한국운동역학회지, 2005, 제15권 4호, pp. 143-151
Korean Journal of Sport Biomechanics
2005, Vol. 15, No. 4, pp. 143-151

도마 몸 펴 쿠에르보 비틀기 동작 분석

The Biomechanical Analysis of the Cuervo Salto Forward Straight Vaults with Twists

임규찬*(울산대학교)
Lim, Kyu-Chan*(University of Ulsan)

ABSTRACT

K. C. LIM, The Biomechanical Analysis of the Cuervo Salto Forward Straight Vaults with Twists, Vol. 15, No. 4, pp.143-151, 2005. This study was conducted to investigate the technical factors of Cuervo forward straight vaults with single twist, single and half twists, and double twists actually performed by three execellent male gymnasts participated in artistic gymnastics competition of 2003 summer Universiade in Daegu and the 85th National Sports Festival in Cheongju. To accomplish the research goals the Cuervo vaults of three gymnasts were filmed by using three digital camcorders set by 60 Hz, and data were collected through the DLT method of three dimensional cinematography. The kinematic and kinetic variables as each phasic time, CM displacement · velocity, release angle · inclination angle · hip joint angle · landing angle, average horse reaction force · average moment arm · average torque, whoe body's total · remote · local angular momentum were analyzed, so the following conclusions were reached.

Generally to perform the better Cuervo vault, a gymnast should touch down on the board with the great horizontal velocity of the whole body through the fast run-up, and touch down on the horse by decreasing the horizontal displacement of the whole body during the preflight, so raise CM height gradually within a short horse contact time. He should increase the horse reaction force through checking the horizontal velocity of the whole body effectively and the inclination angular displacement of the handstand, if so he can have the large vertical velocity of the whole body. By using the acquired the velocity and the angular momentum of the whole body, he can vault himself higher and twist sufficiently, then he can get better if the body could be tilted by swinging both arms and perform the cat twist with a little flexions at hip joints. According to the above outcomes we can judge that the best athletes is LuBin, the better is YTY, and the next is JSM.

KEYWORDS: CUERVO VAULT, TWIST VAULT, GYMNASTIC EVENT

이 논문은 2004년 울산대학교 연구비에 의해 연구되었음.
* kclim@ulsan.ac.kr

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

도마경기는 발구름한 후 도마에 착지하고, 이지 후 공중동작을 연기하여 착지함으로써 마무리된다. 이 때 선수는 명확한 태도로 의도한 자세를 표현해야 하며, 공중돌기 동작에서는 착지를 위한 준비로 뚜렷하게 몸을 펴는 동작을 보여야 한다(F.I.G., 2001).

이와 같은 도마경기는 전비약(preflight)과 후비약(post-flight) 동작에 따라 5개 유형으로 구분되는데, 그 중 쿠에르보(Cuervo) 기술은 제 3유형으로서 도마에 손 짚고 앞돌아 이지한 후 앞 공중돌기를 하되 반 바퀴를 비트는 일련의 기술군을 말한다(국제체조연맹, 2001). 따라서 도마를 손 짚고 앞돌아 이지 후 공중에서 한 바퀴 반을 비틀었다면 이를 쿠에르보 한 바퀴 비틀기, 두 바퀴를 비틀었다면 이를 쿠에르보 한 바퀴 반 비틀기, 그리고 두 바퀴 반을 비틀었다면 이를 쿠에르보 두 바퀴 비틀기라 한다(F.I.G., 2001). 또한 비틀 때 tuck 자세와 pike 자세보다 몸을 편 straight 자세의 연기 점수가 높고 비트는 회전수가 많을수록 높아 몸 펴 쿠에르보 한 바퀴 비틀기의 연기 점수는 9.6, 몸 펴 쿠에르보 한 바퀴 반 비틀기의 점수는 9.8, 몸 펴 쿠에르보 두 바퀴 비틀기의 점수는 10.0이다. 특히 이 동작을 여홍철 선수의 이름을 명명해 Yeo2라 한다(F.I.G., 2001). 이렇게 높은 점수의 연기를 수행하기 위해 선수가 먼저 수행해야 할 것은 빠른 도움닫기에 의한 큰 수평속도를 만드는 것이다. 이렇게 획득된 수평속도로 발구름하고, 도마 접촉을 위한 전비약을 수행하며, 이후 도마 접촉시 브레이킹과 푸싱의 힘과 방향으로 최종적인 이지 속도를 만들어 후비약의 동작을 만드는 것이다(Takei, Blucker, Dunn, Myers, & Fortney, 1996). 특히 쿠에르보 동작은 앞돌아 비틀기를 여러 번 수행해야 하기 때문에 전방 각운동량의 획득이 매우 중요하다.

