어 임팩트가 이루어지는 것을 알 수 있다. 뒤꿈치 영역 역시 퍼 워드 스윙 시 오른발의 최대 압력 값이  $126.70 \pm 61.92 \text{N/cm}^2$ 으로 나타나 백스윙 시 보다 평균  $26 \text{N/cm}^2$ 이 증가하는 것에 비하여 왼발의 최대 압력 값은  $15.46 \pm 5.70 \text{N/cm}^2$ 을 나타나 평균  $70 \text{N/cm}^2$  정도 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 팔로우 스루 구간에서는 발바닥 최대 압력 값이 오른발 앞발 영역을 그대로 유지 되고 있으나, 오른발 뒤꿈치 영역의 최대 발바닥 압력 값은 줄어드는 경향을 나타내어, 활로우스루 시 체중의 이동이 앞발 영역으로 집중되면서 테니스 퍼핸드 스윙 동작이 이루어지는 것을 알 수 있다.

크로즈드 스탠스 조건에 따른 테니스 포핸드 동작은 스윙 초기에 왼발 중심으로 퍼핸드 스윙동작을 시작하여 퍼 워드 스윙까지는 왼발의 역할은 감소하는 경향을 보이나, 임팩트 시점을 기준으로 왼발의 역할이 증가하며, 임팩트 이후 다시 체중의 배분이 오른발 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 중요시점에 나타난 주요 영역별 평균 최대 발바닥 압력 값을 살펴보면, 초기 백스윙 시 가장 많이 사용하는 영역은 앞발 영역으로 나타났으며 왼발  $375.44 \pm 182.83 \text{N/cm}^2$ 와, 오른발  $279.05 \pm 176.98 \text{N/cm}^2$ 으로 나타나 세 영역 중 가장 큰 최대 발바닥 압력 값을 나타내어 클로즈 스탠스 역시 퍼핸드 스윙의 초기 추진력의 발생은 발바닥의 앞발 영역에서 발생한다고 할 수 있다. 백스윙이 이루어지는 동안 중간발 영역은 거의 사용되지 않고 있었으며, 뒤꿈치 영역은 왼발  $93.87 \pm 70.68 \text{N/cm}^2$ , 오른발  $108.01 \pm 79.61 \text{N/cm}^2$ 으로 나타났다. 임팩트 구간을 포함하고 있는 퍼 워드 스윙 구간의 발바닥 최대 압력 값은

오른쪽 앞발(forefoot) 영역에서 임팩트(66% 지점) 직전에 발생을 하였으며, 그 값은  $198.12 \pm 42.56 \text{N/cm}^2$ 로 나타나 백스윙 시 보다 평균  $81 \text{N/cm}^2$ 이 감소하였으며, 왼발의 앞발 영역의 최대 발바닥 압력 값이  $184.30 \pm 46.60 \text{N/cm}^2$ 으로 나타나 평균  $191 \text{N/cm}^2$ 이 줄어드는 경향을 나타내어,

임팩트 시 체중이동이 상향이동 되는 것으로 사료된다. 그러나 임팩트 순간(66%)에는 왼쪽 앞발 영역  $202.27 \pm 51.05 \text{N/cm}^2$ 로 퍼워드 스윙시 보다  $18 \text{N/cm}^2$  증가하였으나 오른쪽 앞발 영역  $141.90 \pm 52.63 \text{N/cm}^2$ 으로 나타나  $57 \text{N/cm}^2$  감소하는 경향을 나타내어 임팩트 순간 중심이 되는 발은 왼발로

