Korean Journal of Sport Biomechanics
Vol. 24, No. 4, 2014, 317-327

ISSN 1226-2226(Print), ISSN 2093-9752(Online)
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2014.24.4.317
http://www.kssb.or.kr

남자 체조 YANG-1과 YANG-2 도마 동작의 운동학적 비교

박철희[1] · 김영관[2]

[1]전남대학교 대학원 체육학과, [2]전남대학교 사범대학 체육교육과

Kinematic Comparisons between Yang-1 and Yang-2 Vaults in Men's Artistic Gymnastics

Cheol-Hee Park[1] · Young-Kwan Kim[2]

[1]Department of Physical Education, Graduate School, Chonnam National University, Gwangju, Korea
[2]Department of Physical Education, College of Education, Chonnam National University, Gwangju, Korea
Received 11 November 2014 Received in revised form 10 December 2014 Accepted 12 December 2014

ABSTRACT

As a single subject study, it was purposed to investigate kinematic differences between Yang Hak Seon vault (i.e., handspring forward and salto forward straight with triple twist, Yang-1 vault hereafter) and Tsukahara 1260° twist with salto forward straight (Yang-2 vault hereafter) in gymnastics. Yang Hak-Seon (23 years, 160 cm, and 52 kg) voluntarily participated in this study. Motion capture system, consisting of fourteen cameras, were used to measure Yang-2 vault with the sampling rate of 200 Hz. Twenty six reflective markers were placed on major anatomical points of 15 body segments. Successful two trials of Yang-2 vault were collected and analyzed for the comparison. Compared Yang-1 results were based on the previous study of Park and Song (2012). Results indicated superior linear kinematics of Yang-1 vault to those of Yang-2 vault before the touchdown of vault table. However, Yang-2 vault revealed superior angular kinematics to Yang 1 vault showing more trunk twist angle (a triple and a half twist) and its faster angular velocity during the airborne. The Yang 2 vault could has advantage of increasing angular motion than Yang 1 vault as a result of a half turn off the springboard onto the vault table and a sequential touchdown of the hands.

Keywords : Vault, Gymnastics, Kinematics, Handspring, Tsukahara

I. 서 론

한국 남자체조는 1988년 서울 올림픽을 기점으로 매회 올림픽에서 메달을 획득하며 국위선양에 일조하였다. 특히 2012년 런던올림픽에서 양학선(Yang Hak Seon [YHS]) 선수가 최초의 체조 금메달을 획득하여 대한민국 체조사의 금자탑을 쌓았다. 이러한 결과에는 스포츠 과학을 접목한 체계적인 훈련이 기술향상에 기여한 바도 있다(Oh, 2013).

경기규정에 있어서 2005년 국제체조연맹 (Federation Internationale de Gymnastique [FIG])은 10만점 제도를 폐지하고 새로운 난도에 대한 기술점수부여 체계로 가기 시작했으며, 그 후 고득점을 위한 기술의 다양화와 고난도 기술연마가 다각도로 이루어 졌다(Oh & Cho, 2012; Yoon, 2005). 특히 2012년 런던올림픽에서 YHS 선수는 자신의 이름을 딴 Yang Hak Seon 동작(handspring forward and salto forward straight with triple twist, 이후 본문에서 Yang-1 동작으로 사용)을 구사하면서 가장 높은 7.4 난도점수(difficulty score [D-score])로 연기하였기 때문에 금메달 획득에 유리했었다. 즉, 난도점수를 높인 고난도 기술을 개발하여 성공적으로 수행하는 것이 승패를 결정하는 절대적 요인이었다(Oh, 2013).

최근(2013년) FIG는 점수 제도를 개정하면서 기존 고난도 기술의 가치를 낮추었다. Yang-1 동작도 난도점수가

Corresponding Author Young-Kwan Kim
Department of Physical Education, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangiu, 500-757, Korea
Tel : +85-62-530-2553 / Fax : +82-62-530-2563
E-mail : ykkim01@jnu.ac.kr

6.4점으로 1점 하향되어 다른 고난도 기술이 YHS 선수에게도 필요하게 되었다. 게다가 북한 선수를 포함한 많은 세계적인 선수들이 다음 올림픽 금메달을 위해 이미 신기술 개발에 앞장서고 있는 추세여서 Yang-1 보다 진보된 고난도 기술이 꼭 필요하게 되었다. 이에 따라 YHS 선수는 공중 비틀기가 더 많이 들어가는 '옆으로 짚은 뒤 세 바퀴 반 비틀기(Tsukahara 1260° twist forward somersault, 이후 본문에서 Yang-2 동작으로 사용) 동작을 개발하여 연습해 왔다. 지난 2014년 Korea Cup 대회에서 성공적으로 Yang-2 동작을 선보였으나 FIG가 인정한 대회가 아니어서 정식 기술로서 아직 등재되지 못했다.

Yang-1 동작은 외국선수들이 선호하는 앞으로 손짚어 돌기유형(handspring 계) 기술이고, Yang-2 동작은 국내 선수들이 선호하는 옆으로 손짚어 돌기 유형(Tsukahara 계) 기술이다(Yeo, 2003). 일반인들은 Yang-2 동작이 Yang-1 동작 이후에 나왔기 때문에 더 어렵고 진보된 기술로 생각하고 있다. 최근 Yang-1 동작에 대한 기술 특성은 몇몇 연구들을 통해 밝혀졌으나(Park & Song, 2012; Song et al., 2013), Yang-2 동작에 대한 연구가 학술지에 발표된 바가 없어 Yang-1에 비해 얼마나 더 어려운 동작인지 알 수 없었다.

도마에 관한 운동역학 논문들을 보면 제 2 비약에서 긴 체공시간을 확보하고 더 많은 신체회전과 비틀기를 가한 후 안전하게 착지하는 것이 도마의 핵심이다. 다수 연구자들은 성공적으로 기술을 수행하기 위해 높은 수직속도가 필수조건이라고 생각하였고(Takei, 1998; Takei, Blucker, Nohara, & Yamashita, 2000; Yeadon, King, & Springings, 1998), Park과 Song (2012), Lim (2004)은 도움닫기를 빠르게 하는 것이 빠른 수직속도를 얻어내기 위한 방법이라고 하였다.

도마에서 도움닫기에 의한 빠른 수평속도도 중요하지만, 빠른 수평속도를 수직속도로 상승시키는 방법도 매우 중요하다고 할 수 있다. 즉, 제 2 비약에서 신체중심이 투사체운동을 하기 때문에 도마접촉 시 손으로 하는 강한 블로킹(blocking)이 수평속도를 수직성분으로 전환하는 결정적 기술 요인이라 할 수 있다(Yeo, 2003). Lee, Back, Kim과 Kong (2005)은 옆으로 도마에 진입하는 Kasamatsu 동작에서 오른손의 강한 마찰력이 핵심이라고 보았다. 강한 마찰력은 비틀기 토크를 생성하고, 수평성분 힘을 수직성분으로 전환시키면서 탄성효과를 나타낸다고 하였다.

