



도마 츠카하라 몸 접어 뒤로 두 번 돌기의 운동역학적 분석

임규찬*(울산대학교)

ABSTRACT

Biomechanical Analysis of Tsukahara Vault with Double Salto Backward Piked

Lim, Kyu-Chan*(University of Ulsan)

K. C. LIM. Biomechanical Analysis of Tsukahara Vault with Double Salto Backward Piked. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 14, No. 3, pp. 135-147, 2004. This study was conducted to investigate the technical factors of Lu Yu Fu vault actually performed by three men gymnasts participated in artistic gymnastics competition of 2003 summer Universiade in Daegu through the DLT method of three dimensional cinematography. To analyze these vaults, the instant events of Lu Yu Fu were set in the board touchdown(BTD), the board takeoff(BTO), the horse touchdown(HTD), the horse takeoff(HTO), the peak height(PH), the mat touchdown(MTD) respectively and the phases of that vault were set in the board contact(BC), the preflight(PRF), the horse contact(HC), the postflight(POF), the grounding on mat(GM) respectively. After calculating the performance times, the CG displacement · velocity, the kinetic energy · impulse · reaction force · moment arm · torque at the horse, the released angle · piked angle · addressed angle, the angular momentum · angular velocity of whole body in x axis, and the horizontal displacement between the feet and CG, the following conclusions were reached.

To perform the better Lu Yu Fu vault, a gymnast must have the large horizontal velocity of

이 논문은 2003년 울산대학교의 연구비에 의해 연구되었음

* kclim@mail.ulsan.ac.kr

whole body with fast run-up, decrease the duration time and the horizontal · vertical displacement of whole body in PRF, have the enough time to judge the correct magnitude and direction of force to brake or push the horse so as to lengthen the HC duration time at any cost. Also it is desirable to increase the horizontal · vertical displacement of whole body in POF if possible, maintain the adequate piked position to decrease the angular velocity of whole body in x axis, prepare the grounding on mat previously and delay the release of the hand from the body to keep the angular momentum.

KEY WORDS : TSUKAHARA VAULT, GYMNASTIC

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

F.I.G.(국제체조연맹)는 추가되는 새로운 기술의 난이도를 규명하고 선수간의 우열을 명확히 가리기 위하여 채점규칙을 4년 주기로 개정하는데, 여홍철 선수가 구사한 도마에서의 츠카하라 뒤로 두바퀴 돌기 기술은 여(Yeo)로 명명되었고, 그 연기점수는 9.8이다(F.I.G., 2001). 이는 츠카하라식의 제 1비약 즉, 1/4 틀어 옆으로 손 짚어 뒤로 두바퀴 회전하는 기술로서 제 2비약시 무릎을 구부린 터크(tuck) 자세를 취한다. 이 Yeo 자세에서 제 2비약시 무릎을 편 파이크(pike) 자세로 회전하면 10.0 만점의 가치를 지니는 고난도 기술이 되며, 중국 선수 이름을 따 Lu Yu Fu로 명명되었다(F.I.G., 2001).

도마 종목은 기계체조 종목 중에서 가장 빠른 시간에 연기가 수행되는 특성이 있어 기술에 대한 정확성과 빠른 판단력이 요구된다. 최근의 도마 기술은 개정되어지는 채점규칙과 경기규칙의 변화에 따라 적응되어 왔고, 그 발전도 지속적으로 이루어지고 있다. 더 높은 점수를 획득하기 위해 우수한 선수들은 고난이도 기술을 많이 실시하고 있는데, 외국 선수들은 제 1비약으로 앞으로 손 짚어 돌기 유형(제 3유형)을 선호하는 반면, 우리나라 선수들은 옆으로 손 짚어 돌기 유형인 츠카하라 유형(제 4유형)을 선호하는 편이다(여홍철, 2003). 츠카하라 기술은 도마를 짚을 때 옆으로 손 짚어 도는 특성으로 도마의 접촉 시간이 길어 도마접촉 구간에서의 이지 순간을 결정하는 시간적 여유와 이지시 신체중심의 수직속도와 수평속도의 방향을 결정하는 도마반력의 방향을 결정하는 시간적 여유가 있다. 더군다나 2001년부터 신형 도마의 형태와 규격이 옆에서 보았을 때 뒤집혀진 'L' 자 형태로 달라지면서 도마 짚기가 보다 용이해지고 안정성이 높아져, Lu Yu Fu나 Yeo 기술과 같은 츠카하라

동작을 수행하는데 있어 도마접촉 구간에서의 동작에 큰 자신감이 부여되었다.