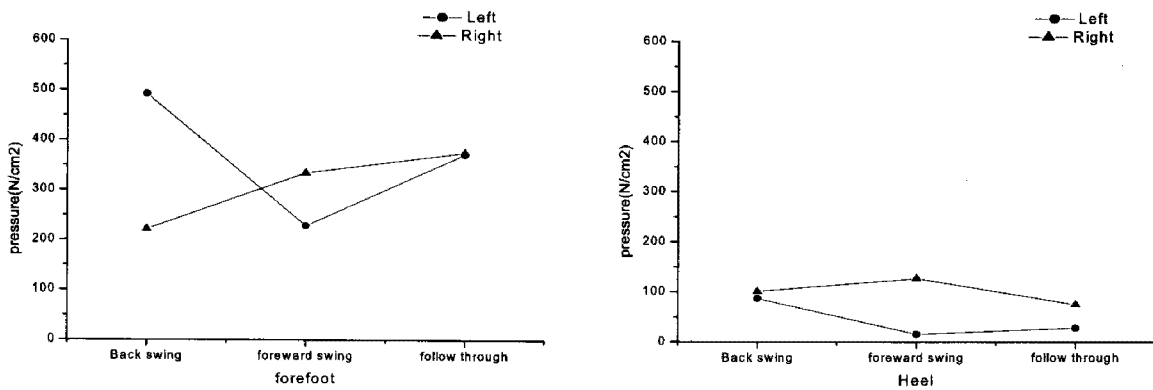


그림 4. 오픈 스탠스 시 세 구간에 나타난 최대 발바닥 압력의 평균 값

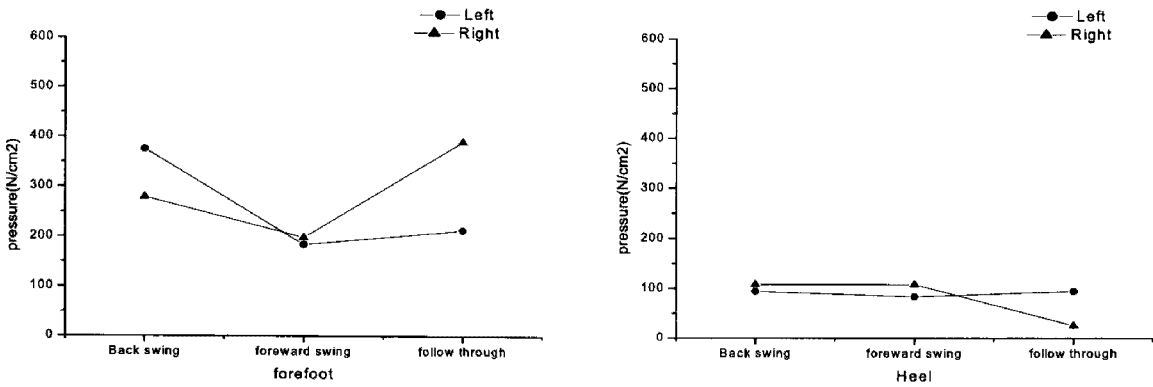


그림 5. 크로즈드 스탠스 조건 시 세 구간에 나타난 최대 발바닥 압력의 평균 값

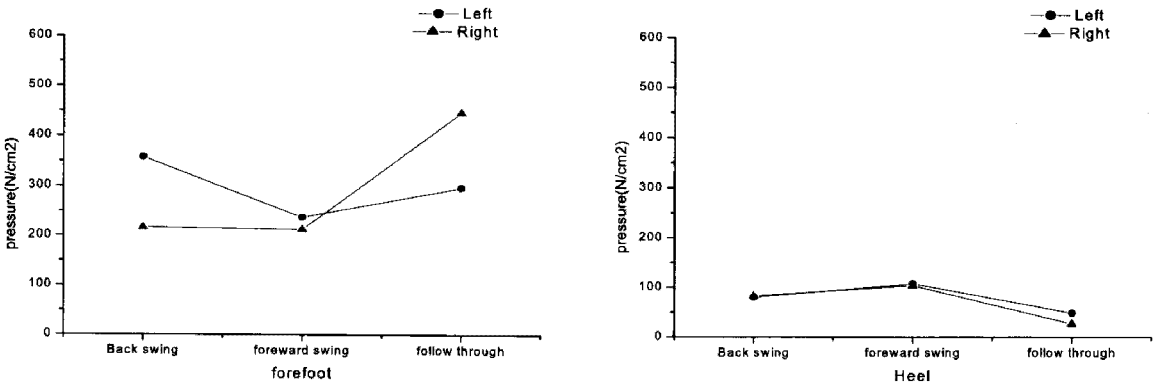


그림 6. 스퀘어 스탠스 조건 시 세 구간에 나타난 최대 발바닥 압력의 평균 값



나타났다. 활로우스루 구간에서는 퍼 워드 스윙구간 이후 지속적으로 오른발 앞발의 최대 압력 값이  $389.43 \pm 261.26 \text{ N/cm}^2$  증가하는 것으로 나타나, 임팩트 이후 체중이 오른발로 옮겨지는 것으로 나타났다.