이러한 전방 각운동량의 획득은 어떻게 보면 자연스럽게 획득된다고 볼 수 있는데, 신체가 도마에 접촉하면 선운동이 저지되어 저지된 선운동량만큼 저절로 각운동이 만들어진다(Yeadon, 2000). 따라서 선수는 요구된 연기 동작에 적합한 각운동량을 만들기 위한 선운동을 해야 할 것이다. 이를테면 도마 착지시와 이지시 몸통의 경사각은 각운동량과 상관이 있기 때문에(Dapena, 2000) 이 경사각의 변화를 주거나, 또는 도마 반력의 방향과 그 크기에 따른 신체중심에 관한 토크를 조절해야 할 것이다.

도마 접촉시 신체 무게와 도마 반력의 역할에 대해 관심을 가질 필요가 있다. 즉, 도마 접촉시 신체의 무게는 신체의 중심에 작용하고, 도마반력은 도마 접촉 지점에 작용하기 때문에 서로 상대적 역할을 수행한다. 따라서 신체의 무게는 도마 접촉 지점을 축으로 토크를 일으켜 공전적 각운동량을 변화시킬 수 있으나, 도마 반력은 도마 접촉 지점을 축으로 작용하기 때문에 전체 각운동량을 변화시킬 수는 없지만 자전적 각운동량을 공전적 각운동량으로 변화시킬 수는 있다. 특히 도마 반력은 도마 접촉시 신체 중심의 선운동을 조절하고, 그 접촉시간의 증감과 적절한 자세 변화를 조절하는 데에 큰 역할을 수행한다(Hopper, 1973). 때문에 도마 반력의 크기와 방향을 알면 선수의 후비약동작을 이해하는 데 도움이 될 것이다.

그러나 경기 상황에서 이 자료를 수집하기란 어렵기 때문에 운동학(kinematic) 자료 즉 도마 접촉구간에서의 운동량의 변화로 이를 간접적으로 추정하는 것이 최선의 방법이다. 그렇지만 이는 평균 충격력이기 때문에 최대 충격력보다 작은 것은 사실이다.

일단 신체가 공중에 떠오르면 각운동량을 변화시킬 수 있는 어떤 상황도 존재하지 않는다. 따라서 주어진 각운동량으로 쿠에르보 비틀기를 구사하기 위해서는 적절한 시점에서 기울여 비틀기를 수행해야 하며 그에 따른 관성모멘트의 증감 그리고 적절한 시점을 선택해 매트 착지를 준비해야 한다. 체조 선수들은 비틀기 두 가지 유형 중 양쪽 방향으로 비틀어지면서 진자 움직임을 하는 앞돌기(wobbling somersault)보다 한쪽 방향으로 비틀어지는 기울여 앞돌기(twisting somersault)를 수행한다(Yeadon, 1993). 즉 체공 중 선수들은 특히 한쪽 팔을 빠르게 몸통 쪽으로 가깝게 위치시켜 그 작용력으로 전신의 비틀기를 수행하게 되는데 이 때 턱의 동작이나 팔의 동작에 개인차가 많다.

국내외의 도마 동작에 대한 역학적 연구는 운동학적

변인에 대한 자료 분석에 국한되어 왔으나(Takei, 1991a; 1991b; 1992; 1998; Takei et al., 1996; Takei, & Dunn, 1997; Takei, Dunn, Blucker, Nohara, & Yamashita, 2000; 신갑호와 박종훈, 1997; 여홍철2003b), 구름판 반력을 측정한 여홍철(2003a)의 '도마 손 짚고 몸펴 앞 공중 돌아 540도 비틀기의 역학적 분석'과 도마 반력을 추정한 임규찬(2004)의 '도마 츠카하라 몸 접어 뒤로 두 번 돌기의 운동역학적 연구'가 최근의 운동역학적 연구이다.