도마 운동을 잘하기 위한 운동역학적인 요건은 빠른 도움닫기에 의한 수평속도의 획득이다. 획득된 수평속도가 구름판에서 변화된 수직속도를 만들고 제 1비약을 거쳐 도마접촉시 선수의 브레이킹과 푸싱으로 최종적인 이지시 수직속도를 만들어 이 변화된 수평속도와 수직속도가 제 2비약의 동작을 결정하는 것이다. 이를 만족시키기 위한 여러 운동역학적인 요소들이 필요한데 그 중 짧은 도마접촉 시간이 선행되어야 한다(Takei, Blucker, Dunn, Myers, & Fortney, 1996). 그러나 신형 도마에서의 Lu Yu Fu 기술 발휘에 필요한 수직 충격량을 획득하기 위해서 과연 도마접촉 시간이 선행연구와 동일한지 검증되어야 한다. 또 신형 도마에서의 수직속도의 획득은 구형 도마보다 상대적으로 용이해졌고, 채점 규칙도 이에 따라 개선되었기 때문에 선행연구의 결과를 적용하는 데에는 한계가 있다. 뿐만 아니라 도마에서부터 떨어진 착지 지점의 거리에 대한 가점 규정이 폐지된 상황에서 도마이지시 수평속도와 수직속도의 크기는 어느 정도가 과연 적당한가라는 궁금증이 대두된다. 그리고 2001년부터 도마 경기에서는 하나의 기술에 대해 시작 점수가 부여되고 그 감점 정도로 그 기술을 평가받기 때문에 선수들은 도마동작 수행 중의 신체자세(큰 동작과 안정성 등)와 착지자세에서 감점당하지 않으려 노력할 수밖에 없다. 따라서 선수들이 제 2비약에서 뒤로 두 바퀴를 파이크 자세로 돌고 신체자세의 큰 동작과 안정성 및 착지준비를 위해 획득해야 할 구름판이지시 수평속도 및 수평에너지, 도마이지시 수직속도 및 수직에너지와 각운동량 등의 조건들을 분석하는 것이 중요하다.

지금까지 국내외의 도마 동작에 대한 역학적 연구들은 방대할 정도로 많이 이루어져 왔지만 (Takei, 1991a; 1991b; 1992; 1998; Takei et al., 1996; Takei, & Dunn, 1997; Takei, Dunn, Blucker, Nohara, & Yamashita, 2000; 신갑호와 박종훈, 1997) 구형 도마에서의 분석이고, 여홍철(2003)의 연구는 Lu Yu Fu 기술과 가장 비슷한 신형 도마에서의 Yeo 기술에 대한 분석으로 의미가 있으나, 키네틱(kinetic) 자료가 부재하여 그 기술을 총체적으로 이해하기가 어렵다. 따라서 경기 장면의 키네틱 자료를 수집하기 위한 최선의 방법은 키네마틱(kinematic) 자료로 이를 간접적으로 추정하는 것이다. 따라서 본 연구는 2003년 대구 유니버시아드 도마 결승에 오른 8명의 선수 중 Lu Yu Fu 기술을 발휘한 3명의 구간별 소요시간, 신체중심의 변위·속도, 운동에너지·충격량·평균 도마반력·평균 도마반력에 의한 모멘트 팔과 토크, 투사각·파이크각·진입각, 전신의 X축 각운동량 및 각속도, 그리고 착지시 발의 수평위치를 산출함으로써 이 기술의 효과적인 동작을 규명하고자 한다.

2. 순간동작과 구간의 정의

Lu Yu Fu 기술의 순간동작과 구간의 정의는 다음과 같다.

- 1) BTD(board touchdown): 발이 구름판에 착지하는 순간을 말한다.
- 2) BTO(board takeoff): 발이 구름판에서 이지하는 순간을 말한다.
- 3) HTD(horse touchdown): 손이 도마에 착지하는 순간을 말한다.

- 4) HTO(horse takeoff): 손이 도마에서 이지하는 순간을 말한다.
- 5) PH(peak height): 신체 중심이 최고점에 도달한 순간을 말한다.
- 6) MTD(mat touchdown): 발이 매트에 착지하는 순간을 말한다.
- 7) 1/4, 2/4, 3/4, 4/4(1 1/4, 1 2/4, 1 3/4, 1 4/4): HTO 후 첫 번째(두 번째) 회전에서 한 바퀴의 1/4씩 도는 순간과 구간을 말한다.
- 8) BC(board contact): BTD에서 BTO까지의 구간을 말한다.
- 9) PRF(preflight): BTO에서 HTD까지의 구간을 말한다.
- 10) HC(horse contact): HTD에서 HTO까지의 구간을 말한다.
- 11) POF(postflight): HTO에서 MTD까지의 구간을 말한다.
- 12) GM(grounding on mat): 두 번째 회전의 1 4/4 순간에서 MTD까지의 구간을 말한다.

