



스쿼시 백핸드 드라이브 동작시 상지 분절의 운동학적 변인 분석

The Kinematic Analysis of the Upper Extremity during Backhand Stroke in Squash

안용환(건국대학교) · 류지선(한국체육대학교) · 류호영 · 소재무 · 임영태*(건국대학교)
An, Yong-Hwan(Konkuk University) · Ryu, Ji-Seon(Korea National Sport University) ·
Ryu, Ho-Young · Soo, Jae-Moo · Lim, Young-Tae* (Konkuk University)

ABSTRACT

Y. H. AN, J. S. RYU, H. Y. RYU, J. M. SOO, and Y. T. LIM, The Kinematic Analysis of the Upper Extremity during Backhand Stroke in Squash. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 17, No. 2, pp. 145-156, 2007. The purposes of this study were to investigate kinematic parameters of racket head and upper extremities during squash back hand stroke and to provide quantitative data to the players. Five Korean elite male players were used as subjects in this study. To find out the swing motion of the players, the land-markers were attached to the segments of upper limb and 3-D motion analysis was performed. Orientation angles were also computed for angular movement of each segment. The results were as follows.

1) the average time of the back hand swing (downswing + follow-through) was 0.39s (0.24 s + 0.15 s). 2) for each event, the average racket velocity at impact was 11.17m/s and the velocity at the end of swing was 8.03m/s, which was the fastest swing speed after impact. Also, for each phase, 5.10m/s was found in down swing but 7.68m/s was found in follow-through. Racket swing speed was fastest after the impact but the swing speed was reduced in the follow-through phase. 3) in records of average of joints angle, shoulder angle was defined as the relative angle to the body. 1.04rad was found at end of back swing, 1.75rad at impact and it changes to 2.35 rad at the end of swing. Elbow angle was defined as the relative angle of forearm to upper arm. 1.73rad was found at top of backswing, 2.79rad at impact, and the angle was changed to 2.55rad at end of swing. Wrist angle was defined as the relative angle of hand to forearm. 2.48rad was found at top of backswing, 2.86rad at impact, and the angle changes to 1.96rad at end of swing.

As a result, if the ball is to fly in the fastest speed, the body has to move in the order of trunk, shoulder, elbow and wrist (from proximal segment to distal segment). Thus, the flexibility of the wrist can be very important factor to increase ball speed as the last action of strong impact.

In conclusion, the movement in order of the shoulder, elbow and the wrist decided the racket head speed and the standard deviations were increased as the motion was transferred from proximal to the distal segment due to the personal difference of swing arc. In particular, the use of wrist (snap) may change the output dramatically. Therefore, it was concluded that the flexible wrist movement in squash was very important factor to determine the direction and spin of the ball.

KEYWORDS : SQUASH, BACK HAND, KINEMATICS, RACKET, SWING

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

스쿼시(squash)는 다른 스포츠 종목과는 다르게 단위 시간당 운동량이 매우 높고 기후나 계절에 관계없이 전천후로 쉽게 접할 수 있는 전신운동의 특성을 갖고 있다(김원관, 최인수, 박경실, 윤태훈, 2000). 최근에는 세계적으로 일반인들에게 보급되면서, 정신적, 육체적으로 최대의 만족감을 보장하는 스포츠로, 현대 사회에서는 누구나 하고 싶어 하는 종목으로 자리를 잡고 있다(Yarrow, 2002). 국내에 스쿼시가 도입된 1980년대 후반 이래, 많은 시행착오를 거치면서 대한 체육회 정식 종목으로 성장하였으며, 대외적으로는 1998년 방콕 아시안게임부터 정식 종목으로 채택되었고 2012년 올림픽에도 채택될 전망으로 있기 때문에 200년의 스쿼시 역사가 근래에 새롭게 태어나고 있다.

스쿼시는 사면으로 된 코트 안에서 상대의 취약점을 이용하여 자기가 의도하는 방향으로 볼을 보내거나, 상대의 실수를 득점으로 유타시켜 승·패를 가리는 경기이다(김원관, 최인수, 박경실, 1998; 곽한병, 박경실, 1999). 특히 민첩성, 지구력, 순발력 등 다양한 체력요소와 함께 심리적으로 안정된 상태에서 고도의 전문적인 테크닉과 전술, 빠른 예측력과 판단력이 게임에서의 승패를 좌우하기 때문에 신체적, 심리적, 기술적 변인 등 복합적인 상호작용에 의하여 경기가 진행된다(강민완, 박경실, 1999; 김원관, 최인수, 1999; 김원관 등, 2000; 곽한병, 박경실, 박성준, 2000; 박경실, 박성준, 2001).

스쿼시 경기의 주요 기술은 드라이브(drive), 드롭(drop), 발리(volley), 보스트(boost), 로브(lob)로 나누어지고, 이중에서 드라이브의 기본 기술은 크게 포핸드 드라이브와 백핸드 드라이브로 나눌 수 있다. 경기 전술 분석에서 보면 5가지 기본 기술 중 드라이브 기술은 전체 샷의 60%로서 경기 전반의 흐름을 이끌어 가는 것으로 나타났으며, 승부를 결정짓는 샷으로는 드라이브 기술이 34%, 드롭성 기술이 39%를 차지하는 것으로 알려졌다. 또한 드라이브 기술에서는 포핸드 드라

이브의 빈도가 41%로 나타난 반면에 백핸드 드라이브는 59%로 백핸드 드라이브에서의 공격 비율이 더 크다고 보고하였고, 이중에서도 특히 백핸드 뒷벽 쪽에서의 랠리가 가장 많은 것으로 보고하였다(Hong, Thomas & Daniel, 1996).

포핸드 드라이브는 비교적 공간 활용이 크고, 자연스러운 코킹에 의한 부드러운 스윙을 할 수 있기 때문에 라켓 헤드의 속도를 크게 할 수 있을 뿐만 아니라, 동작이 비교적 용이하다. 포핸드 스트로크의 운동학적 분석에서 보면 일반적으로 볼이 최적의 속도로 날아가기 위해서는 몸통, 어깨, 팔꿈치 그리고 손목의 분절들이 몸의 가까운 쪽에서 먼 쪽으로 순차적인 움직임의 형태를 보임으로써 높은 속도의 타격을 산출하는 것을 주요 요인들로 설명되어 왔다(Elliott, Champion, & Morrison, 1984; Hunt, 1974; Khan, 1992). 특히 이중에서도 전완의 회내(pronation)와 손목의 유연성은 임팩트의 마지막 동작으로서 상당히 중요함을 강조하였다(Woo & Arthur, Chapman, 1991). Chapman(1986)은 높은 수행 능력을 가진 스쿼시 선수들을 촬영한 결과, 타격 후 공의 속도 변화의 90%가 타격 순간 라켓의 일정한 각속도에 의해서 결정된다고 보고하였다.