우리나라 선수들은 동작 구사가 용이한 츠카하라를 선호하는 편인데, 그 이유는 옆으로 도마를 짚어 이지하기 때문에 쿠에르보보다 상대적으로 큰 힘이 들지 않기 때문이다. 바꿔 말하면 우리나라 선수들은 앞으로 도마를 짚는 쿠에르보 기술이 비교적 약한 것이 사실이다. 그 이유는 쿠에르보의 앞으로 도마를 짚어 높이 떠올라 비틀기를 수행하기 위해서는 도마 접촉시 신체를 브레이킹하고 푸싱하는데 많은 힘과 더 섬세한 동작이 요구되기 때문이다. 그래서 국내의 팀 결승경기와 개인종합 결승경기, 그리고 종목별 결승경기의 연기에서 쿠에르보 동작의 연기 빈도가 낮다. 이는 국내 체조 기술의 발전을 위해 바람직한 현상은 아니다. 따라서 쿠에르보 비틀기 기술을 운동역학적으로 분석하는 것은 매우 시의적절하다 하겠다.

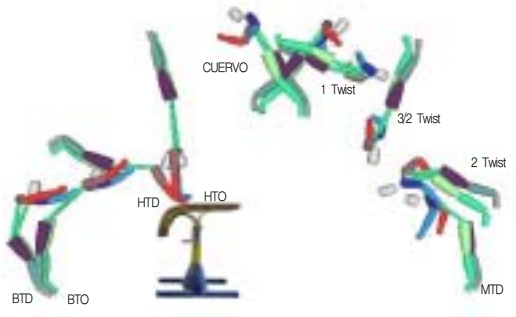
본 연구는 몸 펴 쿠에르보 비틀기 기술 중, 한 바퀴 비틀기, 한 바퀴 반 비틀기, 그리고 두 바퀴 비틀기 동작의 구간별 소요시간, 신체중심의 변위·속도, 투사각·경사각·고관절각·착지각, 평균 도마반력·평균 모멘트팔·평균 토크, 각운동량을 분석하여 이 기술의 효과적인 동작을 규명하고자 한다.

2. 순간동작과 구간의 정의

몸 펴 쿠에르보 비틀기 기술의 순간동작과 구간의 정의는 다음과 같다.

1) BTD(board touchdown), BTO(board take-off): 발이 구름판에 착지, 이지하는 순간을 말한다.

2) HTD(horse touchdown), HTO(horse take-off): 손이 도마에 착지, 이지하는 순간을 말한다.



<그림 1> 몸 펴 쿠에르보 비틀기

3) PH(peak height): 신체 중심이 최고점에 도달한 순간을 말한다.

4) MTD(mat touchdown): 발이 매트에 착지하는 순간을 말한다.

5) BC(board contact), PRF(preflight): BTD에서 BTO까지의 구간, BTO에서 HTD까지의 구간을 말한다.

6) HC(horse contact), POF(post-flight): HTD에서 HTO까지의 구간, HTO에서 MTD까지의 구간을 말한다.

II. 연구 방법

1. 연구대상자

쿠에르보 한 바퀴 반 비틀기를 수행한 연구대상자는 제 85회 전국체육대회 남자 도마 종목 결선(2004. 10. 11)에 진출한 선수 중 연기를 성공한 JSM으로 하였고, 한 바퀴 비틀기와 두 바퀴 비틀기를 수행한 연구대상자는 제 22회 대구 하계 유니버시아드대회 남자 도마 종목 결선(2003. 8. 30)에 진출한 선수 중 한국의 YTY, 중국의 LuBin으로 하였다. 이들의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

<표 1> 연구대상자의 특성

대상자	기술	체중 (kg)	신장 (cm)	나이 (yr)	경력 (yr)	획득 점수
YTY	한 바퀴	63	167	25	13	9.325
JSM	한 바퀴 반	57	163	30	19	9.450
LuBin	두 바퀴	60	161	25	17	9.600

2. 실험 절차 및 자료 처리

제 85회 전국체육대회와 제 22회 대구 하계 유니버시아드대회 남자 도마 종목 결선의 경기장면을 촬영하기 위해 2대의 JVC GR-DV2000와 1대의 JVC GR-HD1의 디지털 비디오 카메라, 4m×4개의 기준척 1set, SOKKIA EZS21S 각도측정기 1대가 각각 사용되었다. 모든 실험에서 촬영 각도에 따른 오차가 개입되지 않도록 세 대의 디지털 비디오카메라를 관중석에 각각 위치시켰고, 60 frame/s의 속도로 선수의 쿠에르보 비틀기 기술을 촬영하였으며, 경기가 끝난 직후에 기준척을 촬영하였다. 이때 셔터 스피드는 1/500초이었으며, 조리개를 충분히 열었다. 두 실험의 전역좌표계의 원점은 공히 기준척 하단으로 설정하고 측면을 X축, 진행방향을 Y축, 그리고 수직방향을 Z축으로 설정하였고, 도마의 양 하단과 지면의 접촉지점간의 중앙을 기준점으로 이용하여 두 실험의 전역좌표계를 표준화하였으며, 제 85회 전국체육대회 실험에서의 실공간좌표계에 대한 reconstruction error는 0.90cm로, 제 22회 유니버시아드 실험에서의 그 수치는 0.69cm로 나타났다.