스카하라(Tsukahara) 계열 동작(예, Yang-2 동작)은 두 손을 모아 동시에 도마에 접촉하는 핸드스프링(handspring) 동작 계열(예, Yang-1 동작)보다 도마접촉시간이 길고 한쪽 팔에 하중이 집중되므로 도마 접촉에 의한 탄성이 떨어진다고 알려져 있다(Dilman, Cheetham, & Smith, 1985). 하지만, Dilman 등(1985)의 결과는 구형 도마(일자형태) 시대 결과로 2001년부터 바뀐 신형 도마에는 맞지 않을 수가 있다. 아직까지 YHS 선수를 대상으로 스카하라 계열 고난도 동작(Yang-2 동작)과 핸드스프링 계열 고난도 동작(Yang-1 동작)을 운동학적으로 직접 비교 분석한 논문은 없었다.

따라서 본 연구는 YHS 선수를 연구대상으로 한 단일 사례연구로서 기존 Yang-1 동작 연구결과(Park & Song, 2012)와 본 실험에서 분석한 3차원 Yang-2 동작 결과를 운동학적으로 비교하고자 하였다. 그 결과를 바탕으로 아직 FIG에 등재되어 있지 않은 Yang-2의 기술적인 난도를 간접적으로 살펴보고, 주요 시점에서 Yang-1 동작과의 차이점을 파악하고 우리나라 도마 기술 발전에 도움이 되고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구는 2012년 런던 올림픽 도마 종목 금메달 수상자인 YHS 선수를 대상으로 하였다. 양 선수의 신체적 특성은 나이 23세, 키 160 cm, 몸무게 52 kg중, 선수경력 14년 이었다. 실험에 앞서 연구윤리 규정에 의거하여 본인의 개인정보 활용 동의서와 연구 참여 동의서를 받았다.

2. 실험 장비

Yang-2 동작 측정을 위해 8대의 실내용 적외선 카메라(Osprey®, Motion Analysis, USA)와 6대의 실내·외용 적외선 고속카메라(Raptor-E®, Motion Analysis, USA)가 사용되었다. 업체제공 소프트웨어(Cortex 4.0®, Motion Analysis, USA)를 이용하여 카메라를 구동하였고, 영상취득률은 200 Hz로 설정하여 촬영에 임하였다. 14대의 카메라는 벽면과 질주 구간 주변에 적절히 설치하여 도마 동작에서 발생하는 반사 마커 궤적 손실을 최소화 하였다(Figure 1). 원하는 동작 자료 획득과 분석을 위해 19 mm

Figure 1. Layout of camera installation and vault table location

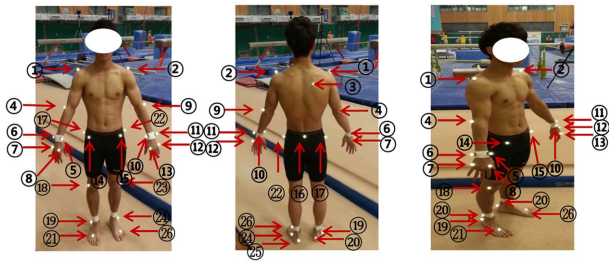

Figure 2. Maker locations on major anatomical position

반사마커(Motion Analysis, USA) 26개를 해부학적 주요지점에 부착시킨 15개 분절 신체모델을 사용하였다(Figure 2, Table 1). 전역좌표계는 전진 진행방향을 X축, 진행방향의 좌측을 Y축, 수직 윗방향을 Z축으로 정의하였다. 측정된 3차원 마커 위치자료를 바탕으로 수치해석프로그램인 Matlab®(ver. 2003, MathWorks, USA)에서 운동학 변인 계산을 하였고, 변인 정의는 Yang-1 동작과 직접 비교하려고 Park과 Song (2012)의 연구방법을 따랐다.

Table 1. Detailed explanation on marker locations

Number	Location
1	Right shoulder (acromion process)
2	Left shoulder (acromion process)
3	Right scapular (inferior angle
4	Right elbow (lateral epicondyle)
5	Right radial styloid process
6	Right ulnar styloid process
7	Right 5th metacarpophalangeal joint
8	Right 3nd metacarpophalangeal joint
9	Left elbow (lateral epicondyle)
10	Left radial styloid process
11	Left ulnar styloid process
12	Left 5th metacarpophalangeal joint
13	Left 3nd metacarpophalangeal joint
14	Right anterior superior iliac spine
15	Left anterior superior iliac spine
16	Middle of posterior superior iliact spine
17	Right greater trochanter
18	Right knee (lateral condyle)
19	Right ankle (lateral malleolus)
20	Right heel (calcaneous bone)
21	Right toe (2nd metatarsalphalangeal joint)
22	Left greater trochanter
23	Left knee (lateral condyle)
24	Left ankle (lateral malleolus)
25	Left heel (calcaneous bone)
26	Left toe (2nd metatarsalphalangeal joint)

3. 실험 절차

충분한 워밍업 시간을 연구 대상자에게 주어 자연스러운 동작이 가능하게 하였다. 워밍업 이후에는 신체의 주요 부위에 반사마커를 양면테잎으로 부착하였다. 반사마커는 반바지 수영복 위와 맨살위에 붙였으며 동작 중에 떨어지지 않게 하기 위해 어슬레틱테잎으로 고정시켰다(Figure 2).

준비, 출발의 구령에 따라 연구 대상자는 힘차게 달려 Yang-2 (Tsukaraha 1260° twist forward somersault) 동작을 수행하였다. 체력적인 부담과 부상 방지를 위해 2차례 시도만 하였고, 2차례 모두 안전한 착지가 나와 그 결과를 추후 운동학 변인 분석에 활용하였다. 안전한 착지 판단은 함께 참여한 국가대표 코치 1명, 국제심판 자격증 소지자 2명에 의해 결정되었다. 2번 모두 착지 후 오른발 스텝만 나갔으며 채점기준으로 볼 때 0.3점 정도의 감점이 발생하였다.

4. 자료 처리와 분석

기존 논문들과 원활하게 비교·분석하려고 다음과 같이 6개 시점으로 도마 동작을 정의하였다(Lee, Park, & Lee, 2006, Figure 3).

- BTD (board touch-down): 구름판에 발이 닿는 순간
- BTO (board take-off): 구름판에서 발이 떨어지는 순간
- HTD (horse touch-down): 도마에 왼손이 닿는 순간
- HTO (horse take-off): 도마에서 오른손이 떨어지는 순간
- PH (peak height): 제 2 비약 중 신체중심이 수직으로 최고점에 이르는 순간
- LD (landing): 매트에 발이 닿는 순간

각 국면은 다음과 같이 주요 시점 사이로 정의하였다.