Elliott, Marshall, Noffal(1996)이 연구한 포핸드 드라이브의 상지 분절에 따른 라켓 헤드 스피드 기여도에서 상완은 내측 회전(internal rotation)이 46.1%, 손목 관절에서 손의 굴곡(flexion)이 18.2%, 팔꿈치관절에서 전완의 회내(pronation)가 12%의 특성을 보이며, 임팩트 순간 라켓 헤드의 중심속도가 평균 30.8m/s로 나타난다고 보고하였다. 이에 반해 일반적인 백핸드 스트로크를 분석한 Behm(1987)에 의하면, 신체운동학적인 관점에서 특별한 근력 훈련 프로그램을 통하여 라켓 헤드 속도와 임팩트 후 볼의 속도는 향상되어진다고 보고하였다. Hong, Li & Chu(1995)는 이러한 기술들을 수행하는데 있어서 중요한 요소가 임팩트 되어진 볼의 속도로서 이러한 운동 수행을 하기 위해서는 라켓을 일정각도로 빨리 끌어내리는 동작이 필요하다고 하였다. 이것은 전완과 라켓 샤프트와의 관계를 손목의 코킹 각(wrist cocking angle)이라고 정의 하여 표현할 수 있다. Hong, Li & Chu(1995)가 연구한 국제 스쿼시 경기에서 세계적인 우수 선수들의 백핸드 스트로크의 운

동학적 분석에서 살펴보면 신체 관절과 라켓 헤드의 각속도나 직선속도의 변화는 개인적인 차이에 의하여 조금씩 다르지만, 임팩트 순간 라켓 헤드의 속도 변화는 몸통, 어깨 그리고 팔꿈치의 상호 작용을 바탕으로 종합적으로 만들어진다고 보고하였다.

이처럼 스쿼시 경기는 포핸드보다 백핸드에서 더 많은 공격과 랠리로 그 중요함이 강조되고 있음에도 불구하고, 백핸드 드라이브에 관한 역학적인 분석은 미비한 실정이다. 특히, 공격성향이 아주 강한 슬라이스에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 이 연구는 백핸드 슬라이스의 운동학적 특성과 그에 따른 라켓 헤드의 스피드를 분석함으로써 백핸드 드라이브에 대한 정량적 분석의 필요성이 요구된다.

2. 연구의 제한점

본 연구를 수행함에 있어서 다음과 같이 연구의 제한점을 두었다.

- 1) 본 실험은 시합 상황이 아닌 실험 상황으로 피험자를 오른손잡이로 선정하였다.
- 2) 실험 대상자는 개인의 특성에 따라 라켓의 질량(mass), 줄의 강도(string tension) 그리고 라켓의 유연성(flexibility)에 관한 변수는 고려하지 않았다.
- 3) 인체의 분절들은 서로 연결된 강체계(linked rigid body system)로 간주하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구에 동원된 피험자는 대한 스쿼시 연맹에 선수 등록이 되어 있으며, 최근 3년간 전국대회에서 입상 경력이 있는 남자 프로 선수 5명으로 하였다.

동원된 피험자 5명은 경기 수행에 있어서 본인의 라켓으로 모든 스트로크를 완전하게 구사할 줄 알고 평소 오른손을 사용하는 선수들이다. 대상자들의 신체적

표 1. 대상자의 특성

대상자명	신장(cm)	체중(kg)	시합경력(yr.)
KDJ	173	63	10
AYH	180	85	5
HJK	180	73	5
CJK	178	60	4
SCW	172	64	4

특성은 <표 1>과 같다.

2. 실험 절차

스쿼시 백핸드 스윙 동작을 촬영하기 위하여 스쿼시 코트는 밖에서 코트 안을 들여다 볼 수 있는 특수 아크릴로 제작되어져 있는 국제 정규 규격의 스쿼시 코트를 선정하였다.

촬영 및 영상 분석을 위하여 JVC GR-HD1KR video camera 3대를 사용하였으며, frame rate은 60 frame/sec로 노출시간은 1/500s로 설정하였다.

3대의 비디오카메라는 다음의 그림과 같은 지점에 삼각대로 고정시킨 다음 카메라의 필드 안에 전체동작, 통제점 틀, 램프 인디케이터 등이 모두 들어올 수 있도록 <그림 1>와 같이 설치하였다. 이때 실 공간 좌표를 설정하기 위해 피험자의 전체동작이 관찰될 수 있도록 실험 공간에 높이 2m, 길이 2m, 폭 2m의 통제점 틀(총 162 point)을 동작이 이루어지는 중앙을 중심으로 설치하였다. 그 후 통제점 틀을 촬영한 다음 이를 제거한 후 본 실험을 실시하였다.

또한 실제 경기 상황이 아닌 실험 상황이기 때문에

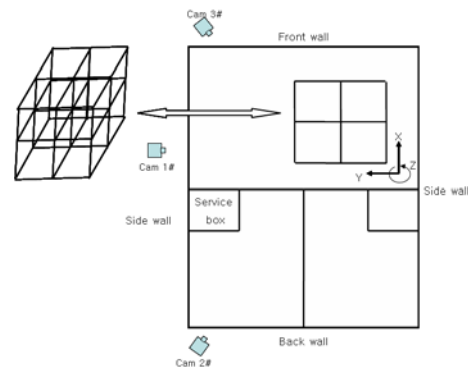


그림 1. 실험 및 장비 배치도

선수들이 실험 조건에 익숙할 수 있도록 충분한 연습을 시킨 후 촬영하였다. 피험자들은 촬영된 통제점들이 있던 자리에서 앞에서 던져주는 코치의 볼을 스트로크 하여 그 볼이 턴 보드에 가장 근접하게 낮은 앞벽을 맞고 바운드가 두 번째 되는 시점이 뒷벽과 바닥이 만나는 사각(死角)지역으로 가깝게 들어왔을 때를 성공이라고 가정하였고, 성공한 스트로크 중 코치와 선수 모두 가장 좋은 스윙을 했다고 생각했을 때의 시기를 분석용으로 선택하였다. 한 사람에게서 각 2회 씩, 총 10회의 성공 시기를 분석하였다.

3. 자료 분석 방법

본 연구의 영상분석 자료처리는 Kwon3D 3.1 software (Visol, Korea, 2002)를 사용하였으며, 구체적인 방법은 다음과 같다.