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, 쿠에르보 동작의 구름판 착지 5 frame 전부터 매트 착지 후 5 frame까지를 분석 대상으로 하였다. Kwon3D 3.01(비솔, 2005) 비디오 분석프로그램을 사용하여 연구 대상자의 좌표화가 끝날 때마다 컴퓨터에 파일로 저장하였으며 cubic spline 함수로 보간하여 동조하였고, 동조 시간은 1/60초로 하였다. 신체 분절 모수치는 Plagenghoef, Evans, & Abdelnour(1983)와 Chandler, Clauser, McConville, Reynolds, & Young (1975)의 자료를 사용하였다(비솔, 2002). 동조된 2차원 좌표 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, 투사각(정면, 측면)·경사각·고관절각·착지각, 평균 도마반력·평균 모멘트팔·평균 토크, 전신의 총각운동량(total angular momentum; H)·공전적 각운동량(transfer angular momentum; T)·자전적 각운동량(local angular momentum; L)을 산출하였다. 여기서 양손이 도마에 접촉하여 이지할 때까지의 운동량 변화량이 곧 충격량이므로 YZ 평면상의 도마 반력 벡터를 산출할 수 있으며, 이 YZ 평면상의 도마 이지 지점과 신체 중심 위치, 그리고 도마 반력 벡터가 이루는 기하학적인 도형을 이용하여 모멘트 팔을 산출하였다. 특히 연구 대상자들의 질량과 신장이 서로 다르므로 전신의 각운동량은 질량과 신장의 제곱으로 나누어 표준화하였고, 그 값이 너무 작아 1000을 곱하였다.

투사각은 도마 이지시 신체의 투사각을 분석하기 위한 것으로서 YZ평면에서 Y축과 신체중심 속도벡터가 이루는 각을 정면 투사각으로 또 XZ평면에서 신체중심 속도벡터와 Z축이 이루는 각을 측면 투사각으로 설정하였다. 경사각은 도마 접촉시 도립된 신체의 경사각을 분석하기 위한 것으로서 YZ 평면에서 도마 접촉 지점에서 신체중심을 연결한 벡터와 Z축이 이루는 각으로 설정하였고, 고관절각은 체공 중 스트레이트(straight) 자세를 분석하기 위한 것으로서 고관절에서 발끝을 연결한 벡터와 몸통벡터가 이루는 각으로 설정하였으며, 그리고 착지각은 매트 착지시 신체 자세를 분석하기 위한 것으로 YZ 평면에서 발중심에서 신체중심을 연결한 벡터와 Z축이 이루는 각으로 설정하였다.

III. 결과 및 논의

몸 펴 쿠에르보 비틀기 동작에 대한 주요 운동역학적 변인의 분석 결과는 다음과 같으며, YTY는 동일한 동작을 연구한 여홍철(2003)의 연구결과, LuBin은 같은 사람의 츠카하라 동작을 연구한 임규찬(2004)의 연구결과를 중심으로 비교 논의하고자 한다.

1. 구간별 소요시간

구간별 소요시간 및 전체 소요시간은 <표 2>와 같이 나타났다.