- P1 (board contact): 구름판 접촉 구간으로 발이 구름

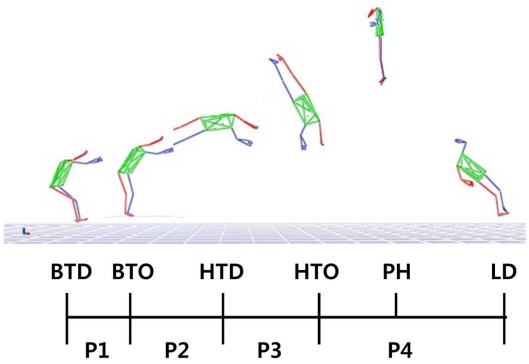

Figure 3. Definition of major events and phases during Yang-2 techniques

판에 닿는 순간(BTD)부터 구름판에서 발이 떨어지는 순간(BTO)까지
- P2 (pre-flight): 제 1 비약으로 구름판에서 발이 떨어진 순간(BTO)부터 도마에 왼손이 닿는 순간(HTD)까지
- P3 (vault table contact): 도마 접촉 구간으로 왼손이 도마에 닿는 순간(HTD)부터 오른손이 도마를 떠나는 순간(HTO)까지
- P4 (post-flight): 제 2 비약으로 오른손이 도마를 떠난 순간(HTO)부터 착지(LD)까지

선행연구들(Lee et al., 2006; Takei, Blucker, Hudert, Myers, & Fortney, 1996; Takei, 2007)을 참조하여 신체중심의 위치와 속도 자료 이외에 다음과 같이 각도 변인들을 정의하였다.
- 견관절각(shoulder angle): 상완과 몸통이 이루는 상대각도
- 고관절각(hip angle): 골반의 수직축과 대퇴의 종축이 이루는 상대 각도
- 구름판 지지각(relative angle to springboard): 두 발 질량중심점 중앙에서 신체중심점으로 향하는 벡터를 XZ 평면(시상면)에 투영하여 X축(수평축)으로부터 생성되는 각을 정의한 것으로 구름판 착지각과 이륙각
- 도마 지지각(relative angle to vault table): 양손 질량중심점에서 신체중심으로 향하는 벡터를 XZ 평면(시상면)에 투영하여 X축(수평축)으로부터 생성되는 각을 정의한 것으로 도마 착지각과 이륙각
- 동체 비틀기각(torso twist angle): 상체가 XY 평면으로 투영된 각도(X축과 이루는 절대각)

5. 통계 처리

본 연구는 단일사례 연구이기 때문에 추론 통계를 피하고 2차례 결과값과 그 평균값을 제시했다. 또한, 기존 Yang-1 동작 연구 결과값(Park & Song, 2012)을 같이 제시하여 Yang-2 동작과 차이점을 찾아보았다.

III. 결 과

단일 사례 연구로 시행수가 매우 적기 때문에 추론적 통계(inferential statistics)를 실시하지 않고 단순 평균과 표준편차 값만 제시하였다. Yang-1 동작 결과는 Park과 Song (2012)의 연구결과이고, Yang-2 동작 결과는 본 실험에서 얻은 것이다.

1. 국면별 소요시간

국면별 소요시간을 <Table 2>에 나타냈다. 전체소요시간은 Yang-2 동작에서 1.46±0.01초, Yang-1 동작에서 1.44±0.02초로 Yang-2 동작이 0.02초 길었다. 구간별 소요시간으로 분석한 결과 P4 구간에서 Yang-2 동작이 0.02초 더 소요되었으며, 다른 국면에서는 별 차이가 없었다.

Table 2. Phase time comparison (unit: sec)

		P1	P2	P3	P4	VT
Yang-1	Trial #1	0.11	0.10	0.15	1.06	1.42
	Trial #2	0.10	0.09	0.18	1.06	1.43
	Trial #3	0.10	0.09	0.18	1.10	1.46
	M	0.10	0.09	0.17	1.07	1.44
	(SD)	(0.00)	(0.00)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
Yang-2	Trial #1	0.08	0.11	0.17	1.10	1.47
	Trial #2	0.10	0.10	0.17	1.07	1.45
	M	0.09	0.10	0.17	1.09	1.46
	(SD)	(0.01)	0.00	(0.00)	(0.02)	(0.01)

Notes: VT = vaulting time,
Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

2. 신체중심의 수평과 수직 위치

<Table 3>은 신체중심 수평과 수직위치를 나타냈다. 수평위치를 살펴보면 BTO에서 Yang-2 동작(0.58±0.08 m)이 Yang-1 동작(0.67±0.05 m)보다 9 cm 정도 짧았다. 하지만, LD에서 Yang-2 동작(5.51±0.18 m)이 Yang-1 동작(5.23±0.24 m)보다 0.28 m 수평 방향으로 더 길게 위치하였다. 수평 위치의 역전은 HTD 이후 도마를 이륙(HTO)하면서 발생하였다. HTO에서 Yang-2 동작 수평위치(1.89±0.04 m)는 Yang-1 동작(1.79±0.04 m)보다 0.1 m 정도 더 길었다.

신체중심 수직위치를 살펴보면 BTD에서 Yang-2 동작(0.84±0.00 m)은 Yang-1 동작(0.73±0.01 m)보다 신체중심 위치가 높았다(Table 3). BTO에서 두 기술이 비슷한 수직위치를 보였으며, HTD에서 Yang-2 동작이 1.35±0.01 m, Yang-1 동작이 1.31±0.07 m, HTO에서 Yang-2 동작이 2.01±0.02 m, Yang-1 동작이 1.95±0.04 m로 Yang-2 동작이 다소 높았다. 하지만 PH와 LD에서 Yang-2 동작이 2.74±0.07 m와 0.70±0.01 m로써 Yang-1 동작 2.88±0.03 m와 0.86±0.13 m보다 낮은 수직 위치를 나타냈다. HTO에서 투사된 후 최대높이(PH)까지 수직거리를 보면 Yang-1 동작은 0.94 m, Yang-2 동작은 0.73 m로 Yang-1 동작이 제2비약에서 더 높게 날았다.