1) 좌표화

좌표화는 영상으로 나타나는 표시점의 위치를 실제 공간상의 좌표값으로 변화시키는 과정으로 이러한 좌표화는 기준 공간을 좌표화하는 통제점 좌표화와 공간 상에서 실제로 움직이는 인체관절 중심점에 대한 좌표로 나누어진다. 통제점 좌표화에서는 통제점 틀에 표시되어 있는 162개의 통제점을 5번 반복 디지털이징하여 평균값을 파일로 저장하여 사용하였고, 여기서 발생한 오차는 0.49cm로 나타났다. 좌표축의 설정은 <그림 1>과 같으며 통제틀 내에서의 운동 전·후(운동진행) 방향을 X축, 좌·우 방향을 Y축, 상·하 방향을 Z축으로 설정하였다.

본 실험에 들어가기 전에 촬영된 영상에서 각 관절점이 잘 보이도록 하기 위해 각 피험자들에게 인체 각 관절의 경계점에 지름 2cm의 반사 랜드 마크(reflection landmark)를 부착하였다. 백핸드 슬라이스 스윙 시 상지 분절들의 해부학적 움직임(상완의 굴곡(flexion)/신전(extension),내전(adduction)/외전(abduction), 내측 회전(internal rotation)/외측 회전(external rotation)과 전완의 굴곡/신전, 회내(supination)/회외(pronation), 그리고 손의 굴곡/신전, 내전/외전)의 운동학적 분석을 위해서 신체에 16개의 마크들(M1~M16)을 <그림 2>와

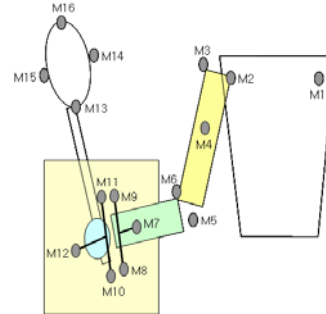


그림 2. 랜드 마크 부착 지점

같이 부착하였다. 부착한 위치는 왼쪽 어깨 관절 내측에 한 개, 오른쪽 어깨 관절 내, 외측에 각각 한 개, 상완의 중간 부분에 한 개, 팔꿈치 내·외측에 각각 한 개를 붙였으며, 임팩트 시 손목, 전완의 움직임을 정밀하게 파악하고자 양끝과 중심에 랜드 마크가 붙은 T자형 막대 2개를 특수 제작하여 전완과 손등에 부착하였다. 또한 라켓은 헤드에 하나, 목에 하나, 양쪽 사이트에 각각 하나씩 총 4개의 랜드 마크를 부착하였다.

2) 3차원 좌표의 계산

디지털이징(digitizing)하여 2차원 좌표를 얻은 후 3차원 좌표를 산출하기 위해 이미 알고 있는 통제점 틀의 공간 좌표를 활용하는 DLT(Direct Linear Transformation: Abdel-Aziz & Karara, 1971)방법을 사용하였다. 3대의 카메라에서 얻은 정보를 3차 스플라인 함수(cubic spline function)를 이용하여 0.01667초 간격으로 보간(interpolation)하여 동조(synchronization)하였다. 이 연구에서는 램프 인디케이터에 불빛이 들어오는 프레임을 택하여 그 프레임을 동조 이벤트(sync. event)로 동조시키는 방법을 실행하였다. 3차원 좌표에 포함되는 디지털이징 오차와 기자재 자체에 의해 생기는 노이즈(noise)를 제거하기 위하여 Butterworth의 2차 저역 통과 필터(low-pass filter)를 사용하여 스무딩(smoothing)하였고, 이 때 차단 주파수(cut-off frequency)는 5Hz로 설정하였다.

4. 분석 구간

스쿼시 백핸드 드라이브 동작의 운동학적 분석을 위

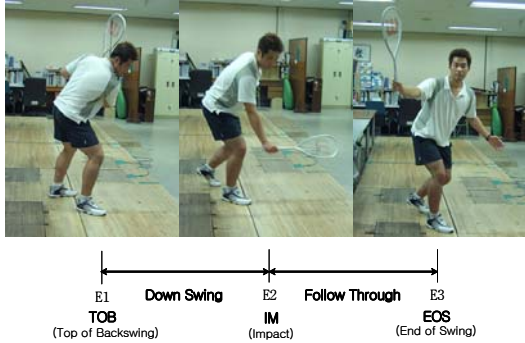


그림 3. 분석 국면

해 <그림 3>와 같이 분석 구간을 설정하였다.

1) Event

- (1) Tob of Backswing (TOB, E1) : 라켓이 드라이브를 하기 위하여 백스윙 정점에 올라온 시점
- (2) Impact (IM, E2) : 임팩트 시점
- (3) End of Swing (EOS, E3) : 임팩트 후 팔로우 스윙이 끝나는 시점

2) Phase

- (1) Down Swing : E1에서부터 E2까지의 구간
- (2) Follow Through : E2에서부터 E3까지의 구간

5. 분석 변인

이 연구의 분석 변인은 크게 시간요인, 속도 요인, 각도 요인으로 구분할 수 있으며, 구체적인 내용은 다음과 같다.

1) 변인 분석

(1) 시간 요인

시간요인은 백스윙 정점에서부터 팔로우 스로 종점까지 라켓 중심의 각 국면별 소요시간을 분석하였고 그 계산 방법은 다음과 같다.

$$T = (\text{마지막 국면 프레임 수} - \text{시작 국면 프레임수}) \times 0.01667\text{sec} \quad (\text{수식 1})$$

(2) 속도 요인

속도 요인은 백스윙 정점에서부터 팔로우 스로 종점까지 라켓 중심의 각 국면별 합성 속도를 분석하였고 그 계산은 유한차 방법으로 하였다.

$$V_i = \frac{P_{i+1} - P_{i-1}}{2\Delta t} \quad (\text{수식 2})$$

단, P_{i+1} : $i+1$ 번째 프레임의 위치

P_{i-1} : $i-1$ 번째 프레임의 위치

t : 프레임 사이의 시간 간격

2) 각도 변인

(1) 관절각 요인

관절각은 상완의 어깨, 팔꿈치 그리고 손목으로 <그림 4>와 같이 정의하였으며, 이벤트별과 국면별로 나누어 분석하였다.

(2) 분절각 요인

분절 각도 요인은 상완의 굴곡/신전, 내전/외전, 내

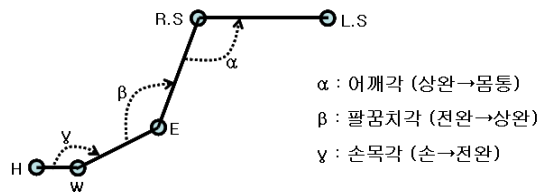


그림 4. 관절각 정의

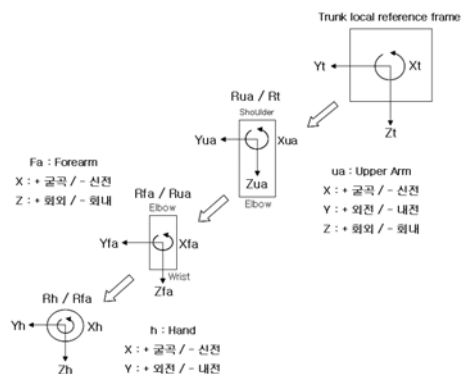


그림 5. 지역 좌표계 설정 및 각 분절 회전각 정의 (우측 측면)

/외측 회전, 전완의 굴곡/신전, 회내/회외, 손의 굴곡/신전, 내전/외전에 대하여 분석했으며, 각 분절의 각도 정의는 <그림 5>와 같다. 이때 각 분절의 회전각 (orientation angle) 계산은 Cardan angle 방법을 이용하였다.

