



한국운동역학회지, 2003, 제13권 3호, pp. 81-98
Korean Journal of Sport Biomechanics
2003, Vol. 13, No. 3, pp. 81-98

도마운동 Li Xiaopeng 동작의 운동학적 분석

박종훈*(관동대학교) · 윤상문**(삼척대학교)

ABSTARCT

The Kinematical Analysis of Li Xiaopeng Motion in Horse Vaulting

Park, Jong-Hoon*(Kwandong University) · Yoon, Sang-moon**(Samcheok University)

J. H. PARK, S. M. YOON. The Kinematical Analysis of Li Xiaopeng Motion in Horse Vaulting. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol.13, No.3, pp. 81-98, 2003. The purpose of this study is to closely examine kinematic characteristics by jump phase of Li Xiaopeng motion in horse vaulting and provide the training data. In doing so, as a result of analyzing kinematic variables through 3-dimensional cinematographic using the high-speed video camera to Li Xiaopeng motion first performed at the men's vault competition at the 14th Busan Asian Games, the following conclusion was obtained.

1. It was indicated that at the post-flight, the increase of flight time and height and twisting rotational velocity has a decisive effect on the increase of twist displacement. And Li Xiaopeng motion showed longer flight time and higher flight height than Ropez motion with the same twist displacement of entire movement. Also the rotational displacement of the

2003년 10월 15일(수) 접수

* Corresponding author, 210-701 강원도 강릉시 내곡동 522 관동대학교 관광스포츠대학 스포츠레저학부
연락처 : pjh@kwandong.ac.kr, Tel : 016-9456-3456

** 교수, 245-711 강원도 삼척시 교동 253 삼척대학교 관광레저스포츠학과

trunk at peak of COG was much short of 360°(one rotation) but twist displacement showed 606°. Likewise, Li Xiaopeng motion was indicated to concentrate on twist movement in the early flight.

2. It was indicated that at the landing, Li Xiaopeng motion gets the hip to move back, the trunk to stand up and the horizontal velocity of COG to slow down. This is thought to be the performance of sufficient landing, resulting from large security of rotational displacement of airborne and twist displacement.
3. It was indicated that at the board contact, Li Xiaopeng motion made a rapid rotation uprighting the trunk to recover slowing velocity caused by jumping with the horse in the back, and has already twisted the trunk nearly close to 40° at board contact. Under the premise that elasticity is generated without the change of the feet contacting the board, it will give an aid to the rotation and twist of pre-flight. Thus, in the round-off phase, the tap of waist according to the fraction and extension of hip joint and arm push is thought to be very important.
4. It was indicated that at the pre-flight, Li Xiaopeng motion showed bigger movement than the techniques of precedented studies rushing to the horse, and overcomes the concern of relatively low power of jump through the rapid rotation of the trunk. Li Xiaopeng motion secured much twist distance, increased rotational distance with the trunk bent forward, resulting in the effect of rushing to the horse.
5. At horse contact, Li Xiaopeng motion makes a short-time contact, and maintains horse take-off angle close to vertical, contributing to the increase of post-flight time and height. This is thought to be resulted from rapid move toward movement direction along with the rotational velocity of trunk rapidly earned prior to horse contact, and little shave of rotation axis according to twist motion because of effective twist in the same direction.

KEY WORDS : LI XIAOPENG MOTION, ROTATION, TWIST, HORSE VAULTING

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

도마운동의 기술은 직접 뛰어넘기, 제 1비약 시 1회전 비틀기 동작이 있는 뛰어넘기, 손 짚고 앞 돌기 형태의 뛰어넘기, 손 짚고 옆 돌아 뛰어넘기, 그리고 도움 짚기에 의한 뛰어넘기와 같이 5가지 기술 요소로 구분하고 있다. 이 기술요소들은 제 1비약의 도약 형태와 제 2비약 시 신체 자세 및 공중 회전과 비틀기 거리의 차이에 따라 가치점을 규정하고 있다.

2001년부터 시행된 새로운 채점규칙(FIG, 2001)에 의하면, 기술의 실질적 수준향상과 평가를 용이하게 하기 위하여 각 각의 기술에 대해 부여할 수 있는 가치점이 미적 아름다움보다는 다이내믹하고 곡예적인 면을 강조하여 규정되었고, 결승경기에서는 두 번의 도약이 각기 다른 기술요소에 의해 수행되어야만 한다고 명시하고 있다. 또한 도마의 면을 넓히고, 앞쪽으로 기울이며, 도마 앞부분의 모서리를 둥글게 하여 도마의 규격을 변형시킴으로써 손 짚기의 안정성과 용이함을 높였을 뿐만 아니라 손 짚기에 의한 충격을 줄이고 손목관절의 가동범위 확대에 따른 부상을 예방하고 있다.

이와 같이 도마 형태가 변형됨으로서 최근의 경기에서는 도마 접촉 시 안전한 블로킹(blocking) 동작의 수행에 따라 도약력이 상승되고 있으며, 제 2비약 운동의 질적 수준과 웅대한 면이 증가하고 있다. 그동안 본 연구의 대상과 같은 도움 짚기에 의한 뛰어넘기 기술은 도마를 세로로 설치하여 실시하였던 남자 경기에서보다는 도마가 가로로 설치되어 손 짚기가 용이하였던 여자경기에서 많이 발전할 수 있었다. 그러나 도마의 접촉면이 넓어지고 앞쪽으로 기울어지게 변형되면서부터 남자 선수들도 도움 짚기에 의한 뛰어넘기 기술에 매우 큰 관심을 가지게 되었으며, 더욱이 제 1비약에서 비틀기를 포함시키는 것과 같은 다양한 형태를 이루는 특성을 보이고 있는 실정이다.

도마운동 Li Xiaopeng 동작은 도움 짚기 후 제 1비약 국면에서 반 바퀴 비틀어 정면으로 도마를 짚어 뛰어넘고 제 2비약 국면에서 몸 펴 앞 공중 돌며 2½(900°) 비틀기를 하는 동작이다. 이 기술은 2002년 제 14회 부산아시아안게임에서 세계적으로 유일하게 중국의 리샤오핑 선수에 의해 처음 시도되었고, 이듬해인 2003년 4월에 세계체조연맹으로부터 Li Xiaopeng 이라는 정식 기술명칭을 부여받았다. 또한 리샤오핑 선수는 2003년 8월에 미국 에너하임에서 개최된 세계기체조선수권대회 도마 경기에서 이 기술을 또다시 시도하여 금메달을 획득하였다.