Table 3. Horizontal and vertical displacements of the center of mass (unit: m)

		BTD	BTO	HTD	HTO	PH	LD
Horizontal displacement							
Yang-1	Trial #1	0	0.72	1.24	1.83	3.27	5.50
	Trial #2	0	0.64	1.15	1.77	3.01	5.05
	Trial #3	0	0.64	1.14	1.76	3.04	5.14
	M	0	0.67	1.18	1.79	3.11	5.23
	(SD)	(0.00)	(0.05)	(0.06)	(0.04)	(0.14)	(0.24)
Yang-2	Trial #1	0	0.52	1.10	1.86	3.31	5.64
	Trial #2	0	0.64	1.19	1.91	3.23	5.38
	M	0	0.58	1.15	1.89	3.27	5.51
	(SD)	(0.00)	(0.08)	(0.06)	(0.04)	(0.06)	(0.18)
Vertical displacement							
Yang-1	Trial #1	0.73	1.00	1.39	1.96	2.89	0.95
	Trial #2	0.72	0.92	1.30	1.98	2.90	0.92
	Trial #3	0.73	0.91	1.25	1.91	2.85	0.71
	M	0.73	0.94	1.31	1.95	2.88	0.86
	(SD)	(0.01)	(0.05)	(0.07)	(0.04)	(0.03)	(0.13)
Yang-2	Trial #1	0.84	0.94	1.35	2.02	2.79	0.70
	Trial #2	0.84	0.94	1.34	1.99	2.69	0.69
	M	0.84	0.94	1.35	2.01	2.74	0.70
	(SD)	(0.00)	(0.00)	(0.01)	(0.02)	(0.07)	(0.01)

Notes: Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

Table 4. Horizontal velocity of the center of mass (unit: m/s)

		BTD	BTO	HTD	HTO
Yang-1	Trial #1	7.61	5.62	5.09	2.82
	Trial #2	7.71	5.79	5.01	2.70
	Trial #3	7.83	5.93	5.13	2.70
	M	7.72	5.78	5.08	2.74
	(SD)	(0.11)	(0.16)	(0.06)	(0.07)
Yang-2	Trial #1	7.40	5.63	5.13	3.66
	Trial #2	7.66	5.33	5.11	3.44
	M	7.53	5.48	5.12	3.55
	(SD)	(0.18)	(0.21)	(0.01)	(0.16)

Notes: Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

Table 5. Vertical velocity of the center of mass (unit: m/s)

		BTD	BTO	HTD	HTO	LD
Yang-1	Trial #1	0.25	4.14	3.70	3.94	-5.10
	Trial #2	0.04	3.73	3.86	3.95	-5.13
	Trial #3	-0.04	3.52	3.69	3.98	-4.52
	M	0.08	3.80	3.75	3.96	-4.92
	(SD)	(0.15)	(0.32)	(0.10)	(0.02)	(0.34)
Yang-2	Trial #1	-0.42	2.89	3.76	3.91	-5.18
	Trial #2	-0.87	3.34	3.53	3.76	-4.81
	M	-0.65	3.12	3.65	3.84	-5
	(SD)	(0.32)	(0.32)	(0.16)	(0.11)	(0.26)

Notes: Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

4. 신체중심의 수평 속도

<Table 4>는 신체중심 수평속도의 변화를 나타냈다. 구름판에 들어올 때는 Yang-1 동작(7.72±0.11 m/s)이 Yang-2 동작(7.53±0.18 m/s)보다 0.19 m/s 정도 빨랐다. 하지만, 착지할 때는 Yang-2 동작(3.55±0.16 m/s)이 Yang-1 동작(2.74±0.07 m/s)보다 0.81 m/s 더 빨랐다. 수평속도의 역전은 HTO 이후에서 발생하였다. 즉, HTO 이후 Yang-2 동작 수평속도가 급격히 증가하였다. 도마 접촉 구간에서 수평속도 변화를 살펴보면 Yang-1 동작은 −2.34 m/s, Yang-2 동작은 −1.57 m/s로 Yang-1에서 수평속도 감속이 더 컸다.

5. 신체중심의 수직 속도

신체중심 수직속도의 변화는 <Table 5>에 잘 나타나 있다.

전체 시점에 걸쳐 Yang-1 동작의 상방향 수직속도가 Yang-2 동작의 값보다 빨랐다. BTO에서 Yang-2 동작(3.12±0.32 m/s)이 Yang-1 동작(3.80±0.32 m/s) 보다 0.68 m/s 느렸지만,

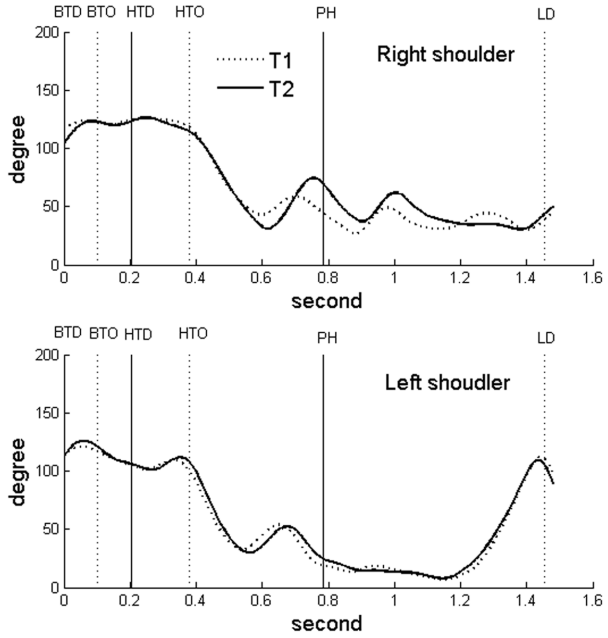

Figure 4. Profiles of shoulder angles during Yang-2 techniques

HTO시에는 그 차이를 0.12 m/s로 줄였다. 도마 접촉 구간에서 수직속도 변화를 살펴보면 Yang-1 동작은 0.21 m/s, Yang-2 동작은 0.19 m/s로 Yang-1 동작의 가속이 조금 컸다.

6. 견관절 각도

견관절 각도는 공중 비틀기 할 때 관성모멘트를 결정하는 주요 인자로서 <Figure 4>는 Yang-2 동작 내에서 좌와 우견관절 변화값을 나타냈다. <Table 6>은 Yang-1 동작과 Yang-2 동작의 주요시점별 각도 비교값을 나타냈다. BTO부터 HTO까지 Yang-2 동작 견관절각이 Yang-1 동작 견관절각보다 작았다. 하지만, PH와 LD에서 서로 비슷한 각도가 나왔다. Yang-1과 Yang-2 동작 모두 LD 근처에 와서 좌견관절각이 우견관절보다 58도 이상 컸다. Yang-1 동작에서 크게 실패했던 Trial #3는 다른 Trial에 비해 매우 작은 좌견관절을 나타냈다.