III. 결과 및 논의

본 연구는 스쿼시의 이상적인 백핸드 스윙의 모형을 제시하기 위하여 상지 분절들의 백스윙 정점에서부터 팔로우 스로까지의 운동학적 특성을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 시간 요인

스쿼시 백핸드 스윙에서의 평균 소요 시간은 다운스윙(DS)이 0.24초, 팔로우 스로(FT)는 0.15초로 나타났다. DS 국면에서 평균 시간이 FT 국면 보다 긴 이유는 피험자들이 최상의 스트로크 조건을 만들기 위하여 백스윙 정점에서 준비 자세를 취한 후 공이 타격하기 좋은 지점으로 근접해 오기까지를 기다린 결과에 의한 것으로 판단되고, 팔로우 스로에서는 라켓이 임팩트 이후 계속 진행하고 있다는 점과 스쿼시에서 선호되는 간결한 팔로우 스로 동작을 위하여 0.15초라는 시간이 측정된 것으로 생각된다. 백핸드 스윙의 전체적인 소요 시간은 0.39초로 매우 빠른 운동 수행을 하는 것으로 나타났다.

2. 속도 요인

Event별 라켓의 속도 변인은 백스윙 정점에서 3.12m/s로 나타났고 임팩트 시에는 평균 11.17m/s로 나타났다. 스윙의 끝에서는 8.03m/s로 임팩트 시점이 가장 빠른 스윙의 라켓 속도를 보여주었다. Elliott, Marshall, Noffal(1996)이 연구한 포핸드 드라이브의 상지 분절에 따른 라켓 헤드 스피드 기여도의 연구에서는 임팩트 순간 라켓 헤드의 중심속도가 평균 30.8m/s

로 나타난다고 보고한 반면, 본 연구에서의 백핸드는 평균 11.17m/s의 속도 변인을 보였는데, 이것은 TOB 준비동작에서 포핸드가 백핸드보다 라켓의 위치가 더 높이가 올라 갈 수 있으므로 DS시 라켓을 더욱 강력하게 몸 쪽으로 끌어당김으로서 백핸드보다는 포핸드가 빠른 속도의 라켓 스피드를 낼 수 있기 때문이라고 사료된다. 선행연구의 경우 빠르고 강한 포핸드 스트로크만을 피험자들에게 수행하게 한 후 분석한 반면에 본 연구에서는 목표 지점을 설정하여 그 안에 들어갈 수 있는 정밀한 목표 타격을 피험자들에게 수행하게 하였기 때문에 선행 연구와는 속도에서 확연하게 차이를 보이는 것으로 판단된다. 또한 포핸드를 연구한 선행연구의 경우 피험자가 서양 선수들이나 반면, 본 실험은 동양인 피험자를 대상으로 하였기 때문에 신체적인 특성에 따른 차이도 일부 결과에 반영되었다고 생각된다.

백핸드 스윙 시 국면별 라켓의 평균 속도는 팔로우 스로에서 7.68m/s로 다운스윙에서의 5.10m/s보다 빠른 것으로 나타났다. 이것은 임팩트를 하기 위하여 내려오는 속도보다는 정확한 임팩트와 함께 순간적인 속도의 증가를 나타내는 것으로 사료되며, 전체적으로는 12.78m/s의 스윙 속도가 나타났다.

3. 각도 요인

1) 상지 관절의 Event별 각도 변화

관절각의 Event별 평균변인은 어깨 각이 TOB에서 1.04rad(59.5°), IM에서 1.75rad(100°), EOS에서 2.35rad(134.3°)으로 스윙이 진행됨에 따라서 점차 신전되는 것을 알 수 있으며, 팔꿈치 각은 백스윙 정점(TOB)에서 손목이 어깨에 1.73rad(98.9°)의 굴곡 형태로 있으나 임팩트 시와 스윙의 끝에서는 신전되어 진행하고 있음을 알 수 있다.

손목은 라켓을 쥐고 있는 손에서부터 전완까지의 각으로서 백스윙의 정점(TOB)에서의 각도가 유지되며 진행되다가 임팩트(IM) 이후 팔로우 스로(FT)에서는 많이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이것은 라켓이 상체 밖으로 넘어가는 것을 인위적으로 막기 위함으로 판단되며, 스윙동작이 마무리 된 라켓을 상체 내에 유지하는 것은 격렬한 운동 수행에 있어서 부상을 방지하고 상대방의

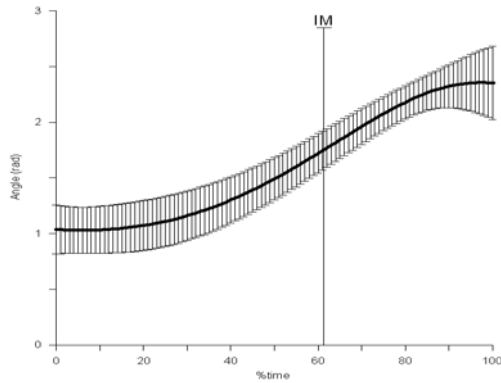


그림 6. 어깨각의 변화

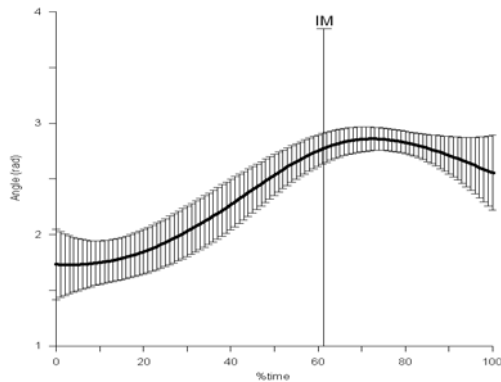


그림 7. 팔꿈치각의 변화

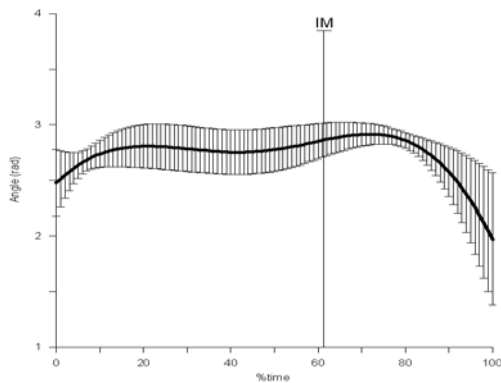


그림 8. 손목각의 변화

스윙이 끝남과 동시에 내 스윙의 준비 동작을 취할 수 있는 가장 빠른 예비 동작이라고 사료된다. <그림 6>, <그림 7>, <그림 8>은 상지관절에 대한 각도변화를 양

상블로 나타낸 것이다.