Li Xiaopeng 동작은 10점 만점의 가치를 지니고 있는 매우 독창적이고 어려운 고난도의 기술이다. 특히 도움 짚기 후 제 1비약 국면에서 반 바퀴 비틀어 정면으로 도마를 착수하는 특성을 보이고 있을 뿐만 아니라 제 2비약 국면에서도 다른 요소의 고난도 기술보다도 뒤지지 않는 900°의 비틀기를 수행함으로써 획기적인 기술발달을 이루어냈다고 할 수 있다.

도마운동 도움 짚기에 의한 뛰어넘기 계통의 주요 동작은 상체의 회전과 적절한 타이밍을 갖고

발구름을 하여 원활한 제 1비약(비틀기) 운동을 하는데 있다. 또한 좀더 고난도의 연기를 수행하기 위해서는 도마 접촉의 블로킹에 의한 효율적인 탄성의 역할뿐만 아니라 신체를 비트는 방법과 시점이 매우 중요하다. 이는 제 2비약의 체공시간과 높이 그리고 공중돌기와 비틀기에 대한 회전력을 증가시키는 주요 요인이 된다고 할 수 있다.

그동안 도마운동의 기술분석에 관한 선행연구를 살펴보면, 이순호, 백진호, 박종훈, 및 한충식(2001)은 가사마스계의 기술 분석에서 도마 접촉 시간을 짧게 하여 도마의 블로킹에 의한 탄성을 크게 하는 것이 도마 이륙의 수직속도를 상승시키고 제 2비약의 체공시간을 증가시키는 요인이라고 하였고, 류지선, 박종훈, 및 한윤수(2000)는 Cuervo 1회전 비틀기 동작의 분석에서 제 2비약의 비행시간과 거리를 증가시키기 위해서는 어깨각과 신체의 경사각을 작게 하면서 빠른 속도로 도마에 접근하여 보다 완전한 Bloking을 실시하여야 한다고 보고하였으며, 박종훈, 윤상호, 백진호, 김동민, 및 정남주(2003)는 Ropez 동작의 분석에서 제 2비약 시 3회전 비틀기 회전의 효율성을 높이기 위해서는 체공 높이를 증가시켜야 하고 최고점 시 신체의 직립자세를 이루지 못하더라도 도마를 이륙하면서부터 비틀기 운동에 치중하여 270°이상의 비틀기 거리를 확보하여야 한다고 보고하였다. 또한 Dillman, Cheetham 와 Smith(1985)는 도마운동 제 2비약의 높이는 손 짚고 옆 돌아 뒤 공중돌기 동작이 손 짚고 앞 돌아 앞 공중돌기 동작보다 약 0.1m정도 낮은 높이를 나타내고 있는데 이는 손 짚고 앞 돌아 앞 공중돌기 동작보다 도마 이륙 시 낮은 신체각과 느린 수직속도가 그 원인이었다고 보고하였다. 이상의 선행 연구들에 의하면 도마운동에서 도약 단계별 운동학적 요인의 차이는 제 2비약의 공중 회전운동에 공헌을 달리하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 도마운동에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만 도움 짚기에 의한 기술 요소 중 제 1비약 시 비틀기 동작이 포함된 동작에 관한 기초자료는 찾아보기 어려울 뿐만 아니라 Li Xiaopeng 동작과 같이 10점 만점의 가치가 있는 고난도의 새로운 기술에 대한 분석은 아직 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 도마운동 Li Xiaopeng 동작의 실제 경기장면을 3차원적 영상분석에 의한 운동학적 분석을 통하여 도약 단계별 운동학적 특성을 규명하고 신체의 효율적인 회전과 비틀기 운동을 밝힘으로써 현장의 훈련자료로 제공하는데 그 목적을 두고 본 연구에 착수하였다.

2. 용어의 정의

- 1) 접촉시간 : 구름판에 발이 접촉하고 있는 지지시간 및 도마에 손이 접촉하고 있는 지지시간.
- 2) 체공시간 : 구름판 이륙 시부터 도마 접촉 시까지 걸린 비행시간 및 도마 이륙 시부터 매트 착지 시까지 걸린 비행시간.
- 3) 견관절각 : 상완과 동체가 이루는 상대각도.
- 4) 고관절각 : 대퇴와 동체가 이루는 상대각도.
- 5) 슬관절각 : 대퇴와 하퇴가 이루는 상대각도.

- 6) 동체의 회전각 : 동체가 Z축과 이루는 절대각도.
- 7) 동체의 비틀기각 : X축과 이루는 어깨선과 엉덩이선 각도의 평균.
- 8) 발구름 시 지지각 : 발의 중앙과 신체중심을 잇는 선이 Y축과 이루는 절대각도.
- 9) 도마 접촉 시 지지각 : 손의 중앙과 신체중심을 잇는 선이 Y축과 이루는 절대각도.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구에 선정된 대상자는 2002년 제 14회 부산아시아경기대회 남자 체조경기에 출전한 선수 중 도마경기에서 세계 처음으로 Li Xiaopeng 동작을 수행한 중국의 리샤오핑 선수이며, 이 선수가 도마 결승경기 1차 시기에서 수행한 Li Xiaopeng 동작(Round off, 1turn and handspring forward and salto forward stretched with 5/2turn)과 2차 시기에서 수행한 Hutcheon 1turn 동작(Round off, 1turn and handspring forward and salto forward stretched with 3/2turn)을 대상으로 분석하여 비교하였다. 리샤오핑 선수의 신체적 특성은 나이가 23세, 신장이 162cm, 체중이 53kg이다.

2. 실험장비

본 연구에 사용된 실험장비는 촬영장비와 분석장비로 분류되며, 그 자세한 사항은 <표 1>과 같다.

표 1. 실험장비의 특성

	기기명	제품명	제작사
촬영장비	Camcorder 2대	5100HS	Panasonic
	Control object	1m × 1m × 1m	KMU
분석장비	VCR	AG-7350	Panasonic
	Monitor	PVM-1454Q	Sony
	비디오 분석 프로그램	Kwon3D Ver.2.1	V-tec
	Computer	IBM 586 펜티엄	IBM