스퀘어 스탠스 조건에 따른 테니스 포 핸드 동작은 크로즈드 스탠스와 비슷한 유형으로 스윙초기 주로 왼발에 의하여 진행하여 임팩트시 왼발에 체중이 실리어 임팩트가 이루어지나 이후 다시 오른발로 체중이 이동되는 경향을 나타내고 있다. 백스윙 구간에 나타난 영역별 평균 최대 발바닥 압력을 값을 살펴보면, 초기 백스윙 시 가장 많이 사용하는 발바닥 영역은 앞발 영역으로 나타났다. 최대 발바닥 압력의 평균 값은 왼발  $357.25 \pm 126.00 \text{ N/cm}^2$ 와, 오른발  $216.53 \pm 86.46 \text{ N/cm}^2$ 으로 나타나, 세 영역 중 가장 큰 발바닥 압력 값은 앞발 영역에서 나타났으며, 왼발 영역이 오른발 영역보다 높게 나타났다. 스퀘어 스탠스 조건 역시 왼발 앞발 영역에서 최대 발바닥 압력 값을 나타냄으로써 왼발의 앞쪽 발바닥 영역이 백스윙 동작 시 중요한 역할을 수행한다고 할 수 있다. 포 워드 스윙 구간에서는 앞발 영역을 중심으로 왼발은  $237.45 \pm 129.03 \text{ N/cm}^2$ 으로 그 역할이 점차 감소( $-120 \text{ N/cm}^2$ )되는 경향을 나타내고 있으나 오른발의 경우  $212.49 \pm 112.65 \text{ N/cm}^2$  나타나 스윙 초기의 발바닥 압력 최고값을 유지하는 경향을 나타냈다. 이후 임팩트(71%) 시점까지 체중이 위쪽방향으로 이동하면서 임팩트가 이루어지고 있으나 오른발( $111.37 \pm 117.88 \text{ N/cm}^2$ )보다 왼발( $152.34 \pm 86.23 \text{ N/cm}^2$ )에 더 많은 체중이 실려 있음을 알 수 있다. 활로우스루 구간에서는 퍼 워드 스윙구간 이후 지속적으로 오른발 앞발의 최대 압력 값이  $446.29 \pm 269.39 \text{ N/cm}^2$  증가하는 것으로 나타나, 임팩트 이후 체중이 오른발로 옮겨지는 것으로 나타났다.

## 2. 세 가지 스탠스 조건에 따른 발바닥의 수직 힘

세 가지 스탠스 조건(조건 1: 오픈 스탠스, 조건 2: 크로즈드 스탠스, 조건 3: 스퀘어 스탠스)에 따른 왼발과 오른발의 테니스 스윙동작의 전체 구간에서 발바닥 평균 수직 최대 발바닥 힘 값은 오픈

스탠스 <그림 7>, 크로즈드 스탠스 <그림 8>, 그리고 스퀘어 스탠스 <그림 9>에 나타내었다. 각각의 그래프는 전체 동작 구간을 시간 축에 대해 100%의 백분율로 정규화(normalization)하여 나타내었으며, 왼쪽 그래프가 왼발의 평균 수직 발바닥 힘 값, 오른쪽 그래프가 오른발의 평균 수직 발바닥 힘을 각각 나타내었다. 그래프를 중심으로 상하 실선은 표준편차를 나타내고 있다.

오픈 스탠스의 경우 준비자세 동작에서 백스윙(46% 구간) 동작을 시작하여 오른발과 왼발이 교차하여 스텝이 진행되고 이 때 오른발의 평균 수직 최대 힘 값은  $348.75 \pm 198.03 \text{ N}$ 으로 나타났으며, 왼발의 평균 수직 최소 힘 값은  $116.04 \pm 21.93 \text{ N}$ 으로 나타났다. 포 워드 스윙 구간에서는 오른발이 중심으로 동작이 진행되어 오른발의 평균 수직 최대 힘 값이  $465.08 \pm 143.46 \text{ N}$ 을 나타내고 있으며, 이때 왼발의 평균 수직 힘 값은  $119.79 \pm 38.88 \text{ N}$ 으로 나타나 임팩트 시점까지 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 임팩트(69% 시점) 역시 오른발을 중심으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 활로우스루 스윙 구간(69% 이후) 역시 오른발의 중심으로 동작이 진행되어 체중이 그대로 오른발에 실려 있음을 잘 나타내고 있다. 또한 임팩트 시점(69% 시점)을 전후 하여 오른발의 수직 힘 값의 증감을 잘 나타내고 있으며, 왼발의 경우 임팩트 이후에도 수직 힘 값이 계속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