2) 상지 관절의 Phase별 각도 변화

DS 국면에서 어깨 각도는 최대 1.75rad(100°), 최소 0.10rad(5.7°)으로 범위가 1.65rad(94.3°)으로 나타났고 평균이 1.25rad(71.5°)으로 나타났다. 팔꿈치의 각도는 최대 2.79rad(159.5°), 최소 1.65rad(94.3°)으로 범위가 1.14rad(65.2°)이었으며, 평균이 2.14rad(122.3°)으로 나타났다. 마지막으로 손목의 각도에서는 변화가 최대 2.95rad(168.7°), 최소 2.37rad(135.5°)이었으며, 범위가 0.58rad(33.2°)으로 평균 2.25rad(128.6°)을 나타냈다.

FT 국면에서는 평균 각도 변화에서 어깨 각도가 최대 2.42rad(138.4°), 최소 1.73rad(99°)으로 범위가 0.69rad(39.5°)이었으며, 평균이 2.13rad(121.8°)으로 나타났다. 팔꿈치 각도에서는 최대 2.89rad(165.2°), 최소 2.50rad(143°) 안에서 범위가 0.39rad(22.3°)이었으며, 평균이 2.76rad(157.8°)으로 나타났다. 손목 각도에서는 최대 2.96rad(169.2°) 최소 1.96rad(112°) 안에서 범위가 1.00rad(57.2°)이었으며, 평균이 2.66rad(152°)으로 나타났다.

관절각의 평균 각도 및 표준편차는 그래프에서 알 수 있듯이 어깨 각은 백스윙 정점(TOB)에서 최대로 몸에 가까이 붙임으로서 준비 자세를 충분히 취하고 있으며, 임팩트(IM) 순간까지 각도가 점차 증가하여 팔로우 스로(FI)에서 최대로 증가하는 모습을 볼 수 있다. FT는 라켓이 상체에서 가장 멀리 있는 상태로서 어깨 각이 최대로 신전되는 모습을 보인다. 팔꿈치 각은 백스윙 정점(TOB)에서 굴곡의 모습을 보이다가 IM까지 신전되는 모습을 보였고, IM 이후 최대로 신전되었다가 FT에서 다시 굴곡 되어 라켓을 상체 내에 유지하려는 모습을 볼 수 있다. 손목 각은 TOB에서 라켓을 상체 내로 당기는 모습인 굴곡 된 형태를 보이다가 약간 신전시켜 일정한 각도를 유지하여 IM 시점까지 내려오고, 이후 개인의 특성에 따라 변화가 크게 일어나는 것을 보여준다.

IM이후 FT구간에서 손목의 변화 차이가 심한 이유는 개개인의 차이에 따라서 조금씩 다를 수 있다고 사료되어진다. 예를 들어 두 가지의 가정을 할 수 있는데, 첫 번째로는 IM 타이밍이 정확하여 목표지점으로

볼을 향하게 한 피험자는 팔로우 스로 동작에서 힘을 적절하게 감소시키는 것을 알 수 있었으며, 두 번째는 부정확한 타이밍을 통하여 스윙 동작을 수행한 피험자는 목표 지점으로 공을 보내기 위하여 FT시 라켓을 진행방향으로 미는 운동수행을 하는 것이 큰 이유였다. 이러한 결과는 운동수행이 개개인의 차이에 따라서 목표 지점에 대한 진행은 같으나 수행 과정에 있어서 동작에 대한 미세한 차이를 가져올 수 있다고 사료되어진다. 관찰각의 Event별 평균변인은 어깨 각이 TOB에서 1.04rad(59.5°), IM에서 1.75rad(100°), EOS에서 2.35rad(134.3°)으로 스윙이 진행됨에 따라서 점차 신전되는 것을 알 수 있으며, 팔꿈치 작은 백스윙 정점(TOB)에서 손목이 어깨에 1.73rad(98.9°)의 굴곡 형태로 있으나 임팩트 시와 스윙의 끝에서는 신전되어 진행하고 있음을 알 수 있다.

4. 상지 분절의 3차원 각도 분석

1) 상완 분절의 움직임 변화

상완(Upper Arm)의 회전각 변인 분석은 어깨에서 팔꿈치까지이며 X축(굴곡, 신전), Y축(외전, 내전) 그리고 Z축(내, 외측 회전)로 구분하였다. DS시 상완은 굴곡으로 최대 2.47rad(141.2°), 최소 0.25rad(14.3°)으로 2.22rad(126.9°)의 범위 안에서 1.06rad(60.6°)의 평균값을 가지고 있으며, 최대 0.34rad(19.4°), 최소

0.10rad(5.7°)으로 0.24rad(13.7°)의 외전을 수행하면서 0.18rad(10.3°)이 평균값으로 나타났다. 내측 회전은 최대 1.70rad(97.2°)과 최소 0.80rad(45.7°)으로 0.90rad(51.5°)의 범위에 1.23rad(70.3°)의 평균적인 내측회전을 하는 것을 알 수 있었다. FT 시 상완은 굴곡으로 최대 1.42rad(81.2°)과 최소 0.49rad(28°)으로 0.93rad(53.2°)의 범위를 가지고 있으며, 평균 0.93rad(53.2°)의 굴곡을 하며, 최대 1.08rad(61.7°)과 0.28rad(16°)에서 0.8rad(45.7°)의 평균적인 외전을 하는 것을 알 수 있다. 내측 회전으로 최대 1.54rad(88°)과 최소 0.77rad(44°)에서 0.77rad(44°)의 범위와 평균 1.12rad(64°)의 내측회전을 하는 것을 알 수 있었다. 상완(Upper Arm)의 평균 각도 및 표준편차는 <그림 9> 그래프에서 보듯이 TOB에서는 굴곡으로 시작하여, IM에서 신전하나 EOS에서 다시 굴곡 하는 것으로 보인다.