3. 실험절차

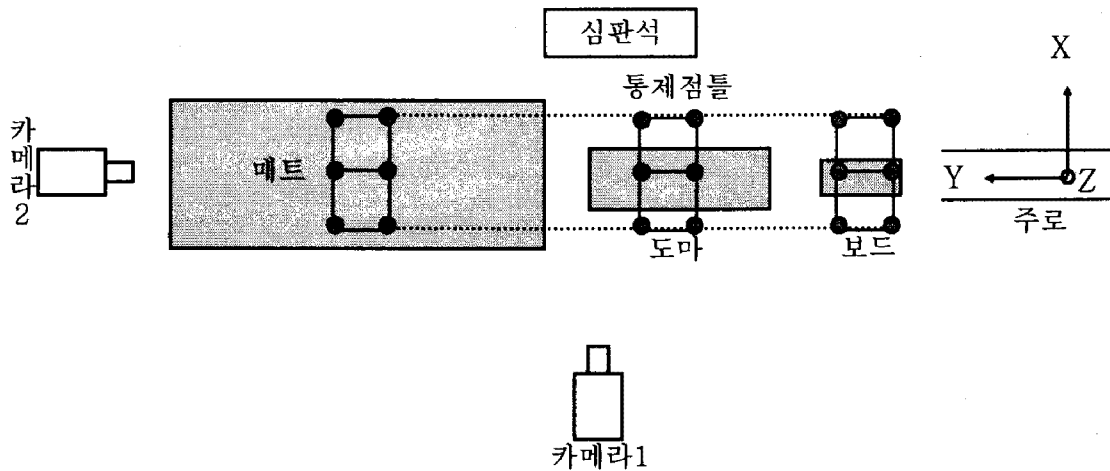


그림 1. 실험장비의 배치

본 연구의 대상인 도마운동 Li Xiaopeng 동작과 Hutcheon 1turn 동작은 부산 사직체육관에서 개최된 제 14회 부산아시아경기대회 남자 체조 도마 결승경기에서 촬영되었다.

도마경기의 영상촬영은 2대의 Camcorder를 사용하였으며, 한 대의 캠코더는 도마경기의 측면에 설치하였고, 다른 한 대의 캠코더는 도마경기의 진행방향에 설치하였다(그림 1). 이때 촬영속도는 30frames/sec이고 셔터 스피드는 1/250초로 하였다. 영상촬영은 대회가 시작되는 시점부터 종료되는 시점까지 연속적으로 기록하였으며, 통제점 틀은 대회가 완전히 종료된 후 도마와 매트를 제거한 후 동일한 위치에 설치하여 약 1분 동안 촬영하였다. 이 통제점 틀은 1m×2m×4m의 직육면체로서 각각 독립된 3개의 통제점 틀을 일직선으로 정렬하여 사용하였다.

4. 자료처리

본 연구의 자료처리는 Kwon3D 2.1 동작분석 프로그램을 사용하였다. 자료처리과정은 통제점 틀에 의한 90개의 통제점을 이용하여 실 공간 좌표가 계산된 후 인체의 3차원 좌표가 얻어졌다. 이때 좌·우 방향을 X축, 운동 진행 방향인 전·후 방향을 Y축, 그리고 상·하 방향을 Z축으로 정의하였다. 인체의 모델은 총 21개의 관절점에 의한 16개의 신체 분절로 연결된 강체 시스템으로 정의하고, 각 분절의 무게중심과 전체 무게중심의 위치를 계산하기 위한 인체 분절 모수치(body segment

parameters)는 Chandler(1975)의 자료를 이용하였다.

각 각의 캠코더로부터 얻은 2차원 좌표는 3차 스플라인 함수를 이용하여 0.02초 간격으로 보간하여 동조시켰다. 또한 3차원 좌표 계산은 Abdel-Aziz와 Karara(1971)가 개발한 DLT(direct linear transformation)방식을 사용하였으며, 이때 디지털이징 등과 같은 여러 가지 원인에 의해 발생하는 노이즈에 의한 오차 제거는 Butterworth 2차 저역 통과 필터(low-pass filter)를 이용하여 스프딩하였고, 이때 차단 주파수는 6Hz로 설정하였다.

1) Li Xiaopeng 동작의 이벤트와 국면

Li Xiaopeng 동작의 국면과 이벤트는 구름판(board)을 접촉하는 순간에서부터 매트에 착지하는 순간까지를 6개의 이벤트와 4개의 국면으로 구분하였다(그림 2).

(1) 이벤트

- ① BTD(board touch-down) : 구름판에 발이 접촉하는 순간.
- ② BTO(board take-off) : 구름판에서 이륙하는 순간.

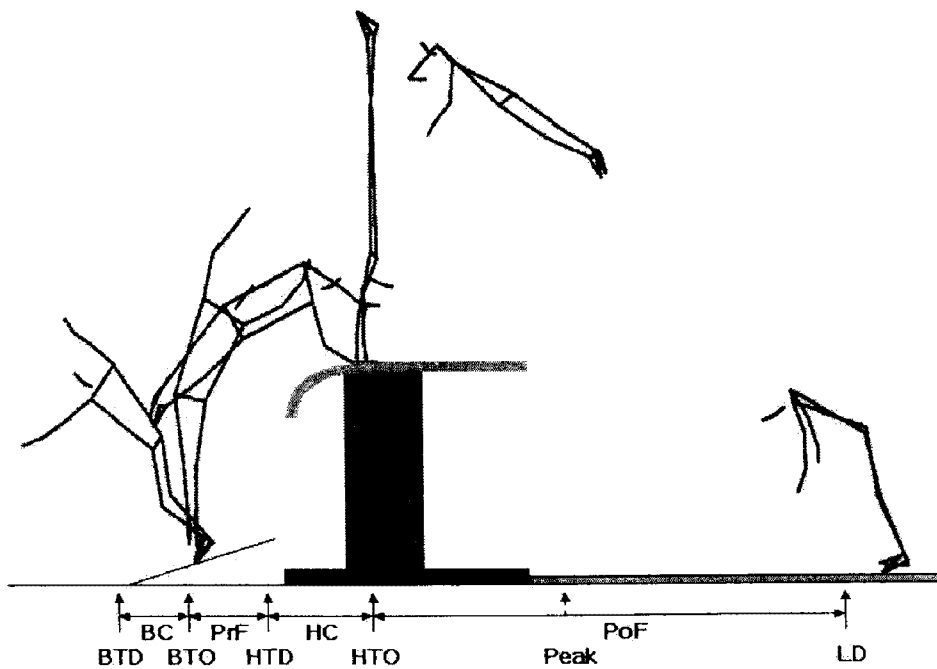


그림 2. Li Xiaopeng 동작의 이벤트와 국면 구분

- ③ HTD(horse touch-down) : 도마에 손이 접촉하는 순간.
- ④ HTO(horse take-off) : 도마에서 이륙하는 순간.
- ⑤ Peak : 제 2비약의 공중동작 중 신체중심이 최고 높이가 되는 순간.
- ⑥ LD(landing) : 발이 매트에 접촉하는 착지 순간.