<표 2> 구간별 소요시간 및 전체 소요시간 (단위: 초)

대상자	BC	PRF	HC	POF	비틀기 누적시간			전체 시간
					1	1.5	2	
YTY	0.12	0.12	0.20	0.97	0.83	-	-	1.40
JSM	0.10	0.15	0.13	0.98	0.75	0.98	-	1.37
LuBin	0.08	0.10	0.18	1.08	0.65	0.82	1.00	1.45

<표 2>와 같이 몸 펴 쿠에르보 비틀기 전체 소요시간은 1.37~1.40초, 후비약 소요시간은 0.97~1.08초, 도마 접촉 소요시간은 0.13~0.20초, 전비약 소요시간은 0.10~0.15초로 나타나 비틀기가 많은 쿠에르보 동작일수록 후비약 시간이 길게 나타났으나, 도마 접촉시간은 짧아지는 경향을 보였다. 이는 비틀기 회전수를 증가시키기 위해서는 보다 강력한 도마 반력을 필요로 한다는 것을 시사한다. 또한 비틀기가 많은 쿠에르보 동작일수록 처음 1회전 비틀기 시간은 0.83~0.65초로 짧았으며, 1회전의 단위시간도 0.83초, 0.65초, 0.5초로 짧았다. 그러므로 비틀기 각속도는 7.6rad/s, 9.7rad/s, 12.6rad/s로 산출된다.

도마 접촉시간에서 볼 때 쿠에르보는 츠카하라보다 짧을 수밖에 없는 동작이다. 본 연구의 도마 접촉시간은 여홍철(2003a)의 0.17초와 같았고, 임규찬(2004)의 0.22초보다 짧게 나타나 쿠에르보의 도마 반력은 츠카하라보다 크게 나타날 것이란 예측을 가능하게 한다.

2. 신체중심 높이·거리와 신체중심 속도

주요 순간과 구간에서의 신체중심 높이·거리와 신체중심 속도는 <표 3>, <표 4>와 같이 나타났다.

<표 3> 신체중심 높이와 수평거리 (단위: m)

대상자	높이와 변화량					수평거리	
	HTD	HTO	Δ	PH	Δ	PRF	POF
YTY	1.74	2.43	0.69	2.97	0.54	0.63	3.34
JSM	1.67	2.11	0.44	2.66	0.55	0.64	2.76
LuBin	1.65	2.39	0.74	3.23	0.84	0.51	3.37

<표 3>과 같이 몸 펴 쿠에르보 비틀기 도마 접촉시 신체중심 높이의 변화량은 0.44~0.74m, 도마 이지후 최고 높이까지의 신체중심 높이의 변화량은 0.54~0.84m로 나타나 비틀기가 많은 쿠에르보 동작일수록 그 변화량 값이 큰 경향을 보였다.

특히 JSM의 도마 이지시 신체 중심의 높이가 상대적으로 낮은 것은 <표2>의 짧은 도마 접촉시간과 무관하지 않은 것으로 판단된다. 즉, JSM은 다리가 전방으로 넘어가지 않은 도립 상태에서 너무 일찍 도마를 이지한 것으로 드러났다. YTY의 최고점 높이는 여홍철(2003a)의 2.98m와 일치하였으며, LuBin의 최고점 높이는 임규찬(2004)의 3.11m보다 높았다. 또한 비틀기가 많은 쿠에르보 동작일수록 전비약의 수평거리는 줄고, 후비약의 수평거리는 커지는 경향을 보였다.

<표 4> 신체중심 속도 (단위: m/s)

대상자	수평속도			수직속도			합속도
	HTD	HTO	Δ	HTD	HTO	Δ	HTO
YTY	5.61	3.30	-2.31	3.79	3.10	-0.69	4.53
JSM	4.42	2.89	-1.53	3.15	3.38	0.23	4.45
LuBin	5.40	3.29	-2.11	4.40	3.72	-0.68	4.97

<표 4>와 같이 몸 펴 쿠에르보 비틀기 도마 접촉시 신체중심 수평속도의 변화량은 -1.53~-2.31m/s이고, 수직속도의 변화량은 -0.69~0.23m/s로 나타나 수평속도의 변화량이 크면 그만큼 수직속도의 변화량이 줄어드는 일반적인 현상을 보였다. 특히 JSM을 제외한 두 선수의 수평속도의 변화량은 임규찬(2004)의 -1.25~-1.79m/s에 비해 크고, 수직속도의 변화량도 -0.17~-0.58m/s에 비해 크게 나타났다. 따라서 쿠에르보 동작을 구사하기 위해서는 츠카하라에 비해 수평속도의 제어 능력이 좋아야 한다.