크로즈드 스탠스의 경우 준비자세 동작에서 백스윙(41% 구간) 동작이 진행되는 동안 지속적으로 오른발에 체중이 실려 있는 경향을 나타내고 있으며, 이때의 오른발의 평균 수직 최대 힘 값은  $319.61 \pm 83.81 \text{ N}$ , 왼발의 평균 최소 수직 힘 값은  $137.57 \pm 79.75 \text{ N}$ 으로 나타났다. 포 워드 스윙구간(66% 구간)에서는 오른발의 평균 수직 힘 값이  $111.72 \pm 64.95$ 으로 급격히 감소되는 반면에 왼발의 평균 수직 힘 값이  $333.25 \pm 78.53 \text{ N}$ 으로 증가하여 임팩트(66% 시점) 역시 왼발을 중심으로 이루어지고 있음을 나타내고 있다. 활로우스루 스윙

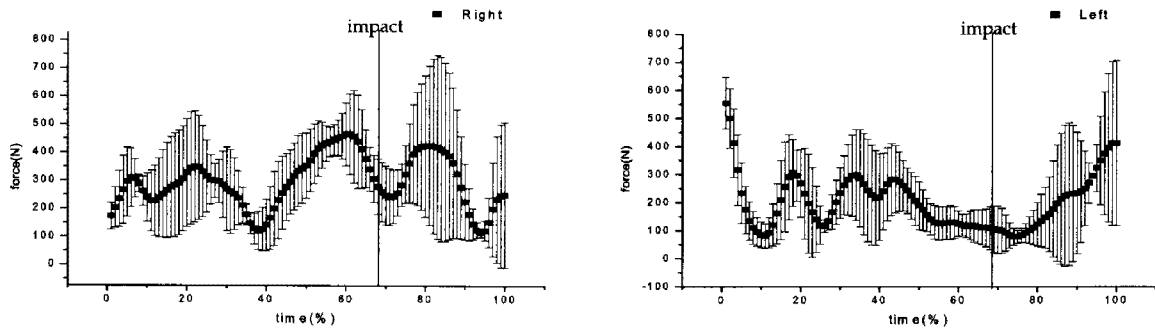


그림 7. 오픈 스탠스 시 평균 수직 힘 곡선

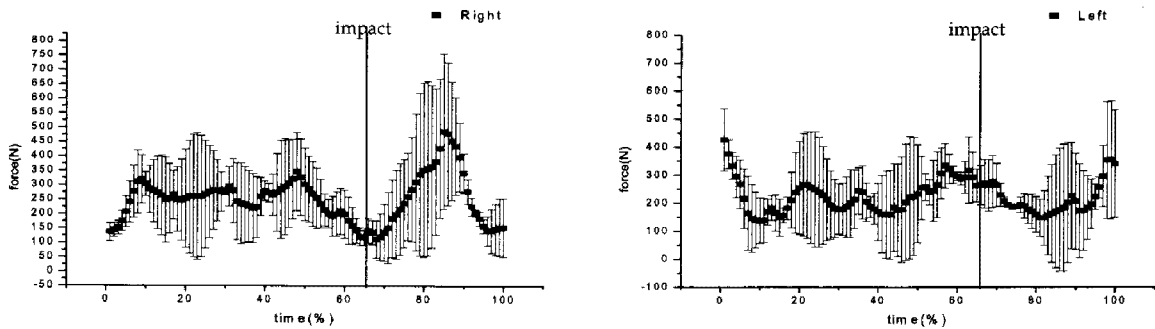


그림 8. 크로즈드 스탠스 시 수직 평균 힘 곡선

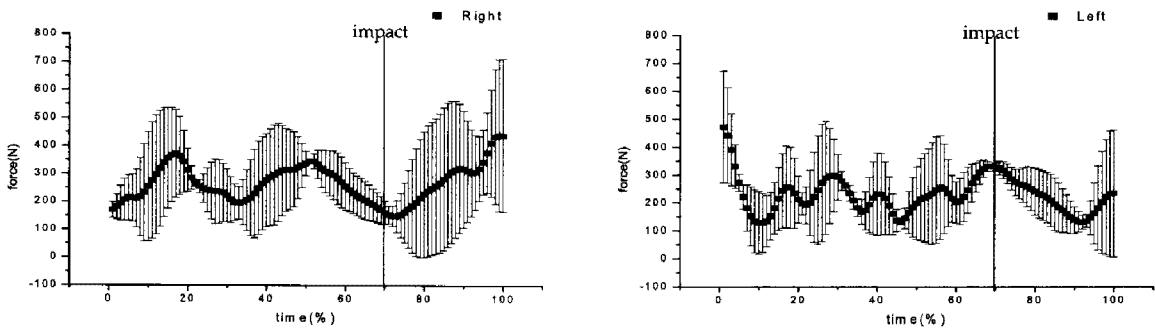


그림 9. 스퀘어 스탠스 시 수직 평균 힘 곡선

동작 구간에서는 임팩트시 감소되었던 오른발의 평균 수직 힘 값이  $486.79 \pm 269.86\text{N}$ 까지 증가되는 반면에 왼발의 평균 수직 힘 값이  $147.77 \pm 97.05\text{N}$ 까지 감소하여 오른발이 중심되어 활로스로우 동작이 이루어지는 것을 나타내고 있다.

스퀘어 스탠스의 경우 준비자세 동작에서 백스윙(44% 구간) 동작을 시작하고 나서 오른발 스텝 이동에 의한 오른발의 평균 수직 힘 값이  $371.34 \pm 157.34\text{N}$ 까지 점차 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 반면에 왼발의 경우 평균 수직 힘 값이  $128.18 \pm 112.67\text{N}$ 까지 감소하는 경향을 나타내