(2) 국면

- ① 구름판 접촉(board contact) : 발이 구름판에 접촉하고 있는 발구름 구간.
- ② 제 1비약(pre-flight) : 구름판 이륙 시부터 도마 접촉 순간까지의 비행 구간.
- ③ 도마 접촉(horse contact) : 손이 도마에 접촉하고 있는 구간.
- ④ 제 2비약(post-flight) : 도마 이륙 시부터 발이 매트에 접촉하는 순간까지의 공중 회전운동 구간.

Ⅲ. 결과 및 논의

본 연구의 대상이 된 Li Xiaopeng 동작은 도움 짚기에 의한 발구름 후 $\frac{1}{2}$ 틀어 손 짚고 앞돌아 몸 펴 앞 공중 돌며 $2\frac{1}{2}(900^\circ)$ 비틀기이며(이하; LX), 이 동작을 Hutcheon 1turn(도움 짚기에 의한 발구름 후 $\frac{1}{2}$ 틀어 손 짚고 앞돌아 몸 펴 앞 공중 돌며 $1\frac{1}{2}(540^\circ)$ 비틀기) 동작(이하; H1)과 비교 분석하였다. 또한 손 짚고 옆 돌기 계통의 동작으로서 제 2비약 국면에서 Li Xiaopeng 동작과 유사하게 몸 펴 뒤 공중 돌며 3회전을 비트는 Ropez 동작의 분석 결과(박종훈, 2003)를 참조하여 논의하였다. 동작이 이루어지는 전체 국면동안 동체의 비틀림의 특성은 어깨선이 먼저 회전하고 그 후에 엉덩이 선이 회전하게 된다. 따라서 본 연구에서는 동체의 비틀림을 정확하게 파악하기 위하여 어깨선과 엉덩이 선의 평균값으로 동체의 비틀기를 분석하였다.

1. 발구름 국면

발구름 국면동안 LX 동작과 H1 동작의 운동학적 변인의 결과를 나타낸 것은 <표 2>와 같다.

구름판 접촉동안의 결과를 살펴 살펴보면, 접촉 시간은 LX와 H1 모두 0.1초로 똑같이 나타났다. 접촉 시 신체중심의 높이는 0.92m, 그리고 접촉동안 신체중심의 수직변위는 0.28m로서 LX와 H1이 모두 똑같이 나타났으나 접촉동안 신체중심의 수평변위는 LX가 0.5m로서 H1의 0.47m보다 약간 크게 나타났다. 또한 구름판 접촉 시 신체중심의 합성속도는 LX가 5.35m/s로서 H1의 5.13m/s보다 빠르게 나타났을 뿐만 아니라 이륙 시 신체중심의 합성속도에서도 LX는 5.91m/s로서 H1의 5.77m/s보

다 빠르게 나타났다. 접촉동안 신체중심의 수평속도는 LX와 H1이 각각 -1.25m/s와 -1.23m/s로서 서로 유사하게 감속되는 것으로 나타났다. 한편 구름판 접촉동안의 각도 요인을 살펴보면, 접촉 시 슬관절 각은 LX와 H1 모두 135°를 나타냈으며, 고관절 각은 LX가 141°로서 H1의 136°보다 크게 나타났다. 접촉 시 신체의 지지각은 LX가 58°, H1이 56°, 그리고 이륙 시 신체의 지지각은 LX가 95°, H1이 94°로서 접촉과 이륙 시 모두 서로 유사하게 나타났다. 접촉 시 비틀기 각은 LX가 216°로서 H1의 212°보다 약간 크게 나타났으며, 이륙 시 비틀기 각은 LX가 257°로서 H1의 249°보다 크게 나타났다. 접촉동안 동체의 평균 회전 각속도는 LX와 H1이 각각 666°/s와 664°/s로서 서로 비슷하게 나타났으나 동체의 평균 비틀기 각속도는 LX가 380°/s로서 H1의 341°/s보다 매우 빠르게 나타났다.

표 2. 발구름 국면의 운동학적 변인

변인	Li Xiaopeng	Hutcheon 1t.	Ropez
구름판 접촉(지지)시간(s)	0.1	0.1	0.1
구름판 접촉 시 신체중심의 높이(m)	0.92	0.92	0.91
신체중심의 수직변위(m)	0.28	0.28	0.25
신체중심의 수평변위(m)	0.5	0.47	0.53
구름판 접촉 시 신체중심의 합성속도(m/s)	5.35	5.13	6.47
구름판 이륙 시 신체중심의 합성속도(m/s)	5.91	5.77	6.49
신체중심의 수평속도 변화(m/s)	-1.25	-1.23	-1.88
구름판 접촉 시 슬관절 각도(°)	135	135	153
구름판 접촉 시 고관절 각도(°)	141	136	124
구름판 접촉 시 신체의 지지각도(°)	58	56	78
구름판 이륙 시 신체의 지지각도(°)	95	94	112
구름판 접촉 시 비틀기 각도(°)	216	212	×
구름판 이륙 시 비틀기 각도(°)	257	249	×
동체의 평균 회전 각속도(°/s)	666	664	250
동체의 평균 비틀기 각속도(°/s)	380	341	×

이상의 결과에 의하면, LX 동작과 H1 동작은 구름판 접촉과 이륙 시 모두 Ropez 동작보다 느린 속도를 보였다. 이는 LX 동작과 H1 동작은 도마 짚기를 하여 도마를 등지고 점핑하는 과정 때문에 접근 속도가 느렸던 것으로 생각되며, 이를 극복하기 위해 상체를 일으켜 세우면서 뒤로 빠르게 회전시키는 것으로 나타났다. 구름판 이륙 시 수직속도는 신체를 상승시키고, 수평속도는 신체의 회전에 영향을 준다(이순호, 2001). 도마를 등지고 구름판에 접근하여 뒤 회전을 빠르게 하는 LX 동작과

H1 동작이 도마에 직접 달려드는 Ropez 동작보다 이륙 시의 수평속도가 적게 감소되는 이유도 여기에 기인한다. 따라서 뒤 회전을 빨리 하여 제 1비약의 비행 시간을 단축시키기 위해서는 LX 동작과 같이 구름판에 빠르게 접근하고 빠르게 이륙하는 것이 절대적으로 필요한 것이다.