도마 이지시 YTY의 신체중심 수평속도와 수직속도는 여홍철(2003a)의 2.92, 3.47m/s에 비해 수평속도는 크고 수직속도는 작게 나타났으나, JSM의 수평속도는 YTY보다 작게 나타나 JSM의 조주 속도와 발구름 동작에 개선이 요구된다. 뿐만 아니라 JSM은 착지 준비에 있어 시간이 다소 부족했으므로 도마 접촉시 수평속도 변화량을 늘려서 수직속도를 크게 해야 한다. LuBin의 경우 도마 이지시의 수평속도 3.29m/s는 임규찬(2004)의 4.18 m/s보다 작았으나, 수직속도 3.72m/s는

3.63m/s보다 약간 큰 것으로 나타났다. 따라서 LuBin은 쿠에르보 도마 접촉시 수평속도를 제어함으로써 충분한 수직속도를 획득하였다고 판단된다.

4. 각도 변인

도마 접촉시 투사각과 경사각, 체공 중 최소고관절각, 매트 착지시 착지각은 <표 5>와 같이 나타났다.

<표 5> 투사각, 경사각, 고관절각, 착지각 (단위: 도)

대상자	투사각		경사각		고관절각	착지각
	정면	측면	HTD	HTO		
YTY	43	2	-68	5	145	24
JSM	49	2	-59	-6	145	27
LuBin	49	-1	-76	-6	140	15

도마 이지시 신체 정면 투사각은 <표 4>의 자료를 근거로 산출해보면 <표 5>의 43~49도로 나타났으나 JSM의 수평속도를 개선시켰을 때 JSM의 정면 투사각은 약간 낮아질 것으로 보인다. 측면 투사각은 -1~2도로 나타나 선수들 모두 전방향 쪽으로 무리 없이 도마를 이지한다고 볼 수 있다.

도립된 신체의 경사각은 도마 착지시 -59~-76도, 도마 이지시 -6~5도로 나타나 YTY는 다른 선수들과는 달리 몸이 전방으로 약간 나아간 상태에서 이지하는 것을 알 수 있다. 그리고 그 각변위의 크기로 보면 JSM, YTY, LuBin의 65도, 73도, 82도 순으로 나타나 각충격의 효과에 있어 LuBin이 가장 클 것이란 예측을 하게 한다(Dapena, 2000).

체공 중 스트레이트 자세가 나타나는지를 평가하기 위한 고관절각은 140~145로 나타나 선수들이 완전히 몸을 편 상태에서 비틀기를 수행하지 않는 것으로 나타났다. 비틀기는 일반적으로 기울여 비틀기를 수행하게 되는데(Yeadon, 1993a), 관성모멘트를 줄인 변형된 고양이 비틀기도 수행하는 것으로 판단된다.

신체가 매트에 착지할 때의 자세를 분석하기 위한 착지각은 15~27도로 나타났다. 쿠에르보 한 바퀴 또는 두 바퀴 비틀기 착지는 도마 쪽으로, 한 바퀴 반 비틀기는 매트 쪽으로 착지하게 된다. 따라서 YTY와 LuBin의 도마 쪽 착지위치와 경사각을 연결시켜 생각해보면 신체중심이 전방에 위치하므로 착지에 문제가 없는 것으로 판단된다. 또 선수들의 경험담을 들어보면 비틀어서 착지할 때 도마 쪽으로 착지하는 것이 더 어렵다고 말하는 것을 볼 때 이 두 선수의 착지는 비교적 완벽했다고 판단된다. 그러나 매트 쪽으로 착지한 YTY의 착지자세와 경사각을 동시에 고려해보면 신체중심이 엉덩이 뒤 쪽에 있음을 알 수 있어 YTY는 불안한 착지를 한 것으로 보인다.

5. 도마 접촉시 운동역학적 변인

도마 접촉시 평균 도마반력, 평균 모멘트팔과 평균 토크는 <표 6>과 같이 나타났다.

<표 6> 평균 도마반력, 평균 모멘트팔과 평균 토크

대상자	평균 도마반력 (N)			도마 이지점과 신체중심 거리 (m)		평균 모멘트팔 (m)	평균 토크 (Nm)
	수평	수직	R	수평	수직		
YTY	-728	401	831	0.09	0.93	0.86	713
JSM	-654	657	927	-0.09	0.88	0.56	516
LuBin	-691	366	782	-0.11	0.99	0.82	643

<표 6>과 같이 몸 펴 쿠에르보 비틀기 도마 접촉시 평균 도마반력은 782~927N로 나타나 이를 체중비로 표준화하면 1.33, 1.34, 1.66BW(체중)을 보였다. 특히 JSM의 도마반력이 가장 크게 나타나 JSM의 도마반력 제어 능력은 좋다고 할 수 있다. 임규찬(2004)의 LuBin의 평균 도마반력 체중비를 산출해보면 0.86%BW으로 계산되기 때문에 쿠에르보의 평균 도마반력은 츠카하라보다 클 것이란 기대와 일치하였다.