7. 고관절 각도

<Table 7>은 Yang-1 동작과 Yang-2 동작의 주요 시점별 좌고관절각을 비교했다. <Figure 5>는 Yang-1 동작의 좌고관절 각을 나타냈고(Park & Song, 2012), <Figure 6>은 Yang-2 동작 내에서 좌·우 고관절각 변화를 나타냈다. 좌고관절각을 비교해 보면 BTD에서 HTD까지 Yang-2 동작이 Yang-1 동작 관절각보다 작았지만, HTO 이후에는 Yang-1 동작 관절각보다 컸다(Table 7). HTO와 PH에서 발생하는 좌고관절 굴곡·신전을 살펴보면, Yang-1 동작은 E4 (HTO) 직전에 굴곡을 시작하였고, Yang-2 동작은 HTO 이후 굴곡을 시작하였다. 또한 Yang-1 동작은 PH

Table 6. Change in shoulder joint angles (unit: deg)

			BTD	BTO	HTD	HTO	PH	LD
Yang-1	Trial #1	Left	138	143	124	151	15	129
		Right	128	127	116	147	22	77
	Trial #2	Left	143	137	131	155	22	117
		Right	135	122	119	152	66	47
	Trial #3	Left	136	147	133	155	28	73
		Right	139	141	127	155	72	21
	M (SD)	Left	139 (3.61)	142.33 (5.03)	129.33 (4.73)	153.67 (2.31)	21.67 (6.51)	106.33 (29.48)
		Right	134 (5.57)	130.0 (9.85)	120.67 (5.69)	151.33 (4.04)	53.33 (27.30)	48.33 (28.02)
Yang-2	Trial #1	Left	111.56	119.91	106.74	106.25	18.89	106.36
		Right	112.94	123.36	122.95	121.19	45.13	41.44
	Trial #2	Left	112.08	120.96	105.84	107.39	24.36	104.54
		Right	104.17	122.81	123.41	114.21	69.24	43.59
	M (SD)	Left	111.82 (0.37)	120.44 (0.74)	106.29 (0.64)	106.82 (0.81)	21.63 (3.87)	105.45 (1.29)
		Right	108.56 (6.20)	123.09 (0.39)	123.18 (0.33)	117.7 (4.94)	57.19 (17.05)	42.52 (1.52)

Notes: Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

Table 7. Change in left hip joint angles (unit: deg)

		BTD	BTO	HTD	HTO	PH	LD
Yang-1	Trial #1	109	148	163	154	175	168
	Trial #2	109	147	171	161	169	170
	Trial #3	109	149	158	164	172	159
	M (SD)	109 (0.0)	148.0 (1.0)	164.0(6.56)	159.67(5.13)	172.0 (3.0)	165.67 (5.86)
Yang-2	Trial #1	99.23	127.76	156.66	164.95	177.83	171.75
	Trial #2	93.65	127.31	158.08	167.15	176.01	170.39
	M (SD)	96.44 (3.94)	127.54 (0.32)	157.37 (1.00)	166.05 (1.56)	176.92 (1.29)	171.07 (0.96)

Notes: Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

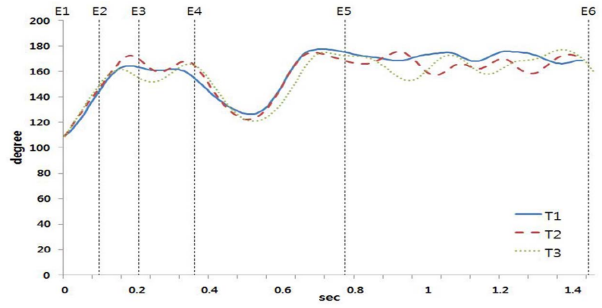

Figure 5. Profiles of left hip angle during Yang-1 technique extracted from Park & Song (2012). E1=BTD, E2=BTO, E3=HTD, E4=HTO, E5=PH, E6=LD

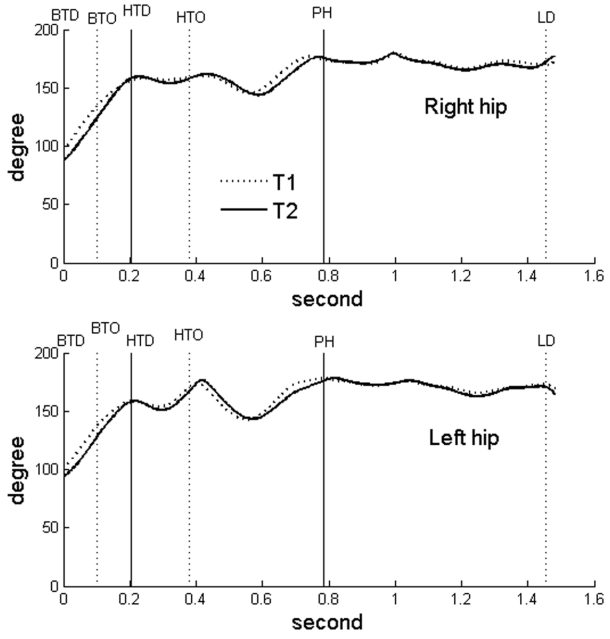

Figure 6. Profiles of hip angles during Yang-2 techniques

이전에 신전이 끝났지만, Yang-2 동작은 PH 쯤에 신전이 마무리되었다(Figure 5, Figure 6).

Table 8. Touch-down and take-off angles of board and horse (unit: deg)

		BTD	BTO	HTD	HTO
Yang-1	Trial #1	70	121	25	86
	Trial #2	74	116	20	85
	Trial #3	71	116	15	86
	M	71.67	117.67	20.00	85.67
	(SD)	(2.08)	(2.89)	(5.00)	(0.58)
Yang-2	Trial #1	63.78	94.19	4.54	62.57
	Trial #2	60.94	99.33	6.49	62.39
	M	62.36	96.76	5.52	62.48
	(SD)	(2.01)	(3.63)	(1.38)	(0.13)

Notes: Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

7. 구름판 지지각, 도마 지지각

<Table 8>는 구름판 지지각과 도마 지지각을 나타냈다. 구름판 지지각은 BTD와 BTO에서 Yang-2 동작은 62.36±2.01°, 96.76±3.63°로 Yang-1 동작의 71.67±2.08°, 117.67±2.89°보다 작았다. 도마 지지각은 HTD와 HTO에서 Yang-2 동작은 5.52±1.38°, 62.48±0.13°로서 Yang-1 동작의 20.00±5.00°, 85.67±0.58° 보다 작았다.

8. 동체 비틀기각

<Figure 7>은 Yang-1 동작(Park & Song, 2012) 결과이고, <Figure 8>은 Yang-2 동작 결과이다.

<Table 9>는 두 동작의 주요 시점별 동체 비틀기각을 나타냈다. BTD와 LD에서 차이가 미비했으나, BTO, HTD, HTO에서 큰 차이를 보였다. Yang-2 동작은 −73.31±17.65°, −137.6±31.3°, −116.7±42.2°을 나타내어 도마에 들어갈 때 반대방향으로 비틀기가 들어갔고 도마를 이륙할 때 반대방향 비틀기양이 줄었다.