또한 발구름 동안 동체의 뒤 회전 요인은 LX 동작과 H1 동작이 큰 차이를 보이지 않고 있다. 비틀기 요인을 보면 LX 동작과 H1 동작이 모두 구름판 접촉 순간 도마를 정확히 등지고 발구름을 실시하는 것이 아니라 동체가 이미 40°에 가깝게 비틀리고 있음을 알 수 있다. 이는 도움 짚기 운동에 의한 비틀기 회전관성에 따른 것으로서 구름판 접촉 동안에도 몸통은 비교적 빠르게 계속 비틀리고 있다. 이러한 현상은 구름판 접촉 시 발이 뒤 방향으로 정확하게 접지하고 발구름 동안 발이 옆으로 비틀리지 않으면서 탄성을 얻어야 한다는 전제 하에 제 1비약운동에서 180°회전을 해야 하는 부담을 덜어줄 것이다. 또한 도움 짚기에서 허리 반동을 크게 하고 팔을 힘차게 밀어주어 동체의 회전을 빠르게 하고 구름판 접촉 시 고관절과 견관절 그리고 슬관절 각을 크게 하는 것은 발구름 동안 비틀기 회전축에 대한 회전분포를 작게 만들어 비틀기 회전의 효율성을 높이는데 크게 기여할 것이다.

2. 제 1비약 국면

제 1비약 국면동안 LX 동작과 H1 동작의 운동학적 변인의 결과를 나타낸 것은 <표 3>과 같다.

표 3. 제 1비약 국면의 운동학적 변인

변인	Li Xiaopeng	Hutcheon 1t.	Ropez
채공시간(s)	0.08	0.1	0.07
신체중심의 수평변위(m)	0.36	0.39	0.30
신체중심의 수직변위(m)	0.38	0.41	0.29
신체중심의 평균 합성속도(m/s)	5.82	5.61	5.85
신체중심의 평균 수평속도(m/s)	4.05	3.87	×
신체중심의 평균 수직속도(m/s)	4.18	4.05	×
동체의 회전 각변위(°)	48	50	33
동체의 비틀기 각변위(°)	61	70	21
동체의 평균 회전 각속도(°/s)	533	511	431
동체의 평균 비틀기 각속도(°/s)	609	629	374

제 1비약 국면동안의 결과를 살펴보면, 채공시간은 LX가 0.08초로서 H1의 0.1초보다 짧게 나타났고, 신체중심의 수평변위는 LX가 0.36m로서 H1의 0.39m보다 작게 나타났으며, 신체중심의 수직변위

는 LX가 0.38m로서 H1의 0.41m보다 작게 나타났다. 신체중심의 평균 합성속도는 LX가 5.82m/s로서 H1의 5.61m/s보다 빠르게 나타났고, 신체중심의 평균 수평속도는 LX가 4.05m/s로서 H1의 3.87m/s보다 빠르게 나타났으며, 신체중심의 평균 수직속도는 LX가 4.18m/s로서 H1의 4.05m/s보다 빠르게 나타났다. 또한 각도요인을 살펴보면, 동체의 회전 각변위는 LX가 48°로서 H1의 50°보다 약간 작게 나타났으며, 동체의 비틀기 각변위는 LX가 61°로서 H1의 70°보다 매우 작게 나타났다. 동체의 평균 회전 각속도는 LX가 533°/s로서 H1의 511°/s보다 빠르게 나타났으며, 동체의 평균 비틀기 각속도는 LX가 609°/s로서 H1의 629°/s보다 느리게 나타났다.

이상의 결과에 의하면, 제 1비약 국면에서 LX 동작은 H1 동작보다 짧고 낮은 변위를 이루면서 빠르게 이동하는 것으로 나타났는데, 이는 작은 움직임으로 체공시간을 짧게 하는 효과를 가져온 것으로서 도마 접촉 시 관성의 유지에 도움을 줄뿐만 아니라 하중에 의한 도약력 상쇄를 최소화시키는 데 도움을 줄 것으로 생각된다.

또한 LX 동작과 H1 동작은 체공 시간이 Ropez 동작보다 매우 길게 나타났다. 이는 LX 동작과 H1 동작의 경우 도마를 등진 상태에서 뒤돌아서면서 도마를 정면으로 착수하려는 과정에서 상대적으로 큰 움직임이 발생하였기 때문으로 여겨진다. 제 1비약에서 짧은 시간 안에 빠른 이동은 도마 접촉 국면에서 강한 블로킹 동작을 통해 도약력을 얻는데 유리할 것이다. LX 동작은 체공 시간이 H1 동작보다는 짧았고 Ropez 동작보다는 조금 길었으나 비행의 평균속도는 Ropez 동작과 거의 비슷한 속도를 나타내고 있다. 이것은 LX 동작의 경우 발구름 이전에 도움 짚기 운동이 포함되어서 구름판 이륙 속도의 저하를 가져오고 이에 따라 도약력이 작아질 것이라는 우려를 빠른 신체의 뒤 회전을 통하여 극복하는 것으로 생각된다. 따라서 도움 짚기에서 허리 반동을 강하게 하여 다리를 끌어당기고 몸을 세워 구름판 접촉 순간부터 신체의 지지각을 크게 함으로서 신체의 뒤 회전운동에 도움을 주는 것이 성공적인 Li Xiaopeng 동작을 수행하는데 결정적인 역할을 할 것으로 생각된다.

한편 LX 동작은 H1 동작보다 발구름 국면에서 비틀기를 빠르게 수행하고 있는 반면 제 1비약 국면에서는 뒤 회전을 빠르게 수행하는 것으로 나타났다. 이는 LX 동작의 경우 발구름 운동에서 비틀기에 주력하여 구름판 이륙 시 많은 비틀기 거리를 확보한 것으로서 도마를 이륙하면서부터는 도마를 거의 정면으로 보게 되기 때문에 제 1비약 상황에서 실제로는 상체를 앞으로 숙여서 회전력을 증가시키는 결과를 가져온다. 결국 발구름에서 동체의 비틀기 거리를 크게 할수록 제 1비약의 회전속도가 빨라진다는 것이며, 이는 Ropez 동작과 같이 도마에 직접 달려들어 빠른 속도에 의해 도약력을 얻는 운동 효과를 가져올 것이다.

3. 도마 접촉 국면

도마 접촉 국면동안 LX 동작과 H1 동작의 운동학적 변인의 결과를 나타낸 것은 <표 4>와 같다.