도마 이지점에서 신체중심까지의 거리, 평균 도마반력 벡터를 이용한 기하하적 정의에서 산출된 평균 모멘트팔은 0.56~0.86m, 평균 토크는 516~713Nm로 나타났다. 이는 LuBin의 평균 모멘트팔 0.46m, 평균 토크 337Nm(임규찬, 2004)보다 대부분 크게 나타나 쿠에르보 동작의 각충격량이 츠카하라 동작보다 큰 것으로 판단할 수 있다. JSM의 경우 수평속도 증분량이 부족해 평균 도마반력의 방향이 다른 두 선수보다 상방을

향하기 때문에 평균 모멘트팔이 상대적으로 작게 나타나 평균토크가 작은 것으로 보인다. 따라서 JSM은 조주에서 큰 수평속도의 획득이 선행되어야 한다고 판단된다.

6. 각운동량

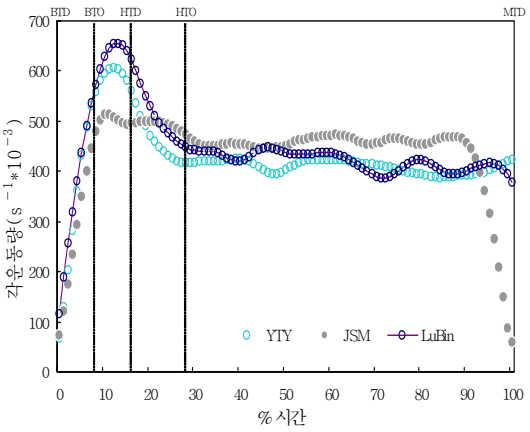
선수가 도마 이지후 체공에서 전신이 최초로 직립되는 순간에 비틀기가 처음 이루어진다. 이 시점에서의 총각운동량, 공전적각운동량, 자전적각운동량은 <표 7>과 같고 전신의 총각운동량 변화는 <그림 2>와 같다.

<표 7> 성분에 따른 각운동량 (단위: $s^{-1} \cdot 10^{-3}$)

	대상	Hx	Hy	Hz	Tx	Ty	Tz	Lx	Ly	Lz
전신	YTY	-421	13	6	-378	24	-24	-43	-11	30
	JSM	-456	15	-34	-404	18	-62	-52	-3	28
	LuBin	-433	40	9	-386	57	-11	-47	-17	20
머리몸통	YTY	-53	-11	6	-27	-4	-4	-26	-7	10
	JSM	-69	-2	10	-26	-2	-1	-43	0	12
	LuBin	-60	-11	-4	-28	-1	-6	-32	-10	2
팔	YTY	-36	8	27	-36	8	24	-1	0	3
	JSM	-50	26	4	-49	26	2	-1	0	2
	LuBin	-37	-7	42	-35	-7	39	-2	0	3
다리	YTY	-253	8	-17	-237	11	-32	-16	-3	15
	JSM	-263	0	-33	-254	3	-46	-8	-3	13
	LuBin	-256	39	-22	-243	45	-36	-12	-5	14

<표 7>과 같이 전신의 총각운동량 중 x성분은 -456~-421 $s^{-1} \cdot 10^{-3}$으로 부적, y성분은 13~40 $s^{-1} \cdot 10^{-3}$으로 정적, z성분은 -34~9 $s^{-1} \cdot 10^{-3}$으로 부적 또는 정적으로 나타났다. 그리고 YTY, JSM, LuBin의 총각운동량 크기는 각각 422, 458, 435 $s^{-1} \cdot 10^{-3}$(이하 단위 생략함)로 계산되었고, 이는 BSP 자료가 동일한 쿠에르보 한 바퀴 비틀기를 분석한 여홍철(2003a)의 533보다 작게 나타났다. 따라서 본 연구대상자들은 도마 이지시 각운동량을 충분히 획득한 것으로 판단된다.