백스윙이 오른발 중심으로 이루어지고 있음을 알 수 있으며, 포워드 스윙 구간에서는 오른발이 중심이 되어 포워드 스윙 동작이 이루어지면서 점차 오른발의 평균 수직 힘 값이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이때의 오른발의 평균 수직 힘 값은  $344.75 \pm 26.65\text{N}$ 까지 증가하였으며, 왼발의 경우 평균 수직 값  $131.32 \pm 8.40\text{N}$ 까지 감소하였다. 이후 다시 왼발의 수직 힘 값이  $331.97 \pm 4.84\text{N}$ 으로 증가하면서 임팩트(70% 구간)가 이루어지면서 오른발의 수직 힘 값이  $148.01 \pm 37.22\text{N}$ 까지 감소하는 것으로 나타났다. 활로스로우 스윙구간에서는

왼발에서 다시 오른발로 스텝이 이동되면서 다시 왼발의 수직 힘 값이 감소하고, 오른발의 수직 힘 값이 증가하는 경향을 나타내었다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 테니스 포핸드 스트로크 동안 크로즈드, 스퀘어, 오픈 스탠스 유형에 따른 발바닥 압력 분포의 변화를 조사하는데 두었다. 오픈 스탠스의 경우 왼발 앞발 영역 압력 값이 전체동작 구간 중 백스윙 구간에 비교하여 보면 포워드 스윙 구간에 급격히 감소되는 경향을 나타내며, 오른발 영역에서 전체구간 중에 평균 최대 압력 값을 나타내면서 압력이 전이되는 경향을 나타내어 체중이 왼발에서 오른발로 이동되는 것을 잘 나타내고 있다.