표 4. 도마 접촉 국면의 운동학적 변인

변인	Li Xiaopeng	Hutcheon 1t.	Ropez
도마 접촉(지지)시간(s)	0.2	0.22	0.21
신체중심의 수평변위(m)	0.8	0.8	0.75
도마 접촉 시 신체중심의 높이(m)	1.58	1.61	1.46
도마 이륙 시 신체중심의 높이(m)	2.35	2.37	2.15
도마 접촉 시 신체중심의 합성속도(m/s)	5.64	5.46	5.73
도마 이륙 시 신체중심의 합성속도(m/s)	4.79	4.48	4.49
신체중심의 수평속도 변화(m/s)	-0.92	-0.9	-1.47
도마 접촉 시 견관절 각도(°)	129	132	127
도마 이륙 시 견관절 각도(°)	159	164	151
도마 접촉 시 신체의 지지각도(°)	2	4	0
도마 이륙 시 신체의 지지각도(°)	94	94	73
도마 접촉 시 비틀기 각도(°)	319	319	135
도마 이륙 시 비틀기 각도(°)	413	358	340
동체의 평균 회전 각속도(°/s)	533	500	463
동체의 평균 비틀기 각속도(°/s)	488	233	x

도마 접촉 국면동안의 결과를 살펴보면, 접촉 시간은 LX가 0.2초로서 H1의 0.22초보다 약간 짧게 나타났다. 신체중심의 수평변위는 모두 0.8m로서 똑같이 나타났고, 접촉 시 신체중심의 높이는 LX가 1.58m로서 H1의 1.61m보다 약간 낮게 나타났으며, 이륙 시 신체중심의 높이는 LX가 2.35m로서 H1의 2.37m보다 약간 낮게 나타났다. 또한 접촉 시 신체중심의 합성속도는 LX가 5.64m/s로서 H1의 5.46m/s보다 빠르게 나타났고, 이륙 시 신체중심의 합성속도는 LX가 4.79m/s로서 H1의 4.48m/s보다 빠르게 나타났으며, 접촉동안 신체중심의 수평속도는 LX가 -0.92m/s로서 H1의 -0.9m/s보다 조금 크게 감속한 것으로 나타났다. 한편 각도요인을 살펴보면, 접촉 시 견관절 각은 LX가 129°로서 H1의 132°보다 작게 나타났으며, 이륙 시 견관절 각은 LX가 159°로서 H1의 164°보다 작게 나타났다. 접촉 시 신체의 지지각은 LX가 2°로서 H1의 4°보다 약간 작게 나타났으며, 이륙 시 신체의 지지각은 LX와 H1 모두 94°를 나타냈다. 접촉 시 비틀기 각은 LX와 H1은 모두 319°로 같았으나 이륙 시 비틀기 각은 LX가 413°로서 H1의 358°보다 매우 크게 나타났다. 도마 접촉동안 동체의 평균 회전 각속도는 LX가 533°/s로서 H1의 500°/s보다 빠르게 나타났으며, 동체의 평균 비틀기 각속도는 LX가 488°/s로서 H1의 233°/s보다 매우 빠르게 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면, 도마 접촉 시간은 도마의 탄성을 얻어내는 요인으로서 제 2비약에 직

접적인 영향을 준다(이순호, 2001). 즉 도마 접촉 시간이 짧을수록 수직으로 작용되는 평균 힘과 충격량이 증가되고 수직속도가 커진다는 것이다(Takei, 1998, 2000). 여기에 비추어 볼 때 LX 동작과 Ropez 동작이 서로 똑같이 H1 동작보다 조금 짧은 시간을 유지하고 있는 것과 구형 도마에서 관찰된 선행연구의 결과(0.22~0.3초)보다 짧게 나타난 것은 그 의미가 크다.

또한 도마 이륙 시 신체의 지지각은 LX 동작과 H1 동작이 Ropez 동작보다 크게 유지되어 수직에 가까운 물구나무서기 형태를 취하였다. 이것은 LX 동작과 H1 동작의 경우 도마 접촉 이전부터 빠르게 얻어진 동체의 회전 관성의 결과로 볼 수 있다. 도마 접촉국면 동안 동체의 회전이 너무 빨라지면 자칫 제 2비약의 수직 상승을 저해하는 요인으로 작용할 수 있다. 그러나 LX 동작과 H1 동작과 같은 도움 짚기에 의한 뛰어넘기 계통의 기술에서 동체의 빠른 회전은 운동진행방향으로 신체를 빠르게 이동시키는 결과를 가져오기 때문에 LX 동작과 같이 도마 접촉 시 손을 빨리 짚어서 신체가 도마 면과 수평에 가깝게 하고 도마 접촉 시간을 짧게 하면 강한 블로킹에 의해 큰 수직속도 성분으로 전환이 용이해질 뿐만 아니라 신체의 회전에 큰 영향을 주게 된다.

한편 도마 접촉 국면동안 Ropez 동작은 비틀기 각변위가 큼에도 불구하고 비틀기 속도는 LX 동작보다 느리게 나타났다. 이것은 Ropez 동작의 경우 도마 위에서 도움 짚기 운동 중 음(-)의 방향에서 양(+)-의 방향으로 전환되는 과정에서 완전하게 180°까지 비틀린 후 전환되지 않으며, 단지 도마 이륙 시 비틀기 량에 따른 난도의 인정(FIG)에 어긋나지 않게 그 시점까지의 비틀기 총 량으로 간주되는 비틀기 각이 LX 동작 또는 H1 동작과 같은 조건으로 측정된 결과 때문이다. 따라서 동일한 방향으로 효율적인 비틀기가 이루지는 LX 동작이 더욱 빠른 비틀기 속도를 가질 수 있는 것이다. 이는 신체의 빠른 회전과 빠른 이동속도에 지장을 주지 않고 도마 이륙각을 크게 할 수 있으므로 제 2비약의 체공 높이가 상승될 뿐만 아니라 제 2비약의 비행 초반에 비틀기 운동에 치중할 수 있게 된 것으로 생각된다.

4. 제 2비약 국면

제 2비약 국면동안 LX 동작과 H1 동작의 운동학적 변인의 결과를 나타낸 것은 <표 5>와 같다.

제 2비약(공중 회전운동) 국면동안의 결과를 살펴보면, 체공시간은 LX가 1초로서 H1의 0.94초보다 길게 나타났고, 신체중심의 수평변위는 LX가 3.17m로서 H1의 2.83m보다 크게 나타났으며, 신체중심의 최고 높이는 LX가 2.89m로서 H1의 2.84m보다 크게 나타났다. 신체중심의 평균 합성속도는 LX가 4.42m/s로서 H1의 4.22m/s보다 빠르게 나타났고, 신체중심의 평균 수평속도는 LX가 3.20m/s로서 H1의 3.05m/s보다 빠르게 나타났으며, 신체중심의 평균 수직상승속도는 LX가 1.94m/s로서 H1의 1.86m/s보다 빠르게 나타났고, 신체중심의 평균 수직하강속도는 LX가 -2.91m/s로서 H1의 -2.80m/s보다 빠르게 나타났다. 동체의 평균 회전 각속도는 LX가 486°/s로서 H1의 497°/s보다 느리게 나타났으며, 동체의 평균 비틀기 각속도는 LX가 917°/s로서 H1의 569°/s보다 매우 빠르게 나타

났다. 또한 신체중심이 최고점에 이를 때 동체의 회전각은 LX가 304°로서 H1의 295°보다 크게 나타났으며, 동체의 비틀기 각은 LX가 606°로서 H1의 467°보다 매우 크게 나타났다. 한편 착지 시 신체 중심의 높이는 LX가 0.89m로서 H1의 0.96m보다 낮게 나타났으며, 신체중심의 합성속도는 LX가 5.41m/s로서 H1의 6.77m/s보다 느리게 나타났다. 고관절 각은 LX가 124°로서 H1의 116°보다 크게 나타났으며, 슬관절 각은 LX가 164°로서 H1의 166°와 거의 유사하게 나타났다. 동체의 회전각은 LX가 657°로서 H1의 641°보다 크게 나타났으며, 동체의 비틀기 각은 LX가 1328°로서 H1의 893°보다 매우 크게 나타났다.