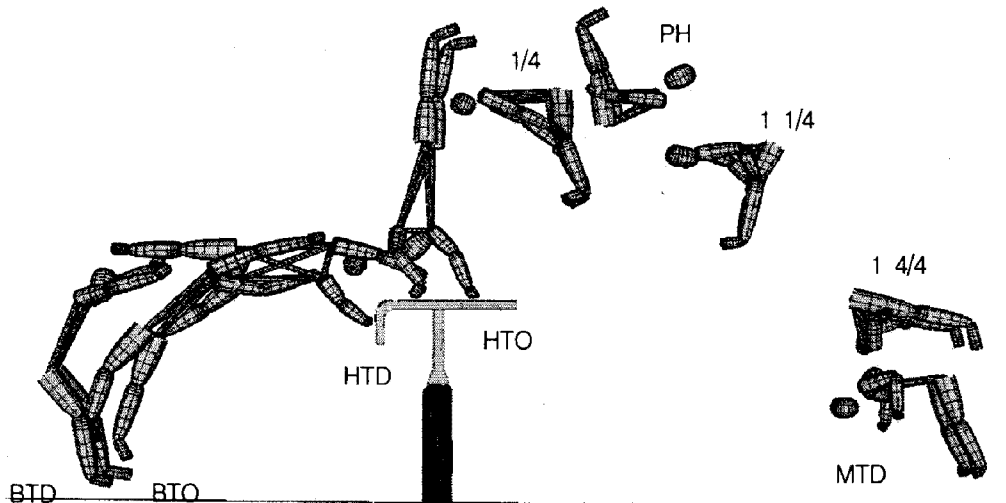


그림 1. Lu Yu Fu 기술의 순간동작

II. 연구 방법

1. 연구 대상자 선정

제 22회 하계 유니버시아드 대회 남자 도마 종목 결선(2003. 8. 30)에 진출한 선수 8명의 1·2차 시기 중 Lu Yu Fu 기술을 구사한 3명을 선정하였으며, 연구 대상자들의 특성은 <표 1>과 같다. 연기 구성 내용으로 볼 때 S1은 비교적 무난하게 연기를 수행했으나 착지시 몸이 앞으로 쓰러지면서

손을 매트에 짚어 완전한 착지를 하지 못하였으며, S2는 비교적 체격이 큼에도 불구하고 연기를 무난하게 수행했으나 착지한 후 한 발을 움직였고, S3는 연기를 무난하게 수행했으며 착지자세는 완벽했다.

표 1. 연구 대상자의 특성

대상자명	체중 (kg)	신장 (cm)	나이 (yr)	경력 (yr)	도마 진입 방향	획득점수	시기	국적
S1 LuBin	60	161	25	17	오른쪽	9.15	2차	중국
S2 Sopronenko Jevgenijs	66	172	25	18	오른쪽	9.50	1차	라트비아
S3 Blanik Leszek	62	162	26	17	오른쪽	9.65	2차	폴란드

2. 영상 분석 및 자료 산출 도구

영상분석과 자료 산출을 위해 JVC DVL-9800 디지털 비디오 카메라 3대, 기준척 1set, SOKKIA EZS21S 각도측정기 1대, Pentium IV컴퓨터와 비디오 분석 프로그램 Kwon 3D 3.0(비솔, 2002)이 사용되었다.

3. 실험 절차

촬영 각도에 따른 오차가 개입되지 않도록 세 대의 디지털 비디오카메라를 관중석에 각각 위치시키고 30 frame/s의 속도로 선수의 Lu Yu Fu 기술을 촬영하였으며, 경기가 끝난 직후에 기준척 (2m×6m×3m)을 촬영하였다. 이때 셔터 스피드는 1/500초이었으며, 광량이 적어 조리개를 충분히 열었다. 관성좌표계의 원점은 기준척 하단으로 설정하고 측면을 X축, 진행방향을 Y축, 그리고 수직방향을 Z축으로 설정하였으며, 실공간좌표계에 대한 reconstruction error는 0.69cm로 나타났다.

4. 자료 산출과 처리

좌표화할 인체 관절 중심점은 19개(두정, 턱, 코, 오른(왼) 어깨, 오른(왼) 팔꿈치, 오른(왼) 손목, 오른(왼) 손끝, 오른(왼) 엉덩이, 오른(왼) 무릎, 오른(왼) 발목, 오른(왼) 발끝)로 구성되었으며, Lu Yu Fu 동작의 BTD 5 frame 전부터 MTD 후 5 frame 까지를 분석 대상으로 하였다. 연구 대상자의 좌표화가 끝날 때마다 컴퓨터에 파일로 저장하였으며 cubic spline 함수로 보간하여 동조하였고, 동조 시간은 0.017초로 하였다. 신체 분절 모수치는 Plagenghoef, Evans, & Abdelnour(1983)와 Chandler, Clauser, McConville, Reynolds, & Young(1975)의 자료를 사용하였다(비솔, 2002). 동조된 2차원 좌

표 쌍으로부터 3차원 좌표 계산은 DLT방법(Walton, 1981)을 이용하였으며, 저역통과필터 방식에 의한 평활화의 차단 주파수는 6.0Hz로 하였다. 연구 대상자들의 인체 관절점 및 분절 중심의 위치와 소요시간을 산출한 뒤, 구간별 소요시간, 신체중심의 변위·속도, 운동에너지·충격량·평균 도마반력·평균 도마반력에 의한 모멘트 팔과 토크, 투사각·파이크각·진입각, 전신의 X축 각운동량 및 각속도, 그리고 착지시 발의 수평위치를 산출하였다.

특히 연구 대상자들의 질량으로 나누어 운동에너지를 표준화하였고, 운동량의 변화량으로 산출된 충격량을 도마접촉 시간으로 나누어 계산한 평균 도마반력을 체중으로 나누어 표준화하였다. 또한 대상자들의 전신의 X축 각운동량을 체질량과 신장의 제곱으로 나누어 표준화하였다. 각도 변인 중 투사각은 도마이지시 신체 중심의 속도벡터의 투사각으로서 전역좌표계의 Y축과 신체 중심 속도 벡터가 이루는 각으로 정의하였고, 파이크(pike)각은 제 2비약시 파이크의 정도로서 몸통 벡터와 양쪽 엉덩이관절 중심에서 양쪽 발 중심을 잇는 벡터가 이루는 각으로 정의하였으며, 진입각은 도마 착지시 전신이 도마에 진입하는 기울기의 정도로서 도마면과 양어깨의 중심에서 양발의 중심을 잇는 벡터가 이루는 각으로 정의하였다.