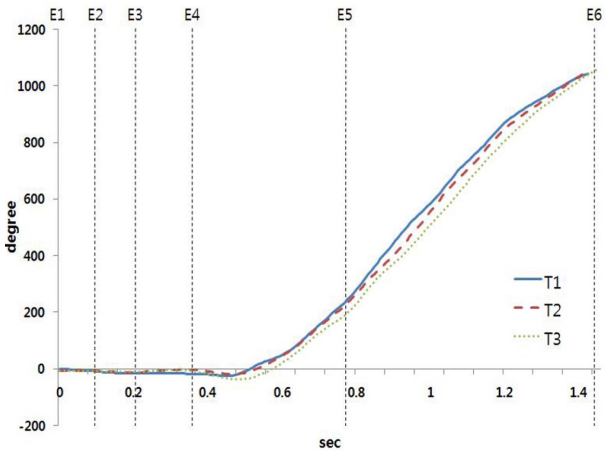

Figure 7. Profiles of torso twist angle during Yang-1 technique extracted from Park & Song (2012). E1=BTD, E2=BTO, E3=HTD, E4=HTO, E5=PH, E6=LD

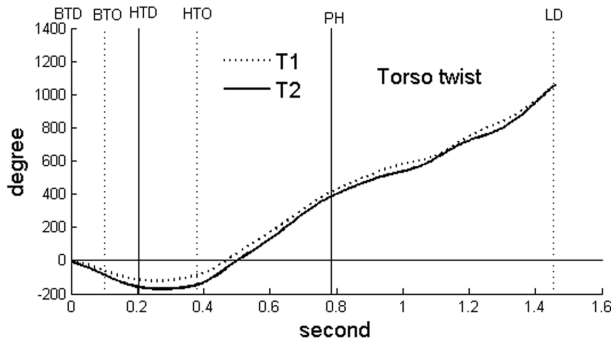

Figure 8. Profiles of torso twist angle during Yang-2 technique

Table 9. Twist angle of the body (unit: deg)

		BTD	BTO	HTD	HTO	PH	LD
Y1	Trial #1	-2	-10	-16	-17	244	1039
	Trial #2	-6	-8	-14	-4	213	1049
	Trial #3	-4	-6	-9	-6	199	1061
	M	-4.0	-8.0	-13.0	-9.0	218.7	1049.7
	(SD)	(2.0)	(2.0)	(3.6)	(7.0)	(23.0)	(11.0)
Y2	Trial #1	-1.18	-60.83	-115.4	-86.89	412.5	1053.1
	Trial #2	-8.12	-85.78	-159.8	-146.5	386.2	1047.8
	M	-4.65	-73.31	-137.6	-116.7	399.12	1050.5
	(SD)	(4.91)	(17.65)	(31.3)	(42.2)	(8.2)	(3.68)

Note: Y1=Yang-1, Y2=Yang-2
Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

Table 10. Twist angular velocity of the body (unit: °/s)

		HTO	PH	LD
Yang-1	Trial #1	-18	1349	385
	Trial #2	-100	1124	583
	Trial #3	-191	1178	493
	M	-103.00	1217.00	487.00
	(SD)	(86.54)	(117.46)	(99.14)
Yang-2	Trial #1	277.51	1313.52	530.17
	Trial #2	163.77	1278.28	572.86
	M	220.64	1295.90	551.52
	(SD)	(80.43)	(24.92)	(30.19)

Notes: Yang-1 data were extracted from Park & Song (2012).

9. 동체 비틀기 각속도

<Table 10>은 동체 비틀기 각속도를 나타냈다. HTO에서 Yang-2 동작은 220.64±80.43°/s로 양의 각속도를 나타낸 반면, Yang-1 동작은 –103.00±86.54°/s로 음의 각속도를 나타내었다. PH와 LD에서 Yang-2 동작은 1295.90±24.92°/s와 551.52±30.19°/s로서 Yang-1 동작의 1217.00±117.46°/s와 487.00±99.14°/s보다 빨랐다.

IV. 논 의

본 연구는 3차원으로 Yang-2 동작을 분석한 후 Park과 Song (2012)의 Yang-1 동작 결과와 운동학적으로 비교·분석하였다 .

Yang-1 동작은 핸드스프링 계열로 도마에 전면으로 들어가고 동시에 양손을 짚는 방식이다. 반면, Yang-2 동작은 스카하라 계열로 몸을 90° 비틀어 도마에 들어가고 순차적으로 손을 착지 시키는 동작이다. 기존 핸드스프링 계열 연구들은 Park과 Song (2012), Yeo와 Ryu (2008) 등에 의해 이루어져 왔으며, 스카하라 계열 연구들은 해외 연구보다는 국내 연구인 Lim (2004), Kim (2005), Lee 등 (2005), Lee, Park과 Lee (2006)에 의해 수행되었다. 하지만, YHS 선수를 대상으로 두 가지 동작을 비교한 논문은 없었다.

본 연구결과 운동학적 관점에서 Yang-1 동작과 Yang-2 동작의 차이점을 볼 수 있었다. 첫째, 선운동에서는 Yang-1 동작이 우수하였다. 선형운동학 변인 결과 Yang-1 동작이 Yang-2 동작보다 도마 진입 전 수평속도와 수직속도가 더 빨랐다. Yang-1 동작은 양손을 동시에 짚어야하기 때문에 도마 접촉시간이 매우 짧을 수밖에 없었다. 하지만, 결과에서는 Yang-2 동작과 동일한 도마 접촉시간(0.17초)을 나타내었다. 빠르게 도마에 진입하여 강한 블로킹을 통해 수평 속도를 수직 속도로 변환시켰기 때문에 수평속도 감소량(–2.34 m/s)이 Yang-2 동작(–1.57 m/s)보다 컸고, HTO 투사각도 Yang-2 동작보다 컸다. 이것은 몸을 더 수직으로 투사시켜 비틀기 동작에 필요한 체공시간을 확보

하려는 것으로 볼 수 있었다. 반면 Yang-2 동작은 도마에서 수평속도 감속이 적어 HTO시 Yang-1 동작보다 낮은 투사각으로 투사되었고, PH까지 수직상승높이도 Yang-1보다 낮았다. 이렇듯 Yang-1 동작은 제 2 비약에서 Yang-2 동작보다 시상면으로 발생하는 동체회전(rotation)이 유리한 기술이라고 볼 수 있다.

둘째, 비틀기 동작에서는 Yang-2 동작이 우수하였다. Yang-1 동작은 핸드스프링 계열이기 때문에 도마에 접촉하면서 전단면(transverse plane)으로 발생하는 동체 비틀기(twist)를 쉽게 만들 수 없었다. 최근 YHS선수와의 사적 인터뷰를 통해 Yang-1 동작을 구사할 때 오른손이 왼손보다 좀 더 앞쪽으로 짚는 방법으로 도마에서 조금이나마 비틀기 동작을 만들어 낸다는 것을 알 수 있었다. 비교결과를 놓고 보면 HTO에서 Yang-1 동작은 음(–)의 비틀기 각속도, Yang-2 동작은 양(+)의 비틀기 각속도를 보여 Yang-2 동작은 도마 접촉구간에서 충분한 비틀기를 만들어 낸 것을 알 수 있었다. 하지만, Yang-1 동작은 도마 접촉 구간에서 양(+)의 각속도를 생성해 내지 못했다. Park과 Song(2012) 연구결과에 의하면 HTO 이후 양(+)의 비틀기 각속도가 생성되는 것을 볼 수 있다.