이러한 이유는 TOB에서 가장 먼저 운동 수행하는 것은 상완으로서 DS동작으로 진행하면서 신전하는 것을 보이나 IM이후부터는 스윙이 진행됨에 따라 몸통이 같이 돌아가면서 다시 굴곡 하는 모습을 보이는 것으로 사료되어진다. 이와 마찬가지로 상완은 몸통과 멀어지는 외전의 움직임을 수행하면서 임팩트 되어지고 FT에서 라켓은 다시 상완과 근접하는 것을 알 수 있다. 내/외측 회전은 TOB에서 힘을 모으기 위하여 라켓이 몸에 근접하는 그래프의 형태를 보이고 있으나 스윙의 시작과 동시에 내측회전을 통하여 IM 되어지며, EOS 지점에서는 개개인의 차이로 인하여 많은 변화가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 피험자들로 하여금 임팩트(IM) 되어진 볼이 뒷벽과 바닥의 사각 지점에 두 번째 바운드가 되는 것을 성공으로 간주하였기에 피험자는 TOB에서 IM까지의 DS구간에서 라켓이 몸통 전면에서 손목이 회전하며 내려온 피험자는 팔로우 스로에서 라켓에 회전을 덜 주어도 목표물에 일치 할 수 있지만, DS시 라켓이 직선적으로 IM 되어진 피험자는 IM 이후 FT까지 라켓의 변화를 통하여 공을 목표물로 보내기 위한 각기 다른 행동이라고 사료되어진다. 따라서 Chapman(1986)이 연구한 스쿼시 선수들의 보고서에 의하면, 공의 속도 변화의 90%가 타격 순간 라켓의 일정한 각속도에 의해서 결정된다는 보고를 하였는데, 이는 대부분의 스쿼시 선수들이 라켓의 질량과 무게와

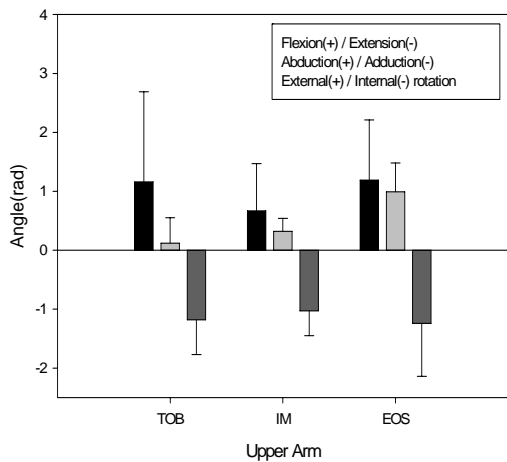


그림 9. 상완(Upper Arm)의 Event별 변화

줄의 강도가 모두 다르고, 개개인이 선호하는 취향의 차이가 다르기 때문에 사료되며, IM순간 볼의 변화에 민감한 스쿼시 운동은 공이 작고 라켓에 IM 되는 시간이 매우 적으므로 스스로가 스윙에 대한 타이밍의 느낌을 알고 있어야 운동 수행이 가능하고, 몇 번의 피드백만으로도 본인이 보낼 수 있는 목표에 가까이 근접할 수 있다면, Chapman(1986)의 보고는 매우 일치하며 긍정적이라고 생각할 수 있다.

2) 전완 분절의 움직임 변화

전완(Forearm)의 회전각 변인 분석은 팔꿈치에서 손목까지로 X축(굴곡, 신전), Y축(회외, 회내)으로 구분하였고 이는 상완에 대하여 상대적으로 나타냈다. DS시 전완은 신전의 운동 수행을 나타냈으며, 최대 0.45(25.7°)rad과 최소 2.98rad(170.3°)의 2.53rad(144.6°)의 범위 안에서 평균 1.47rad(84°)의 평균값을 나타냈으며, 최대 0.96rad(54.9°)의 회외와 0.25rad(14.3°)의 회내 안에서 1.21rad(69.2°)의 범위를 가지고 0.27rad(15.4°)의 평균적인 회외를 나타냈다. FT시 전완은 신전과 회외를 나타내었다. 신전으로는 최대 3.35rad(191.5°)과 최소 2.09rad(119.5°)에서 1.26rad(72°)의 범위를 가지고 평균 2.86rad(163.5°)을 나타내었으며, 최대 0.81rad(46.3°)과 최소 0.01rad(0.6°)으로 0.80rad(45.7°)의 범위 내에서 0.39rad(22.3°)의 평균적인 회외를 한다고 나타냈다.

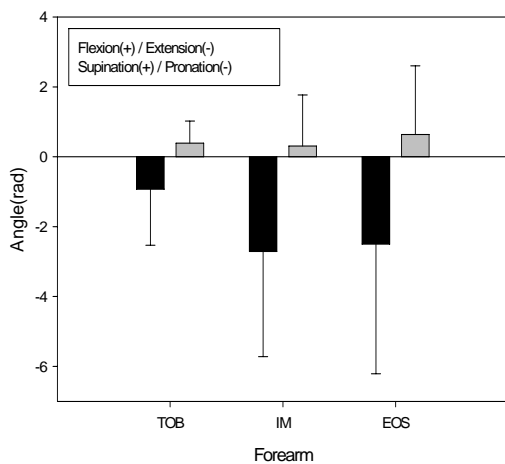


그림 10. 전완(Forearm)의 Event별 변화

전완의 평균 각도 및 표준 편차의 변화에 대한 그래프에서 보면, TOB에서 약간 굴곡 하는 것은 준비 단계에서 전완을 상체에 근접하게 끌어당기면서 힘을 모으는 과정의 한 동작으로 사료되며 IM시점 전까지는 신전하다가 IM 순간 다시 상체 내로 끌어당김으로써 굴곡의 모습을 보인다. 이것은 IM 시점에서 최대의 힘을 얻기 위하여 상체 내로 끌어당기는 것으로 사료되며, IM 이후 EOS로 갈수록 상체에서 멀어지는 동작을 수행함으로써 신전되는 것으로 사료되어진다. <그림 10>의 그래프에서 보듯이 회내/회외는 편차가 매우 큰 것을 알 수 있다.

TOB에서 EOS로 진행할수록 점차 편차가 커지는 가장 큰 이유는 피험자 간 스윙궤도의 개인차로 인한 것으로 판단되는데 특히 손목 분절의 이용(스냅) 차이에 의한 개인차가 가장 크게 작용한 것으로 사료된다. 즉, DS시 라켓을 몸통 전면으로 끌어내리며 임팩트 순간 강한 손목회전을 주는 피험자와 라켓의 회전보다는 직선으로 빠르게 라켓을 끌고 내려오려는 피험자와 같이 각기 다른 개인적 스윙 스타일에 의해 그 편차가 심화된 것으로 사료된다.