이상의 결과에 의하면, LX 동작은 체공시간 뿐만 아니라 체공 높이와 거리에서 H1 동작보다 크게 나타났을 뿐만 아니라 신체중심의 수평 이동 속도와 수직 상승속도가 모두 빠르게 나타났는데, 이는 구름판 이륙에서부터 얻어진 빠른 이동속도를 이용하여 도마 접촉시간을 짧게 하고 강한 블로킹 동작이 유도된 결과라고 생각된다. 이와 같이 2비약 시 비행 거리와 높이 그리고 수직 상승 속도는 선행연구의 결과(Takei & Kim, 1990; 류지선 등, 2002; 박종훈 등, 2003)와 마찬가지로 비틀기 량을 증가시키는데 필요한 시간을 확보하는데 직접적인 관련이 있음을 알 수 있다.

제 2비약 국면에서 신체중심이 최고점에 이를 때 동체의 뒤 회전은 LX 동작과 H1 동작 그리고 Ropez 동작 모두 완전한 1회전 운동을 이루지 못하는 특징을 나타냈다. 이와 같은 결과는 다른 선행연구의 결과(Akopian 동작(2001); 402°, Cuervo 1회전 동작(2000); 400°)에 비해 매우 많이 못 미치는 것인데, 이는 도마 규격의 변경에 의해 블로킹 동작을 보다 완전하게 수행하여 얻어진 수직 상승에 의한 체공 시간의 여유에 따른 결과로 볼 수 있다. 이 시기에 H1 동작은 동체의 뒤 회전을 LX 동작과 Ropez 동작보다 빠르게 진행하였음에도 불구하고 최고점 시 회전 거리가 짧게 나타났는데, 이는 아무리 뒤 공중 회전이 빠르게 진행되었다 할지라도 신체가 워낙 짧은 시간 안에 최고 높이에 도달하였기 때문에 미처 회전 거리를 크게 확보하지 못한 것으로 보여진다. 반면 Ropez 동작은 LX 동작과 H1 동작보다 수평성분이 강화된 비행 운동에 의해 최고점까지 걸린 시간이 길어졌기 때문에 그만큼 뒤 공중 회전거리를 크게 가질 수 있었던 것으로 생각된다.

한편 제 2비약 국면동안 LX 동작은 비틀기 속도가 Ropez 동작보다 빠르게 나타났을 뿐만 아니라 최고점 시 동체의 비틀기 각도가 H1 동작보다 139°를 더 비틀고 있는 것으로 나타났다. 이는 블로킹에 의한 수직 상승운동이 원활해지면 그만큼 체공높이가 커지고 그에 따라 뒤 공중 회전 속도가 다소 느리더라도 착지까지 완전한 회전운동의 수행에는 큰 지장이 없기 때문에 부담이 많이 되는 비틀기 량을 확보하기 위하여 최고점 이전부터 비틀기 운동에 전력을 다하는 결과라고 볼 수 있다. 동체의 비틀기 거리를 구체적으로 설명하자면, LX 동작의 경우 도움 짚기와 제 1비약운동에서 이미 360°의 비틀기가 포함되어 총 3½의 비틀기가 된 것이고, Ropez 동작은 도마 위에서 도움 짚기가 이루어져서 180°의 비틀기만을 포함한다 하더라도 제 2비약 국면에서 3회전 비틀기를 이루기 때문에 마지막 착지까지의 총 비틀기 거리는 서로 동일하다. 이런 과정으로 볼 때 LX 동작이 빠른 비틀기 운동에 의해 최고점에서 600° 이상의 비틀기 거리를 보이고 있음은 주목해야 할 것이다.

착지 과정을 살펴보면, 도마를 정면으로 보면서 착지를 하는 것은 세 가지 기술이 모두 동일하다. 이 때 LX 동작은 착지 순간 완전한 비틀기 거리를 확보하고 신체중심의 수평속도 감속과 함께 엉덩이가 뒤로 빠지지 않게 상체를 곧추 세워 안정된 착지 동작을 수행하는 것으로 나타났다. 이는 수직성분이 강화된 제 2비약운동을 이루고 이에 따라 긴 체공시간에 의해 뒤 공중 회전 거리를 크게 확보함과 동시에 비행 초반에 비틀기 운동에 주력하여 낙하 시 여유 있는 비틀기 운동을 이룬 결과라고 생각된다.

표 5. 제 2비약 국면의 운동학적 변인

변인	Li Xiaopeng	Hutcheon 1t.	Ropez
체공시간(s)	1	0.94	0.98
신체중심의 수평변위(m)	3.17	2.83	3.24
신체중심의 최고 높이(m)	2.89	2.84	2.82
신체중심의 평균 합성속도(m/s)	4.42	4.22	3.98
신체중심의 평균 수평속도(m/s)	3.20	3.05	×
신체중심의 평균 수직상승속도(m/s)	1.94	1.86	×
신체중심의 평균 수직하강속도(m/s)	-2.91	-2.80	×
동체의 평균 회전 각속도(°/s)	486	497	469
동체의 평균 비틀기 각속도(°/s)	917	567	805
최고점 시 동체의 회전각도(°)	304	295	315
최고점 시 동체의 비틀기 각도(°)	606	467	437
착지 시 신체중심의 높이(m)	0.89	0.96	0.93
착지 시 신체중심의 합성속도(m/s)	5.41	6.77	7.24
착지 시 고관절 각도(°)	124	116	101
착지 시 슬관절 각도(°)	164	166	167
착지 시 동체의 회전각도(°)	657	641	628
착지 시 동체의 비틀기 각도(°)	1328	893	1230

IV. 결 론

본 연구의 목적은 도마운동 Li Xiaopeng 동작의 도약 단계별 운동학적 특성을 규명하여 현장의 훈련자료로 제공하는데 있다. 이를 위해 제 14회 부산아시아경기대회 남자 체조 도마경기에서 중국