임팩트 순간에는 체중의 중심이 위로 이동되면서 발바닥 전반의 압력이 감소하는 경향으로 나타났으며, 크로즈드 스탠스와 스퀘어 스탠스 조건의 경우 전반적으로 퍼 워드 스윙시 오른발이 스윙의 중심이 되나 임팩트시에는 체중이 배분이 왼발 쪽에 위치하는 것으로 나타났다. 또한 활로스로우 스윙 동작의 주된 발바닥 영역 역시 앞발(forefoot) 영역으로 나타났으며, 활로스로우 스윙시 중심이 되는 주된 발은 임팩트 이후 다시 오픈스탠스의 경우 오른발의 역할이 크로즈드, 스퀘어 스탠스의 경우 왼발의 역할이 두드러지게 증가하고 있음을 살펴볼 수 있다. 본 연구 결과를 살펴볼 때 첫 번째 가설인 포핸드 스트로크 동안 크로즈드 스탠스의 발바닥 압력은 왼발에 보다 크게 분포될 것이라는 기각되었으며, 연구 결과는 크로즈드 스탠스의 발바닥 압력은 스퀘어 스탠스와 유사하게 오른발에서 왼발로 이동되는 것으로 나타났다. 두 번째 가설인 포핸드 스트로크 동안 스퀘어 스탠스의 발바닥 압력은 오른발에서 왼발로 이동되면서 분포될 것이라는 채택되었다. 세 번째 가설인 포핸드 스트로크 동안 오픈 스탠스의 발바닥 압력은 오른발에 보다 크게 분포될 것이라는 채택되었다.

앞으로의 연구는 테니스 퍼핸드 스트로크 시 사

용되는 스탠스 유형의 변화에 따른 족저 압력을 분포 연구와 더불어 이 때 사용되는 하지의 근 활동 양상의 변화를 비교 연구한다면, 테니스 퍼핸드 스트로크를 이해하는데 보다 도움이 될 것이라고 사료된다.

#### 참고 문헌

- 강영택(2000). 테니스 포핸드시 밀어치기와 때려치기의 운동학적 분석, 부산대학교 대학원 석사학위논문
- 이성철, 이세용(1997). 압력분포 측정기(Pedar system™)와 지면반력 측정기의 지면반력에 관한 비교분석. 제35회 한국체육학회 학술발표회 논문집. pp. 793-798.
- 이의린, 김승재(1998). 골프스윙 연구를 위한 신발 안창형 발바닥 압력 분포 자료의 분석법 제안. 연세대학교 체육연구논문집, 5(1), 171-185.
- Alexander, I. J., Chao, E. Y. S., & Johnson, K. A. (1990). The assesment of dynamic foot-to-ground forces and plantar pressure distribution: A review of the evolution of current techniques and clinical application. *Foot & Ankle*, 11, 3, 152-167.
- Bahamonde, R.E., & Knudson, D.(2003). Kinetics of the upper extremity in the open and squire stance tennis forehand, *Journal of Science Medicine Sport*, 6(1):88-101.
- Baker, J.A, & Putnm, C,A.(1979). Tennis racket and ball responses during impact under clamped and free standing condition, *Resesarch Quartely*, Vol. 50, No. 2, 164-170.
- Cavanagh, P. R., Hewitt, F. G., Perry, J. E. (1992). In-shoe plantar pressure measurement: a review. *The Foot*, 2, 185-194.
- Hennig, E.M., & Milani, T.L.(1995). In-shoe pressure distribution for running in various types of footwear. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 299-310.
- Hennig, E. M. & Sanderson, D. J. (1995). In-shoe pressure distributions for cycling with two types of footwear at different mechanical loads. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 68-80.
- Gheluwe, B. V., & Nelen. B.(1999). Plantar foot pressure of Lower Leg Amputees During Gait and Running *International Society of Biomechanics Fourth sym-*

- posium on footwear Biomechanics* 46-47.
- Knudson D., & Blackwell J.(2000). Trunk muscle activation in open stance and square stance tennis forehands, *International Journal of Sports Medicine*, 21(5); 321-324.
- McLaughlin, W.(2004). Coaching Tennis Successfully. 2nd ed. United States Tennis Association, *Human Kinetics Publishers*, Inc.
- Reinschmidt, C.(1996). *Normalization function in KineMat*. ISB Web site.
- Roetert P., & Groppe, J.(2001) World-Class Tennis Technique. *Human Kinetics Publishers*, Inc.
- Rosenbaum, D., Hautmann, S., Gold, M., & Class, L. (1994). Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture*, 2, 3, 191-197.
- Winter, D.A.(1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement. (2nd ed.)*. NewYork: John Wiley & Sons.

투 고 일 : 04월 30일

심 사 일 : 05월 10일

심사완료일 : 05월 17일