이것은 Hong et al. (1995)의 연구에서 보듯이 스쿼시 기술들을 수행하는데 있어서 중요한 요소가 임팩트(IM) 되어진 볼의 속도로서 빠른 스윙을 하기 위해서는 라켓을 일정각도로 신속하게 끌어내리는 동작이 필요하다는 보고와 일치한다. IM 이후 오차 값이 더 커지는 요인은 IM 시점에서 공에 영향을 주는 스핀과 적절한 속도가 개인적으로 모두 틀리기 때문에 그래프에서 편차가 크게 나오는 것으로 사료되어진다. Elliott et al. (1984)는 스쿼시 포핸드 스윙에 있어서 전완의 회내가 IM 마지막 동작으로서는 가장 중요하다고 보고하였는데, 이와 마찬가지로 백핸드 스윙에 있어서는 전완의 회외에 따라서 IM 결과가 다르게 나타날 수 있으며, 그 중요도 또한 높음을 알 수 있다.

3) 손 분절의 움직임 변화

손(Hand)의 회전각 변인 분석은 X축(굴곡, 신전), Y축(내전, 외전)으로 구분하였고 이는 전완에 대하여 상대적으로이다. DS 동작에서 손은 최대 0.84rad(48°)의 굴곡과 최소 1.33rad(76°)의 신전으로 2.17rad(124.1°)의 범

위 안에서 평균 0.24rad(13.7°)으로 신전하였다. 또한 최대 2.77rad(158.4°)과 최소 0.66rad(37.7°)의 범위 안에서 평균 1.64rad(93.8°)으로 내전하는 것을 알 수 있었다. FT 동작에서 손은 최대 0.94rad(53.7°)의 굴곡과 최소 0.95rad(54.3°)의 신전으로 평균 0.06rad(3.4°)으로 굴곡하였다. 또한 최대 4.09(233.8°)rad과 최소 2.06rad(117.8°)에서 2.03rad(116.1°)의 범위를 가지며, 평균 3.14rad(179.5°)으로 내전하는 것을 알 수 있었다.

손의 평균 각도 및 표준 편차의 변화 그래프인 <그림 11>에서 보면, 손은 약간의 굴곡과 내전의 움직임을 보이는 것으로 알 수 있다. 손은 스쿼시 스윙을 하는데 있어서 가장 마지막의 움직임으로서 매우 미세하며, 손과 라켓이 동일한 분절로의 움직임이기 때문에 약간의 변화에도 IM 되어진 공의 움직임이 달라질 수 있다. Elliott et al. (1984)는 손목의 유연성은 IM 마지막 동작으로서 매우 중요하다고 강조하였다. 위의 그래프에서 편차가 큰 것은 개개인의 차이가 크기 때문이지만, 스쿼시 동작에서 마지막으로 오는 손목의 유연한 변화는 공의 방향과 구질을 결정해 준다. 매우 짧은 IM 순간에 손목의 유연성을 원활하게 쓴다는 것은 스쿼시 운동 능력이 뛰어난 것은 물론 기회가 왔을 때 상대를 제압할 수 있는 공격력을 가질 수 있는 것으로 사료되어진다. 이러한 논의는 스쿼시 포핸드에서 Elliott et al. (1984)가 연구한 불이 최적의 속도로 날아가기 위해서는 몸통, 어깨, 팔꿈치 그리고 손목 분절로의 순

서, 즉 근위 분절에서 원위 분절로의 전이와 같은 순차적인 움직임의 형태를 보임으로써 높은 속도의 타격을 산출한다는 연구의 내용을 백핸드 스윙에 있어서도 뒷받침하고 있다고 할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

1. 결론

본 연구는 스쿼시 경기 중 주로 사용되는 백핸드 동작에서 라켓 헤드 및 상지 분절들의 운동학적 변인을 한국 엘리트 남자 선수 5명을 대상으로 백스윙의 정점(TOB)에서부터 스윙의 끝(EOS)까지 촬영한 후 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스쿼시 백핸드 스윙에서의 평균 소요 시간은 0.39 초로서 다운스윙(DS)이 0.24초, 팔로우 스로(FT)는 0.15 초로 나타났다. 다운스윙(DS)에서 평균 시간이 길어진 이유는 백스윙 정점(TOB)에서 준비 자세를 취하며 임팩트(IM)를 위한 기다림의 시간이었으며, 팔로우 스로(FT)에서는 라켓이 임팩트(IM) 이후 계속 진행하고 있다는 점과 간결한 팔로우 스로(FT) 동작을 위하여 매우 짧은 스윙 시간이 나왔음을 알 수 있었다.

2. Event별로는 라켓의 속도 변인이 IM시 평균 11.17m/s로 나타났으며, 스윙의 끝(EOS)에서는 8.03m/s로 임팩트 시 가장 빠른 스윙 속도를 보이는 것으로 나타났다. 또한 국면별로는 다운스윙(DS)에서 5.10m/s인 반면에 팔로우 스로(FT)에서 7.68m/s를 보임으로서 라켓의 스윙 속도는 임팩트(IM) 후에 가장 빨랐지만, 실제 팔로우 스로(FT)에서는 속도가 줄어드는 것을 알 수 있었다.

3. 관절각의 평균 각도의 수치를 알아보면 먼저 어깨 각은 몸통에 대한 상대 각도로서 백스윙 정점(TOB)에서 1.04rad(59.5°), 임팩트(IM)에서 1.75rad (100°), 스윙의 끝(EOS)에서 2.35rad(134.3°)으로 변화였다. 팔꿈치는 전완이 상완에 대한 상대 각도로서 백스윙의 정점(TOB)에서 1.73rad(98.9°), 임팩트(IM)에서 2.79rad(159.5°), 스윙의 끝(EOS)에서 2.55rad(145.8°)으

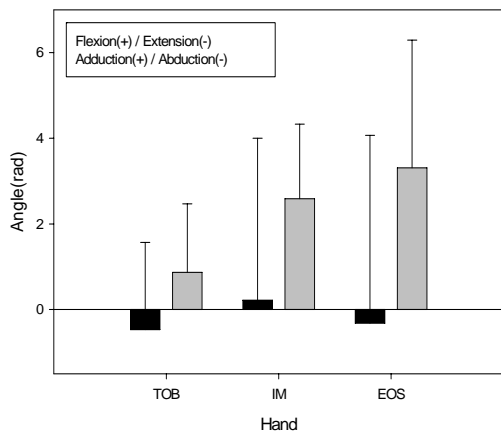


그림 11. 손(Hand)의 Event별 변화

로 나타났다. 마지막으로 손목 각도는 손에 대한 전완의 상대 각도로서 백스윙 정점(TOB)에서 2.48rad(141.8°), 임팩트(IM) 시 2.86rad(163.5°), 스윙의 끝(EOS)에서 1.98rad(113.2°)으로 변화하였다.

4. 볼이 최적의 속도로 날아가기 위해서는 몸통, 어깨, 팔꿈치 그리고 손목 분절 순서로 근위분절에서 원위 분절로의 순차적인 움직임의 형태를 보임으로써 높은 속도의 타격을 산출하였고, 손목의 유연성은 임팩트(IM)의 마지막 동작으로서 매우 중요하다는 것을 강조하였다.