만약 이륙할 때 초기 비틀기 각운동량이 없다면 공중에서 동체 비틀기를 만들어 내기 힘들다. 하지만, 고관절을 굽혀 상체축과 하체축을 어긋나게 하면서 상체비틀기가 들어가면 동체비틀기가 만들어진다는 것(tilt-twist motion)이 역학적으로 알려져 있다(Hay, 1993). 양손을 도마에 찍을 때 생성되는 비틀기 각속도도 있겠지만, Yang-1과 Yang-2 동작 모두 고관절의 굽힘에 의해서 일부 비틀기를 만들어 낸다고 볼 수 있다. <Figure 5>와 <Figure 6>에서 HTO (E4)와 PH (E5) 사이에 왼쪽 고관절의 큰 굴곡·신전이 발생하였다. Park과 Song (2012)은 이러한 동작을 '신체 차올림'으로 정의하고 Yang-1 동작의 핵심이라고 하였다. Yang-2 동작에서는 굴곡·신전량이 Yang-1 동작보다 적었고, PH 쯤에서 고관절 신전이 마무리되어 Yang-1 동작보다 힘찬 차올림이 부족하였다. 따라서 Yang-2 동작에서는 비틀기에 필요한 각속도를 '신체 차올림'보다는 다른 동작에서 생성해 내고 있음을 유추할 수 있다. Yang-2 동작의 비틀기 각을 보면 도마에 진입할 때 각기울기가 음(–)이었는데 도마를 떠날 때 각기울기가 양(+)의 값이었다(Figure 9). 이것은 도마 접촉 구간에서 비틀기 방향을 바꾸어 주는 강한 역회전 토크가 발생하여 새로운 방향으로 각속도가 생성되었음을 알려주었다. 로페즈 동작을 해석한 Park, Youn, Back, Kim과 Chung (2003)은 이 현상을 선수들의 '습관화된 특별한 감각'이라고 여기고, 도마에 진입할 때 반대방향으로 비틀어 들어오는 습관을 현실적으로 바꾸기 어렵다고 하였다. 하지만, 이것은 습관이라기보다는 역학적인 효율을 얻어내기 위한 동작으로 재해석할 수 있다.

Kasamatsu 동작 해석에서 Lee 등 (2005)은 도마에 왼손 접촉 후 오른손 접촉 때 강한 마찰력이 발생하고, 이 마찰력은 역회전력을 발생시켜 비틀기 움직임을 만들어 낸다고 하였다. 체조 논문에서는 아직 언급된 참고문헌이 없지만, 스카하라 계열 동작에서 도마 접촉 때 발생하는 역회전 토크 현상은 지면에서 발생하는 드롭 점프(drop jump) 원리와 유사하다고 할 수 있다(Bobbert, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1987). 드롭 점프는 일반 수직점프보다 더 큰 지면반력을 발생시키고 근수축의 강직성을 이끌어 낼 수 있어 트레이닝에서 많이 사용된다(Alkjaer, Meyland, Raffalt, Lundbye-Jensen, & Simonsen, 2013). 도마 접촉 구간에서 비틀기 토크를 만들어 내려면 수직점프에서 대항운동(countermovement)이 일어나듯 팔꿈치와 어깨의 굴곡·신전에 의해 비틀기 토크를 만들어 내야 한다. 그러나 두 관절이 굴곡·신전할 만큼 충분한 도마 접촉 시간이 없다. 또한 굴곡이 발생하면 강한 블로킹이 형성되지 않아 제 2 비약을 어렵게 만든다. 따라서 어깨와 팔꿈치 굴곡 없이 짧은 시간에 비틀기 토크를 만들기 위해서는 도마에서 발생하는 반작용력을 극대화시켜야 한다. 도마에 진입할 때 반대방향 운동을 먼저 발생시키고 접촉 시에는 반대 방향의 운동 관성을 어깨와 팔꿈치로 잘 버텨 강한 비틀기 반작용 토크를 생성해 내는 것이다. 이렇게 작용·반작용력을 잘 이용하면 도마에서 비틀기 토크를 만들어 낼 수 있다. Yang-2 동작뿐 아니라 스카하라 계열 동작은 이렇게 도마에서 비틀기 토크를 만들어 낸다고 해석할 수 있다. 반면 Yang-1 동작은 도마에 진입할 때 반대방향 운동이 거의 없기 때문에 도마에 의한 비틀기 반작용력도 매우 작아 도마 접촉에서 비틀기를 생성해 내기가 어렵다. 그래서 제 2 비약에서 신체 차올림에 의지할 수밖에 없었다.

Yang-2 동작은 HTO 이전에 양(+)의 각속도를 만들어 내었기 때문에 제 2 비약에서 Yang-1 동작보다 빠르게 동체 비틀기를 보여줄 수 있다는 장점이 있지만, 안전한 착지를 위해 그 만큼 빨리 감속을 해야 하는 어려움도 있다. 실제 YHS선수는 개인적 인터뷰에서 Yang-1 동작 착지가 불안할 때 시상면으로 한발을 내딛는 경우가 많고, Yang-2 동작 착지가 불안할 때 좌우면으로 발을 내딛는 경우가 많다고 하였다. 이는 과도한 비틀기 각속도가 Yang-2 동작 착지를 불안하게 만드는 요인으로 볼 수 있다. 따라서 하강국면에서 동체 비틀기 각속도를 효과적으로 줄이는 것이 매우 중요하고 이때 왼팔이 중요한 역할을 한다. Yang-1 동작과 마찬가지로 Yang-2 동작에서도 착지 직전 좌견관절의 펴짐(외전과 신전)이 신속히 이루어졌다(Figure 4). 몸 전체가 반시계방향으로 비틀고 있기 때문에 왼팔을 재빨리 반시계방향으로 신전시키면 몸 전체 각운동량은 보존되지만 작용·반작용 원리에 의해 일부 시계방향 동체 비틀기 각운동량이 생성되어 반시계방향의 몸 전체 비틀기 각속도가 줄

어들게 된다. Yang-1의 Trial #3는 뒤로 주저앉은 착지를 보인 것으로 좌견관절의 펴짐이 부족하여 착지 때 각속도 조절과 균형이 맞지 않았던 것을 알 수 있었다.

Yang-2 동작에서 착지할 때 전체 비틀기각이 기준각인 1260도 보다 낮은 1050도로 나타난 것은 스카하라 계열 기술 특성으로 볼 수 있다. FIG 채점규칙은 손짚고 옆돌기 후 신체가 완전히 진행방향으로 후면을 본 다음 비틀기 운동을 하지 않더라도 도마를 이륙한 후 신체가 진행방향으로 정면을 보게 되면 그 시점을 180도 비틀기로 간주하고 있어 Yang-2 동작은 세바퀴 반 비틀기 동작으로 볼 수 있다(Park et al., 2003).