Ⅲ. 결과 및 논의

Lu Yu Fu 기술에 대한 주요 역학적 변인의 분석 결과는 다음과 같으며, 이 기술에 대한 국내의 선행연구가 전무하므로 제 2비약시 tuck 자세의 차이만 있는 Yeo 기술에 대한 선행연구(여홍철, 2003)를 중심으로 비교 논의하고자 한다.

1. 구간별 소요시간

구간별 소요시간 및 전체 소요시간은 <표 2>, <그림2>와 같이 나타났다.

표 2. 구간별 소요시간 및 전체 소요시간

(단위: 초)

연구 대상자	BC	PRF	HC	POF	전체 소요 시간	제 1회전				제 2회전				제1회전 시간	제2회전 시간	계산된 2회전 시간
						1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4			
S1	0.083	0.067	0.217	1.067	1.433	0.200	0.133	0.117	0.100	0.117	0.100	0.100	0.100	0.550	0.417	0.942
S2	0.100	0.100	0.217	1.000	1.417	0.217	0.133	0.100	0.100	0.117	0.100	0.083	0.100	0.550	0.400	0.944
S3	0.100	0.100	0.217	1.017	1.433	0.200	0.117	0.133	0.083	0.100	0.100	0.100	0.100	0.533	0.400	0.905

<표 2>와 같이 Lu Yu Fu 기술의 전체 소요시간은 1.417~1.433초, 제 2비약 소요시간은 1.000~1.067초, 도마접촉 소요시간은 0.217초, 그리고 제 1비약 소요시간은 0.067~0.100초로 나타나 Yeo 기술의 각각의 소요시간인 1.4초, 1.06초, 0.16초, 그리고 0.11초와 큰 차이는 없었으나 도마접촉 소요시간은 긴 것으로 나타났다. 이는 제 2비약의 기술 구성에 따라 제 1비약과 도마접촉의 기술이 달라지기 때문이다(Takei et al., 2000). 따라서 도마접촉에서의 Lu Yu Fu 기술은 Yeo 기술과 다를 것으로 판단되며, 이 부분에 대한 논의는 뒤에서 이어질 것이다.

제 2비약의 소요시간은 S2, S3, S1의 순으로 나타났고, 두 바퀴 회전시간은 S3, S2, S1의 순으로 나타났다. 또 두 바퀴 회전시간으로 볼 때 전신의 X축 가속도는 S3, S2, S1의 순인 것을 알 수 있다. 또 S1의 전체 소요시간이 상대적으로 충분한데도 불구하고 착지 실패가 있었다는 것은 도마접촉 구간에서의 각운동량 생성 및 체공 중의 각속도 조절 능력에 문제가 있음을 암시한다. 여기서, 계산된 2회전 시간이란 이후에 제시될 도마이지시 신체중심의 높이 값과 투사속도 값, 두 번째 회전이 종료된 순간인 1 4/4 회전 순간의 신체중심의 높이 값을 투사체 운동법칙에 대입하여 계산된 회전시간을 말하는데, 이 시간 값으로도 S3이 가장 짧았고 S1과 S2가 상대적으로 길었다. 순전히 두 바퀴 회전시간만을 고려한다면 S1이 가장 월등한 수행력을 보였다고 할 수 있다.

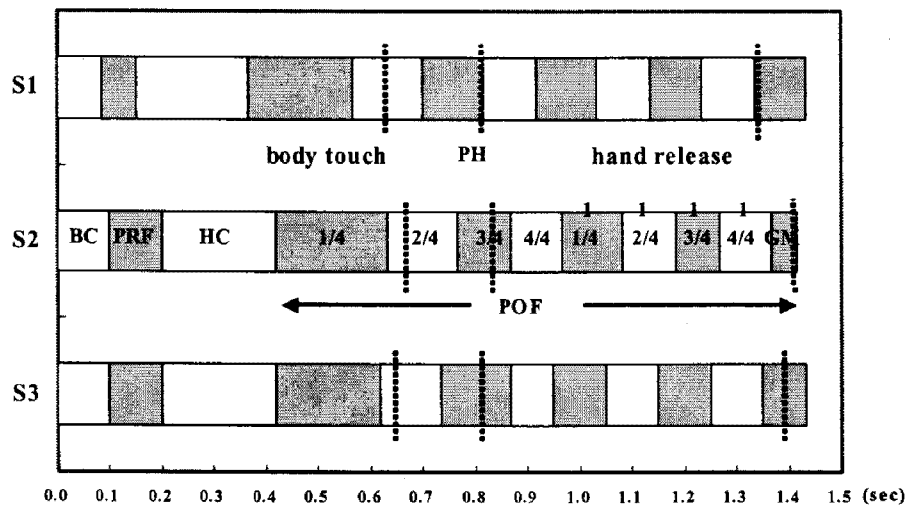


그림 2. 구간별 소요시간 및 전체 소요시간

<그림 2>에서 S1의 경우, 제 1비약의 소요시간이 짧고 몸 굽혀 자세와 엉덩이 관절의 굴곡을 위해 대퇴부위를 손으로 잡아당기는 body touch가 상대적으로 늦어 회전속도를 일부러 지연시키고 있음을 알 수 있다. 신체중심의 최고점 순간도 3/4회전 순간이 끝날 즈음에 이루어지고 있어 그 각변위가 컸음을 간접적으로 알 수 있다. 또한 제 2비약 후반부에 착지를 준비하기 위해 대퇴부위를 잡아당겼던 손을 떼는 hand release를 일찍 시작하여 착지의 여유를 보였으나 결과적으로는 완전한 착