이상을 종합해 보면, 움직임의 진행 방향인 어깨, 팔꿈치, 손목으로의 순차적인 움직임이 라켓 헤드 스피드를 결정하는 것으로 판단되었으며, 작은 분절(원위 분절)들로 진행 될수록 표준편차의 차이가 큰 것으로 나타났다. TOB에서 EOS로 진행할수록 편차가 점차 커지는 가장 큰 이유는 피험자 간 스윙궤도의 개인차로 인한 것으로 판단되는데 특히 손목 분절의 이용(스냅) 차이에 의한 개인차가 가장 크게 작용한 것으로 사료된다. 따라서 스쿼시 동작에서 마지막으로 힘을 전달하는 유연한 손목의 움직임은 공의 방향과 구질을 결정해 주는 가장 주요한 요인으로 판단된다. 매우 짧은 임팩트(IM) 시간에 손목의 유연성을 최대한 살린다면 강한 힘을 라켓에 전달할 수 있으며 상대를 압도할 수 있는 공격력이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 근육 훈련을 통하여 라켓의 속도를 증가시키는 것과 동시에 꾸준한 유연성 운동이 스쿼시 선수들과 스쿼시를 치고자 하는 일반인들에게 절대적으로 필요하다는 것을 알 수 있었다.

2. 제언

이 연구에서는 상완의 운동학적 분석에 대해서만 언급을 하였지만, 더욱 자세한 스윙의 기여도를 알아보기 위해서는 지면반력이나 근전도(EMG)를 사용하여 라켓의 회전운동에 따른 운동역학적 변인 및 근육 활동의 정량적인 자료를 제시할 필요가 있을 것으로 생각되어진다. 더불어 스윙의 모든 동작을 분석하기 위해서는 3대의 비디오카메라는 부족한 것으로 판단되어지며 샘플링 빈도(sampling rate) 또한 스윙의 임팩트 순간을 정확히 포착하기에는 느린 것으로 판단되어 보다 좋은

고성능의 high speed 비디오카메라를 사용하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 강민완, 박경실(1999). 스쿼시 선수의 스포츠 상해에 관한 조사 연구. **한국체육과학회지**, 제9권, 제2호.
- 강상학(2000). 테니스 백핸드 스트로크 동작에 따른 상지 분절들의 해부학적 회전의 기여도. **한국체육과학회지**, 제39권, 제1호, 513-519.
- 김원관, 최인수, 박경실(1998). **스쿼시 워크샵**. 서울, 무한출판사.
- 김원관, 최인수(1999). **스쿼시 트레이닝론**. 서울, 숲속의 꿈.
- 김원관, 최인수, 박경실, 윤태훈(2000). **스쿼시 룰**. 서울, 대한스쿼시연맹.
- 김원관, 이강욱, 박경실, 윤태훈(2003). **스쿼시 룰**. 서울, 숲속의 꿈.
- 김덕진(2003). **남자 스쿼시 선수의 신체구성요인 형태특성**. 미간행 석사학위 논문. 한국체육대학교 대학원.
- 김용규, 이승로(2001). **모델 유형에 따른 스쿼시 학습의 효과**. 연세대학교 체육연구소 체육연구논문집, 제8권, 제1호.
- 곽한병, 박경실(1999). **스쿼시 경기의 기술요인 분석**, 경기대학교 논문집, 제43권, 제2호.
- 곽한병, 박경실, 박성준(2000). 국내 스쿼시 선수들의 경쟁 상태 불안에 관한 연구. **한국체육과학회지**, 제9권, 제2호.
- 대한스쿼시연맹(1998). **스쿼시 게임**. 서울, 오성출판사.
- 박경실, 박성준 (2001). 스쿼시 운동선수들의 내적동기에 관한 연구. **경기도체육회지**, 제5권, 제1호.
- 박경실(2002). 스쿼시 기술 훈련 방법 개선에 관한 연구. **한국체육과학회지**, 제11권, 제1호.
- 박경실(2004). 스쿼시의 드롭샷 기술이 경기력에 미치는 영향. **한국스포츠리서치**, 제15권, 제1호. 671-682
- 장기언(2004). 프로 테니스선수에서 양손 백핸드 스트로크에 의한 비우성측 척골의 스트레스 골절. **대한스포츠의학회지** 제22권, 제1호.

- Behm, D. G.(1987). A kinesiological analysis of the squash stroke. *NSCA journal*, Volume 9, Number 5: 4-14
- Chapman, A.(1986). Factors determining squash ball velocity and implications for the stroke. In *Proceedings of the North American Congress on Biomechanics*, Montreal; *American Society of Biomechanics*, pp. 25-27.
- Elliott, B., Champion, N. & Morrison, D.(1984). *Squash for Players, Coaches and Teachers*. Adelaide: ACHPER Publisher
- Elliott, B., Marshall, R., & Noffal, G.(1996). The Role of upper limb segment rotations in the development of racket-head speed in the squash forehand. *Journal of Sports Science*, 14, 159-165.
- Elliot, B., Takahashi, K., & Noffal, G.(1997). The Role of the upper limb contributions to racket head velocity in a tennis forehand. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 173~196.
- Hong, Y., Thomas, C. C., & Daniel W. C.(1996). A comparison of the game strategies employed by national and international squash players in competitive situation by nional analysis. *Journal of Human Movement Studies*, 31, 89~104.
- Hong, Y., Wei-Ping Li & Danny Chu(1995). Kinematic study on backhand stroke performed by world class squash player in international competition. *XVth Congress of the International Society of Biomechanics*, July 2-6, 1995, Jyvaskyla: book of abstracts, Jyvaskyla, University of Jyvaskyla, pp. 400-401.
- Hunt, G.(1974). *Geoff Hunt on Squash*. Melbourne: Cassell
- Khan, J.(1992). Jahangir's coaching clinic part II: The correct forearm action. *International Squash Magazine*, Spring, pp. 42-43.
- Ming-kai Chin., Steininger, K., Raymond, C., H. So., Christopher, R. C., & Alison, S. K. W.(1995). Physiological profiles and sports specific fitness of Asian elite squash players. *British Journal of Sports Medicine*, 29, 158~164.
- Woo, H. and Chapman, A. (1991). A 3D kinematic analysis of squash forehand stroke. In *Abstract of the XIIIth International Congress on Biomechanics* (edited by R. Marshall, G. Wood, B. Elliott, T. Ackland and P. McNair), Perth, WA: University of Werstern Australia, pp. 147~148.
- Yarrow, P. (2002). 성공을 위한 과정 스쿼시. 대한 미디어

투 고 일 : 4월 30일
 심 사 일 : 5월 14일
 심사완료일 : 5월 31일