종합하면 Yang-1 동작을 성공적으로 수행하기 위해서는 제 2 비약 체공높이를 높게 유지하면서도 체공시간을 증가시켜야 한다. 이와 동시에 PH시까지 빠른 신체 차올림을 통해 동체회전 속도와 동체 비틀기 속도를 만들어 내야 한다(Park & Song, 2012). 반면, Yang-2 동작을 성공적으로 수행하기 위해서는 Yang-1과는 달리 적절한 반대방향의 동체 비틀기 각속도를 만들어 도마에 진입해야 한다. 순차적인 양손 짚기와 견고한 어깨·팔꿈치 블로킹을 통해 역회전 비틀기 움직임을 만들어 내는 것이 중요하다. LD 시에는 왼팔을 재빨리 반시계 방향으로 펴서 동체 비틀기 각속도를 감소시켜야 한다. 이것은 착지매트 옆으로 몸을 이탈하지 않고 감점이 적은 착지를 이끌어 내는 방법이라고 할 수 있다.

본 연구의 한계점은 시행 횟수가 많지 않았다는 것이다. 연습 상황 외에 시합 상황에서도 Yang-2 동작 자료가 더욱 더 있었다면 보다 세밀한 분석이 이루어졌을 것으로 생각되었다.

지금까지 도마 연구에서는 구름판 이후 동작 연구가 집중적으로 이루어져 왔다. 현장의 의견을 들어보면 마지막까지 수평속도를 유지하는 것이 중요하고 구름판 들어오기 직전 세 스텝 정도가 도마에 손이 닿는 위치 결정에 절대적으로 영향을 미친다고 하였다. 따라서 추후 연구를 통해 구름판 전 질주 동작에 대한 분석도 필요하다 하겠다.

V. 결 론

본 연구에서는 YHS 선수를 대상으로 올림픽 금메달에 기여한 Yang-1 동작과 향후 주 기술로 사용할 Yang-2 동작을 비교하였다.

첫째, Yang-1 동작(핸드스프링 계열)은 BTO까지 수평과 수직 선속도가 Yang-2 동작(스카하라 계열)보다 빨랐다. Yang-1 투사각이 Yang-2 동작 투사각보다 컸고, 도마 이륙 후 PH까지 무게중심 수직상승 폭이 Yang-2 동작보다 컸다.

둘째, Yang-1 동작과 Yang-2 동작의 도마 진입 방법이 확연히 달랐고 비틀기를 생성해 내는 메커니즘도 달랐다. Yang-2 동작은 도마 접촉 구간에서 역회전 비틀기 각속도를 만들어 냈고, Yang-1 동작에서는 도마 이륙 후 신체 차올림 동작의 도움으로 비틀기 각속도를 생성해 냈다.

셋째, Yang-1 동작과 Yang-2 동작 착지 때 모두 좌견관절이 신속히 펴졌고, 이는 동체 비틀기 각속도를 제어하는 결정적인 요인으로 판단되었다.

결론적으로 Yang-1 동작은 제 2 비약에서 시상면 동체 회전(rotation)을 만들어 내는데 유리한 동작이었고, Yang-2 동작은 도마 접촉 구간에서 역방향 회전을 유도하여 전단면 동체 비틀기(twist)를 만드는데 유리한 동작이었다.

참고문헌

Alkjaer, T. 1., Meyland, J., Raffalt, P. C., Lundbye-Jensen, J., & Simonsen, E. B. (2013). Neuromuscular adaptations to 4 weeks of intensive drop jump training in well-trained athletes. *Physiological Reports,* 1(5), 1-11.

Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & Van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop landing. II. The influence of drop height on the biomechanics of drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise,* 19(4), 339-346.

Dilman, C., Cheetham, P., & Smith, S. L. (1985). A kinematic analysis of men's Olympic long horse vaulting. *International Journal of Sport Biomechanics,* 1, 96-110.

Hay, J. (1993). *The biomechanics of sports techniques*. Prentice-Hall: NY.

Kim, Y. J. (2005). The kinematic analysis of driggs motion in horse vaulting - A case study. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(3), 175-183.

Lee, S. H., Back, J. H., Kim, Y. S., & Kong, T. U. (2005). The kinematic analysis of Kasamatsu in vault. *The Korean Journal of Sport Biomechanics,* 15(4), 1-11.

Lee, S. H., Park, J. H., & Lee, J. H. (2006). Kinematic Analysis of Acopian in Vault. *The Korean Journal of Sport Biomechanics,* 16(1), 89-99.

Lim, K. C. (2004). Biomechanical analysis of Tsukahara vault with double salto backward piked. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(3), 135-147.

Oh, J. S. (2013). *Conceptual structure search of competitive state anxiety and development of questionnaire in male gymnastics tournament.* Unpublished Doctoral Dissertation, Chosun University, Gwangju.

Oh, J. S., & Cho, D. J. (2012). The recognition of the referee's decision in male gymnastics and it's improvement. *The Korean Journal of Sport*, 10(1), 13-25.

Park, J, H., & Song, J, H. (2012). The kinematic analysis of YANG Hak Seon vault. *Korean Journal of Sport Science*, 23(3), 702-717.

Park, J. H., Youn, S. H., Back, J. H., Kim, D. M., & Chung, N. J. (2003). The Kinematical analysis of ropez motion in horse vaulting. *The Korean Journal of Physical Education*, 42(3), 697-708.

Song, J. H., Moon, Y. J., Baek, J. H., Park, J. H., Ha, C. S., Nam, S. G., & Lee, Y. S. (2013). Completeness evaluation of YANG Hak Seon motion through the establishment and the application of the real-time feedback system in vault of gymnastics in preparation of London 2012 Olympics. *The Journal of Physical Education,* 52(6), 545-556.

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. (2007). The Roche Vault Performed by Elite Gymnasts: Somersaulting Technique, Deterministic Model and Judges' Scores. *Journal of Applied Biomechanics, 23, 1-11.*

Takei, Y., Blucker, E. P., Hudert D. J., Myers, S. A., & Fortney, V. L. (1996). A Three-dimensional analysis of the men's coopulsory vault performed at the 1992 Olympic Game. *Journal of Applied Biomechanics, 12, 237-257.*

Takei, Y., Blucker, E. P., Nohara, H., & Yamashita, N. (2000). The Hecht vault performed at the 1995 World Gymnastics Championships: Deterministic mode and judges' scores. *Journal of Sports Science*, 18(11), 849-863.

Yeadon, M. R., King, M. A., & Sprigings, E. J. (1998). Pre-flight characteristics of Hecht vaults. *Journal of Sports Science*, 16(4), 349-356.

Yeo, H. C. (2003). Kinematic Analysis of Yeo motion at horse vaulting. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 13(1), 39-50.

Yeo, H. C., & Ryu, J. K. (2008). The kinetic analysis k-study of oche technique in horse vaulting. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(4), 201-207.

Yoon, C. S. (2005). *Mechanical analysis of the Yurichenko stretch skill on the horse vaulting.* Unpublished Doctoral Dissertation, Korea National Sport University, Seoul.