지를 이루지 못하였다. S2와 S3의 경우는 서로 비슷한 유형을 보였는데, body touch와 신체중심 최고점 순간이 빨리 이루어졌으며 hand release를 늦게 하는 경향을 보여 착지의 여유로움은 S1에 비해서는 적었다고 판단된다.

2. 신체중심 변위와 신체중심 속도

주요 순간과 구간에서의 신체중심 높이와 변위, 그리고 신체중심 속도는 <표 3>과 같이 나타났다.

표 3. 신체중심 높이와 변위, 신체중심 속도

연구 대상자	높이(m)			수평변위(m)		수직변위(m)		수평속도(m/s)				수직속도(m/s)			
	HTD	HTO	PH	PRF	POF	PRF	POF(PH)	BTO	HTD	HTO	변화량(Δ)	BTO	HTD	HTO	변화량(Δ)
S1	1.50	2.39	3.11	0.35	3.72	0.28	0.72	5.43	5.17	4.18	-1.25	3.95	4.21	3.63	-0.58
S2	1.62	2.41	2.95	0.51	3.32	0.37	0.54	5.29	4.86	4.03	-1.26	3.63	3.44	3.27	-0.17
S3	1.61	2.37	3.01	0.60	3.67	0.39	0.64	5.68	6.08	3.89	-1.79	3.78	3.59	3.32	-0.27

<표 3>과 같이 Lu Yu Fu 기술의 신체중심의 높이는 도마 착지시 1.50~1.62m, 도마이저시 2.37~2.41m, 최고점 순간은 2.95~3.11m, 제 1비약 구간의 신체중심 수평변위는 0.35~0.60m, 제 2비약 구간은 3.32~3.72m, 제 1비약 구간의 신체중심 수직변위는 0.28~0.39m, 제 2비약 구간은 0.54~0.72m로 나타났다. 그리고 도마접촉 구간에서의 신체중심 수평속도 변화량은 -1.79 ~ -1.25m/s, 수직속도 변화량은 -0.58~ -0.17m/s로 나타났다. Yeo 기술의 도마접촉 구간의 신체중심 수직변위는 0.60m, 제 2비약 구간에서의 최고점 순간의 높이는 3.02m, 제 1비약 구간에서의 신체중심 수평 및 수직 변위는 각각 0.69m, 0.57m라 하였고, 도마접촉 구간에서의 신체중심 수평속도 변화량은 -1.34m/s, 수직속도 변화량은 0.18m/s라 하였다. 따라서 Lu Yu Fu의 도마접촉 구간에서의 신체중심 수직변위는 Yeo의 그것보다 크고, 제 2비약 구간에서의 최고점 순간의 높이는 다소 높은 것으로 보인다. 또한 제 1비약 구간에서의 신체중심 수평 및 수직변위는 작은 것으로 나타났다. 도마접촉 구간에서의 신체중심 수평속도 변화량은 다소 컸고, 수직속도 변화량은 완전히 달랐다. Takei et al.(1996, 2000)은 수행능력이 좋은 선수일수록 제 1비약 구간에서의 신체중심 수직변위가 작다고 하였으므로 본 연구의 선수들은 Yeo 기술의 대상자에 비해 제 1비약 구간에서의 동작이 좋다고 할 수 있으며, 이 중 S1의 동작이 가장 좋았다고 판단된다. 즉, S1은 제 1비약에서 신체중심의 수평 및 수직변위를 작게 한 상태로 도마에 빨리 진입하여 도마에 착지하고 도마의 반력을 충분히 활용하여 수직변위를 최대한 높여 이지하였기 때문에 가장 이상적인 동작을 취하였다고 판단된다.

신체중심 수평속도의 변화량은 S1이 가장 작았지만 그 절대속도는 가장 컸고, S3의 변화량은 가장 컸으나 그 절대속도는 가장 작았다. 반면에 수직속도의 변화량은 그 양상이 다르게 나타났다. 즉,

수직속도의 변화량과 그 절대속도는 S1이 가장 컸으며, S3은 이보다 작았다. 따라서 S1은 제 1비약 부터 도마접촉 구간까지 큰 수직속도를 유지하려 하고 도마접촉 구간에서의 수평방향 충격량을 적당히 받아들이는 동작을 보였으나, S3은 제 1비약부터 도마접촉 구간까지 적당한 수직속도를 유지했으며, 도마접촉 구간에서의 수평방향 충격량을 최대한 받아들이는 동작을 보였다. 또 S2의 수평속도의 변화량 유형은 S1과 유사했고 수직속도의 변화량 유형은 S3과 유사했다. 따라서 S2의 자세는 S1 처럼 수직방향으로 강력하지 않고 S3처럼 수평방향으로 강력하지 않은 중도적인 자세를 취한 것으로 볼 수 있다. 결국 정석적인 기술을 발휘한 것은 S1로 판단된다. 왜냐하면, 우수한 선수일수록 큰 수평속도로 도마에 접촉하여 큰 수직충격량을 갖고, 수직속도의 큰 변화량을 갖으며, 수평속도는 비슷한 상태에서 큰 수직속도로 도마를 이지하기 때문이다(Takei, 1991b).