비틀기가 처음 이루어지는 순간 신체 분절의 공전적 각운동량의 전방회전은 다리 분절(-254~-237)이 회전의 주 역할을 했으며, 팔 분절(-49~-35), 머리와 몸통 분절(-28~-26)의 순으로 기여했다. 특히 JSM의 전방각운동량이 가장 컸으며, LuBin, YTY의 순으로 전방각운동량을 나타냈다. 우측회전은 다리 분절(3~45)과 팔 분절(8~26)이 회전의 주 역할을 했으며, 또 팔 분절(-7) 및 머리와 몸통 분절(-4~-1)이 정적 각운동량의 보상 작용으로 상쇄되었다. 특히 LuBin의 팔 분절의 각운동량(-7)이 부적으로 나타났는데 이는 한 바퀴를 비틀어 몸통이 도마를 보게 되는 상태에서 팔을 지속적으로 회전시킬 때 나올 수 있는 값이므로 그 수행력이 좋다고 평가할 수 있다. 수평 시계회전은 다리 분절(-46~-32)과 머리와 몸통 분절(-6~-4)이 역할을 했으며, 팔 분절(2~39)이 부적 각운동량의 보상 작용으로 상쇄되었다. 특히 JSM의 팔 분절에 의한 정적 각운동량(2)이 가장 작게 나타나 JSM의 팔 동작은 문제가 있는 것으로 판단된다. 머리와 몸통 분절 그리고 다리 분절 자체의 회전에 의한 자전적 각운동량은 크게 나타났으나, 팔 분절 자체에 의한 자전적 각운동량은 낮게 나타났다.



<그림 2> 몸 펴 쿠에르보 비틀기 각운동량 변화

IV. 결 론

본 연구는 제 22회 하계 유니버시아드 대회와 제 85회 전국체육대회 도마 결승에 오른 선수 중 몸 펴 쿠에르보 한 바퀴, 한 바퀴 반, 두 바퀴 비틀기 기술을 발휘한 우수선수 3명의 실제 경기 장면을 DLT 방식으로 3

차원 영상분석하여 구간별 소요시간, 신체중심의 변위·속도, 투사각·경사각·고관절각·착지각, 평균 도마반력·평균 모멘트팔·평균 토크, 전신의 총각운동량·공전적 각운동량·자전적 각운동량을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

몸 펴 쿠에르보 비틀기 기술을 훌륭하게 수행하려면 빠른 도움닫기에 의한 수평속도를 획득하여 구름판에 착지하고, 전비약의 수평거리를 짧게 하여 도마에 착지하며, 짧은 도마 접촉시간 내에 신체 중심을 지속적으로 높여야 한다. 또한 도마 접촉시 수평속도를 제어하여 도마 반력을 만들고 이를 이용해 수직속도를 증가시켜야 하며, 도립된 신체의 경사각의 각변위를 증가시켜야 한다. 이렇게 형성된 신체중심 속도와 획득된 각운동량을 이용해 도마를 이지하여 공중에 오르고, 양팔을 끝까지 휘둘러 기울여 비틀기를 하되, 머리와 몸통의 회전을 기여시켜 고관절을 약간 구부린 고양이 비틀기도 병행해야 한다.

가장 수행력이 좋은 선수는 LuBin이라 판단되며, YTY, JSM 순으로 수행력을 평가할 수 있다.

참 고 문 헌

비솔(2005). 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(2003a). 도마 손 짚고 몸 펴 앞 공중돌아 540도 비틀기의 역학적 분석. 한국체육대학교 대학원 박사학위 논문.

여홍철(2003b). 도마 Yeo 동작에 대한 운동학적 요인 분석. 한국운동역학회지, 13, 1, 39-50.

임규찬(2004). 도마 츠카하라 몸 접어 뒤로 두 번 돌기의 운동역학적 분석. 한국운동역학회지, 14, 3, 135-147.

Barham, J.N.(1978). Mechanical kinesiology. St. Louis, Missouri, The C.V. Mosby company, 349-367.

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.

Dapena, J.(2000). The high jump. Biomechanics in sport by Zatsiorsky, V.M.(Ed.), Malden, Blackwell Science, 284-311.

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.

Hopper, B.J.(1973). The mechanics of human movement. London, Crosby Lockwood Staples, 104-111.

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 Bio- mechanics*, 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 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.

Yeadon, M.R.(1993). The biomechanics of twisting somersaults. Part Ⅰ: Rigid body motions. *Journal of Sports Sciences*. 11, 187-198.

Yeadon, M.R.(2000). Aerial movement. Biomechanics in sport by Zatsiorsky, V.M.(Ed.), Malden, Blackwell Science, 273-283.

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