의 Li Xiaopeng 선수에 의해 세계적으로 유일하게 수행된 Li Xiaopeng 동작을 대상으로 고속 비디오 카메라를 이용한 3차원적 영상분석을 통하여 운동학적 변인을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제 2비약 국면 시, 체공시간과 체공높이 그리고 비틀기 각속도의 증가는 비틀기 량의 증가에 결정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. Li Xiaopeng 동작은 전체동작의 총 비틀기 거리가 동일한 Ropez 동작보다 체공시간은 길고 체공높이는 높은 특성을 나타냈다. 또한 신체중심이 최고점에 이를 때 동체의 회전 각거리는 360° (1회전)에 크게 못 미치지만 비틀기 각거리는 606° 를 나타냈다. 이와 같이 Li Xiaopeng 동작은 비행 초반에 비틀기 운동에 주력하는 것으로 나타났다.
2. 착지 시, Li Xiaopeng 동작은 선행연구의 결과에 비해 엉덩이가 뒤로 빠지지 않고 상체를 세움과 동시에 신체중심의 수평속도가 감속하는 것으로 나타났다. 이는 안정된 착지의 수행으로 간주할 수 있는 것으로서 제 2비약의 긴 체공시간에 의해 공중 회전거리와 비틀기 거리를 크게 확보한 결과라고 생각된다.
3. 발구름 국면 시, Li Xiaopeng 동작은 도마를 등지고 점핑하는 과정 때문에 발생하는 느린 이동속도를 만회하려고 상체를 일으켜 세우면서 빠르게 뒤 회전을 하는 것으로 나타났으며, 구름판 접촉 순간 동체가 이미 40° 에 가깝게 비틀리고 있는 것으로 나타났다. 이는 구름판에 접촉하고 있는 발의 변동 없이 탄성을 일으킨다는 전제 하에 제 1비약운동의 회전과 비틀기 운동에 도움을 줄 것이다. 따라서 도움 짚기 과정에서 고관절의 굴신운동에 따른 허리 반동과 팔을 힘차게 밀어주는 역할이 매우 중요할 것으로 생각된다.
4. 제 1비약 국면 시, Li Xiaopeng 동작은 도마에 직접 달려드는 선행연구의 기술들보다 큰 움직임 보였다. 상대적으로 도약력이 작아질 것이라는 우려를 동체의 빠른 회전을 통하여 극복하는 것으로 나타났다. Li Xiaopeng 동작은 많은 비틀기 거리를 확보하였고, 이에 따라 상체를 앞으로 숙이면서 회전을 증가시켜서 도마에 직접 달려드는 운동 효과를 가져왔다.
5. 도마 접촉 국면 시, Li Xiaopeng 동작은 접촉 시간이 짧을 뿐만 아니라 수직에 가까운 이륙 각을 유지하여 제 2비약의 체공시간과 높이 증가에 기여하고 있다. 이는 도마 접촉 이전부터 빠르게 얻어진 동체의 회전과 함께 운동진행방향으로 신체를 빠르게 이동시킨 결과이며, 동일한 방향으로 효율적인 비틀기가 이루어짐으로서 비틀기 운동에 따른 회전축의 흔들림이 적었기 때문으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 강 신, 김영란, 이충근, 정철정, 윤희중(1990). 여자 도마 운동에서 Yurchenko 동작에 대한 3차원적 영상분석. 한국체육대학교 부속 체육과학연구소 논문집, 제9권, 1호, 125-152.
- 김동민, 김영란, 윤희중(1990). 여자 도마운동에서 Yurchenko 동작의 역학적 분석. 한국체육대학 부속 체육과학연구소 논문집, 제9권, 제1호, 125-152.
- 류지선, 박종훈, 한윤수(2000). 도마 Cuervo 1회전 비틀기 동작의 역학적 분석. 제38회 한국체육학회 학술발표회 논문집, 789-797.
- 박종훈(1999). 도마 손 짚고 옆 돌아 몸 굽혀 뒤 공중돌기 동작의 국면별 역학적 분석. 미간행 박사학위 논문. 한국체육대학교 대학원.
- 박종훈(2001). 도마 손 짚고 옆 돌아 몸 펴 뒤 공중돌며 2회전 비틀기 동작의 역학적 분석. 한국운동역학회지, 제11권, 제2호, 287-305.
- 박종훈, 김원경(2002). 도마 Kasamasu stretched 동작의 국면별 역학적 분석. 관동대학교 예체능연구논집, 제4집, 77-91.
- 박종훈, 윤상호, 백진호, 김동민, 정남주(2003). 도마운동 Ropez 동작의 운동학적 분석. 한국체육학회지, 제42권, 제3호, 697-708.
- 이순호, 백진호, 박종훈, 한충식(2001). 도마운동의 Kasamatsu, Akopian 기술동작 분석. 체육과학연구원 연구보고서.
- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). *Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry*. Proceeding: The Symposium on Close Range photogrammetry, Jan. 26-29, 1971, pp. 1~8. Falls Church, VA: American Society of photogrammetry.
- Chandler, R. F., Clauser, C. E., Mc Conville, H. M. Reynolds, J. T. & Young, J. W.(1975). *Investigation of inertial properties of the human body*. Aerospace Medical Research laboratory, Wright-patterson Air Force Base, Ohio, 167.
- Dillman, C. J., Cheetham, P. J., & Smith, S. L.(1985). A Kinematic Analysis of Men's Olympic Long Horse Vaulting. *International Journal of sport Biomechanics*, 1, 96-110.
- Elliott, B., & Mitchell, J.(1991). A Biomechanical Comparison of the Yurchenko Vault and Two Associated Teaching Drills. *International Journal of sport Biomechanics*, 7, 91-107.
- Federation of International Gymnastics.(1997). *The code of points for men*. Switzerland.
- Federation of International Gymnastics.(2001). *The code of points for men*. Switzerland.

- Kwon, Y. H., Fortney, V. L., & Shin, I. S.(1990). 3-D Analysis of Yurchenko Vaults Performed by Female Gymnasts During the 1988 Seoul Olympic Games. *International Journal of sport biomechanics*, 6, 157-175.
- 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.(2000). Techniques used in high-and low-scoring Hecht Vaults Performed at the 1995 World Gymnastics championships, *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 180-195.
- Takei, Y., & Kim, E. J. (1990). Techniques Used in Performing the Handspring and Salto Forward Tucked Vault at the 1988 Olympic Games. *Internatinal Journal of sport Biomechanics*, 6, 111-138.