3. 도마접촉 시 운동역학적 변인

도마접촉시 운동에너지, 충격량, 평균 도마반력, 모멘트 팔과 토크는 <표 4>와 같이 나타났다.

표 4. 도마접촉 시 운동역학적 변인과 모멘트 팔

연구 대상자	표준화 운동에너지(m^2/s^2)				충격량 (Ns)		평균 도마반력(N)		표준화 평균 도마반력		도마반력에 의한 모멘트 팔(m)			토크 (Nm)
	BIO		HTO		HC		HC		HC		HTO			
	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수직거리	
S1	14.74	7.80	8.74	6.59	-59.4	92.7	-274.2	428.0	-0.47	0.73	0.09	1.01	0.46	231
S2	13.99	6.59	8.12	5.35	-54.8	129.1	-252.8	595.7	-0.39	0.92	0.10	1.03	0.31	199
S3	16.13	7.14	7.57	5.51	-135.8	115.0	-626.7	531.0	-1.03	0.87	0.33	0.92	0.41	337

<표 4>와 같이 도마이지시 표준화 운동에너지의 수평과 수직성분은 각각 $7.57\sim 8.74m^2/s^2$, $5.35\sim 6.59m^2/s^2$ 로, 도마접촉 구간에서의 충격량의 수평과 수직성분은 각각 $-135.8\sim -54.8Ns$, $92.7\sim 129.1Ns$ 로, 평균 도마반력의 수평과 수직성분은 각각 $-626.7\sim -252.8N$, $428.0\sim 595.7N$ 로, 도마반력에 의한 모멘트 팔의 수평과 수직성분은 각각 $0.09\sim 0.33m$, $0.92\sim 1.03m$ 로 나타났다. Yeo 기술의 도마이지시의 속도 자료를 토대로 Yeo 기술의 표준화 운동에너지의 수평과 수직성분을 계산해보면 각각 $7.53m^2/s^2$, $7.92m^2/s^2$ 로 산출되었고, 도마접촉 구간에서의 충격량의 수평과 수직성분은 각각 $-83.1Ns$, $108.5Ns$ 로 산출되었으며, 도마반력의 수평과 수직성분은 각각 $-519.3N$, $678N$ 로 산출되었다. 따라서 Yeo 기술과 크게 다른 것은 Lu Yu Fu 기술의 도마접촉 구간에서의 표준화 운동에너지의 수직성분과 도마반력의 수직성분이 작다는 것이다.

Takei et al.(1996)은 우수선수는 도마이지시 수직속도가 크기 때문에 큰 수직 운동에너지를 갖는다고 하였지만, 세계 수준급의 선수들은 그 정도의 수직속도만으로도 충분한 체공시간을 획득할 수

있기 때문에 큰 수직속도와 수직 운동에너지를 획득하는 데 있어서는 그 역치수준이 존재한다고 판단되며, 이는 개선된 신형 도마의 구조 덕택이라 사료된다. 따라서 도마접촉 구간에서 선수들은 수직속도와 각운동량 획득에 있어서 다음과 같은 모멘트 팔과 도마반력의 구조적 차이에 따라 일종의 타협을 시도해야 할 것으로 판단된다.

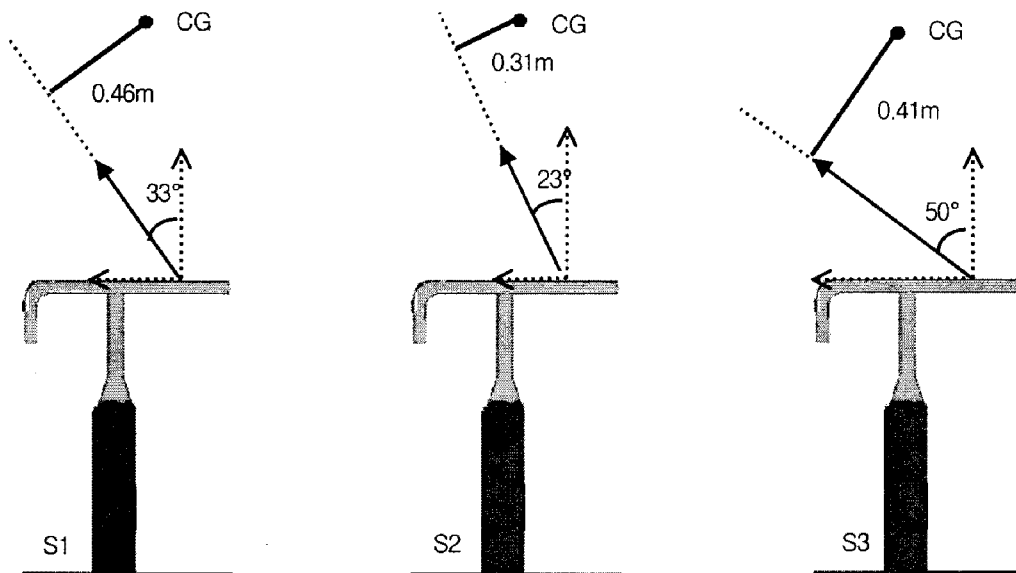


그림 3. 평균 도마반력에 따른 모멘트 팔과 수직거리

<그림 3>에서 YZ평면에서의 평균 도마반력의 크기는 S1이 508N, S2는 647N, S3는 821N 정도로 계산되었다. 또 S1의 토크는 231Nm, S2는 199Nm, S3는 337Nm 정도로서 S2, S1, S3의 순으로 나타났다. 수직속도와 토크의 크기를 고려했을 때 선수들 간의 도마접촉 구간에서의 동작은 매우 다른 양상을 보였다. 즉, 그림에서와 같이 S1과 S2는 도마접촉 구간에서 전신을 브레이킹한 후, 수직력을 제어하는 푸싱 기술에 치중하고, S3은 전신을 브레이킹한 후, 그 수평력을 그대로 푸싱에 이용하는 것으로 보인다. 따라서 S1은 적당한 수준에서 브레이킹과 푸싱이 이루어진 것으로 볼 수 있기 때문에 만일 S1이 착지 동작에서 감점을 당하지 않았더라면 제 2비약 구간에서의 큰 수평변위와 큰 수직변위, 그리고 적당한 정도의 전신의 X축 각운동량으로 좋은 점수를 획득할 수 있었을 것으로 판단된다.

Takei(1991b)는 핸드스프링으로 앞돌아 뛰기시 우수선수는 큰 수평속도로 도마에 접촉하여 큰 수직충격량을 갖고, 수직속도의 큰 변화량을 갖으며, 수평속도는 비슷한 상태에서 큰 수직속도로 도마를 이지한다고 하였고, 선수에게 가해진 큰 수평방향의 브레이킹 반력은 도마접촉구간에서 수평속도와 제 2비약의 신체중심의 수평거리를 감소시킨다(Takei et al., 2000)고 하였으므로 S1이 S3보다 더 나은 기술을 구사하는 것으로 판단된다. 또한 S3의 수평속도의 변화량이 S1보다 컸음에도 불구하고 이를 수직속도의 변화량으로 활용하지 못해 제 2비약 구간에서의 작은 수평변위와 수직변위를 가질 수밖에 없었으므로(표 3), 동작의 빠른 속도와 작은 범위라는 한계를 드러낸 것으로 판단된다.

4. 각도 변인, 전신의 X축 각운동량 및 각속도와 발의 수평위치

주요 순간과 구간에서의 투사각·파이크각·진입각, 전신의 표준화 X축 각운동량 및 각속도와 발의 수평변위는 <표 5>와 같이 나타났다.

표 5. 각도 변인과 전신의 표준화 X축 각운동량 및 각속도, 발의 수평위치

연구 대상자	투사 각(도)	파이크각 (도)									진입 각(도)	표준화 X축 각운동량($s^{-1} \cdot 10^{-1}$)			X축 각속도 ($rad \cdot s^{-1}$)	발과 신체 중심간의 수평변위(m)			
		제 1회전			제 2회전							HTD	PRF	HC			POF	POF	MTD
		1/4	2/4	PH	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4									
S1	41	114	106	105	105	97	79	83	92	85	148	-15.51	-11.04	-73.76	-11.51	0.56			
S2	39	94	82	81	82	71	63	70	84	68	148	-17.81	-12.66	-59.95	-12.27	0.37			
S3	41	95	83	74	65	68	68	72	67	66	156	-23.47	-17.28	-73.35	-11.74	0.40			

<표 5>에서와 같이 도마이지시 투사각은 39~41도 정도로 비슷하였고, 제 2비약 구간에서 파이크각은 94~114도로 시작하여 두 바퀴가 끝나는 시점에서는 66~85도를 나타내 제 2비약 구간에서의 전신의 X축 관성모멘트는 S1이 가장 크고 S3이 가장 작았음을 알 수 있다. 또한 진입각은 148~156도로서 S3이 다른 선수들보다 도마에 낮게 진입함으로써 하지를 상방으로 이동시키는데 부가적인 에너지 소모가 되었다. 전신의 표준화 X축 각운동량은 제 1비약 구간에서 $-23.47 \sim -15.51 s^{-1} \cdot 10^{-1}$, 도마접촉 구간에서 $-17.28 \sim -11.04 s^{-1} \cdot 10^{-1}$, 그리고 제 2비약 구간에서 $-73.76 \sim -59.95 s^{-1} \cdot 10^{-1}$ 로 나타나 S3의 각운동량이 전반적으로 크게 유지되었다. 전신의 X축 각속도는 제 2비약 구간에서 $-12.27 \sim -11.51 rad \cdot s^{-1}$ 로 나타나 S1이 상대적으로 가장 작고, S3, S2 순으로 컸다.

핸드스프링으로 앞돌아 뛰기(Takei, 1991a, 1991b)와 한 바퀴 비틀어 뛰기(Takei et al., 1996)에서 우수선수들의 평균 전신 각속도는 비우수선수들보다 작다고 하였는데, 이는 각변위가 비슷한데도 채공 시간이 길기 때문이다. 또 핸드스프링으로 앞돌아 뛰기(Takei, 1992)와 한 바퀴 비틀어 뛰기(Takei, 1998)의 채점 점수와 제 2비약의 평균 각속도는 유의한 역상관이 있어 전방 회전 속도가 늦을수록 채점 점수가 높으며, 제 2비약 구간에서의 표준화 관성 모멘트는 우수선수일수록 더 크다(Takei et al., 2000). 그러므로 본 연구의 선수들 중 제 2비약 구간에서의 수행력이 좋은 선수는 S1이라 할 수 있다. 그러나 착지시 발과 신체중심 간의 수평변위가 S1은 0.56m, S2는 0.37m, S3는 0.40m로 나타나 S1의 착지 준비자세에 문제가 있는 것으로 나타났다. 따라서 S1의 hand release 시점은 다소 빠르며 좀더 후반까지 가져간 후에 손을 떼는 것이 바람직하다.

IV. 결 론

본 연구는 2003년 대구 유니버시아드 도마 결승에 오른 8명의 선수 중 Lu Yu Fu 기술을 발휘한 3명의 선수의 실제 경기 장면을 DLT 방식으로 3차원 영상분석하여 Lu Yu Fu 기술요소를 규명하고자 하였다. 이를 위해 Lu Yu Fu 기술의 구름판착지, 구름판이지, 도마 착지, 도마이지, 최고점, 매트 착지 및 1/4, 2/4, 3/4, 4/4(1 1/4, 1 2/4, 1 3/4, 1 4/4)의 회전을 순간동작으로 설정하고 구름판접촉, 제 1비약, 도마접촉, 제 2비약을 구간으로 설정한 후 구간별 소요시간, 신체중심의 변위·속도, 운동에너지·충격량·평균 도마반력·평균 도마반력에 의한 모멘트 팔과 토크, 투사각·파이크각·진입각, 전신의 X축 각운동량 및 각속도, 그리고 착지시 발의 수평위치를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

Lu Yu Fu 기술을 훌륭하게 수행하려면 빠른 도움닫기에 의한 수평속도를 획득해야 하며, 제 1비약의 시간과 신체중심의 수평 및 수직변위를 줄여야하고, 도마접촉 구간에서의 접촉시간을 늘여서라도 브레이킹과 푸싱의 크기와 방향을 정확하게 결정하는 판단의 여유가 더 중요하다. 또한 제 2비약 구간에서의 신체중심의 수평 및 수직변위를 되도록 크게 하는 것이 바람직하고, 전신의 X축 각속도를 작게 하기 위한 체공중의 파이크 자세가 중요하며, 착지준비를 미리 준비하되 관성모멘트 유지를 위해 당겼던 손을 떼는 시점을 지연시키는 것이 바람직하다.

참고문헌

- 비슬(2002). Kwon 3D motion analysis package 3.0 user's reference manual. 미간행물.
- 신갑호, 박종훈(1997). 도마 Tsukahara동작의 전환계 운동이 착지 거리에 미치는 영향. 한국체육학회지, 36,1, 318-325.
- 여홍철(2003). 도마 Yeo 동작에 대한 운동학적 요인 분석. 한국운동역학회지, 13, 1, 39-50.
- Chandler, R.F., Clauser, C.E., McConville, J.T., Reynolds, H.M. & Young, J.W.(1975). *Investigation of inertial properties of human body*. Aerospace Medical Research Laboratories: Wright-Patterson Air Force Base.
- F.I.G.(2001). Code of points for men's artistic gymnastics competitions at world championships, Olympic games, regional and international competitions events with international participants. International Gymnastics Federation Men's Technical Committee.
- Plagenhoef, S.C., Evans, F.G., & Abdelnour, T.(1983). Anatomical data for analyzing human

- motion. *Research Quarterly Exercise Sport*, 54. 2. 169-178.
- Takei, Y. (1991a). A comparison of techniques used in performing the men's compulsory gymnastic vault at the 1988 Olympics. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, 54-75.
- Takei, Y.(1991b). Comparison of blocking and post-flight techniques of male gymnasts performing the 1988 Olympic compulsory vault. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, 371-391.
- Takei, Y.(1992). Blocking and post-flight techniques of male gymnasts performing the compulsory vault at the 1988 Olympics. *International Journal of Sport Biomechanics*, 8, 87-110.
- Takei, Y.(1998). Three-dimensional analysis of handspring with full turn vault: Deterministic model, coaches' beliefs, and judges' scores. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 190-210.
- Takei, Y., Blucker, E., Dunn, H., Myers, S., & Fortney, V.(1996). A three-dimensional analysis of the men's compulsory vault performed at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 237-257.
- Takei, Y., & Dunn, J.H.(1997). A "kickout" double salto backward tucked dismount from the horizontal bar performed by elite gymnasts. *Journal of Sports Sciences*, 15, 411-425.
- Takei, Y., Dunn, J.H., Blucker, E.P., Nohara, H., & Yamashita, N.(2000). Techniques used in high and low-scoring Hecht vaults performed at the 1995 world gymnastics championships. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 180-195.
- Walton, J.S.(1981). *Close-range cine-photogrammetry : a generalized technique for quantifying close gross human motion*. Unpublished doctoral dissertation. Pennsylvania State University, University Park, 65-82.

투 고 일 : 10월 28일

심 사 일 : 11월 4일

심사완료일 : 12월 7일