

우수선수와 비우수선수의 도마 스카하라 동작 운동학적 비교

박철휘¹ · 김영관² · 백창의¹

¹전남대학교 대학원 체육학과 · ²전남대학교 사범대학 체육교육과

Kinematic Comparisons of Tsukahara Vault between a Top-Level and Sublevel Collegiate Athletes

Cheol-Hee Park¹ · Young-Kwan Kim² · Chang-Yei Back¹

¹Department of Physical Education, Graduate School, Chonnam National University, Gwangju, Korea

²Department of Physical Education, College of Education, Chonnam National University, Gwangju, Korea

Received XX April 20XX; Received in revised from XX June 20XX; Accepted XX June 20XX

ABSTRACT

Objective : The purpose of this study was to investigate kinematic comparisons of Tsukahara vault in gymnastic between a top-level and sublevel collegiate athletes in order to find out the information of biomechanical key points for successful Tsukahara vaults.

Methods : An Olympic gold medalist (height, 160 cm; mass, 52 kg; age, 25 yrs) as a top-level athlete and five sublevel collegiate gymnastic players (height, 168.2±3.4 cm; mass, 59.6±3.1 kg; age, 23.2±1.6 yrs) participated in this study. They performed Tsukahara vaults including one somersault repeatedly. Fourteen motion capturing cameras were used to collect trajectories of 26 body markers during Tsukahara vaults. Event time, displacement and velocity of the center of mass, joint angles, the distance of two hands on horse, and averaged horizontal and vertical impact forces were calculated and compared.

Results : The top-level athlete showed larger range of motion (ROM) of hip and knee joints than sublevel collegiate athletes during board contact. During, horse contact, the top-level athlete revealed a narrow distance between two hands with extended elbow and shoulder in order to produce a strong blocking force from a horse with a shorter contact time of the horse. At the moment of horse take-off, reactive hip extension of the top-level athlete enhanced propulsive take-off velocity and hip posture during post-flight phase.

Conclusion : Even though higher velocities of the center of mass is important, the posture and interactive action during horse contact is very crucial to post-flight performance and advanced learning of Tsukahara vault.

Keywords : Tsukahara vault, Gymnastics, Kinematics

I. 서론

대한민국 기계체조 도마 경기는 주요 메달 종목으로 88년 서울올림픽의 동메달(박종훈)을 기점으로 92년 바르셀로나 올

림픽 동메달(유옥렬), 96년 애틀랜타 올림픽 은메달(여홍철)을 획득하였다. 그리고 2012년 런던 올림픽에서 양학선 선수가 신기술(YANG Hak Seon, 난도 7.4[현재 6.4])을 개발하고 성공적인 연기를 펼친 끝에 도마에서 금메달 획득하였다. 이를 계기로 대한민국은 도마종목 강국으로 한 단계 도약하는 성과를 거두었다. 그 바탕에는 경기력 향상을 향한 선수, 현장지도자, 스포츠 과학자들의 꾸준한 노력이 있었기에 신기술이 개발되고 다듬어져 세계 정상에 오를 수 있었다.

체조 규정이 최근 들어 바뀜에 따라 모든 선수들은 시험에

Corresponding Author Young-Kwan Kim
Department of Physical Education, Chonnam National University, 77
Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, 61186, Korea
Tel : +85-62-530-2553 / Fax : +82-62-530-2563
E-mail : ykim_01@naver.com

서 2가지 서로 다른 기술을 구사해야한다. 국제체조연맹(Federation Internationale de Gymnastique, 2013)은 예선경기 와 결선경기에 참여하는 선수는 각기 다른 그룹(EG-I~EG-V)으로 분류된 두 가지 동작을 선택하여 도마동작을 수행해야한다고 규정하였다. 서로 다른 기술 그룹 중 국내 남자선수들이 가장 많이 선호하는 것은 스카하라(Tsukahara)계열(IV 그룹)이었다(Yeo, 2003). 최근에는 서양선수들이 선호하는 핸드스프링(handspring)계열(III 그룹)도 메달 진입을 위해서 많이 구사하고 있는 실정이다. 스카하라 기술은 구름판 이륙 후 옆으로 손 짚고 돌아 몸 펴(stretched) 뒤공중돌기(Salto)하는 것을 기본으로 하고, 비틀기 회전에 따라 기술 난도점수가 부여된다(Lee, Back, Kim, & Kong, 2005). 반면, 핸드스프링 기술은 정면으로 진입하여 양손을 동시에 접촉하는 동작으로 높이 확보에 유리하고 시상면으로 동체회전(rotation)을 만들어 다양한 기술 구사가 가능하다. 스카하라 기술은 도마접촉 구간에서 역방향 토크를 유도하여 동체 비틀기(twist) 생성에 유리하다고 알려졌다(Park & Kim, 2014).

지금까지 체조 도마 연구들은 제2비약 체공시간을 늘리고 고난도 기술을 구현할 수 있는 전략적 요인들을 밝혀왔다. 이미 빠른 도움닫기 수평속도에 의한 제2비약 수직속도 획득이 필수조건으로 알려졌고(Park & Song, 2012; Lim, 2004; Takei, 1988, 1989, 1996, 1998, 2007; Yeadon, King, & Springings, 1998), 수직속도를 효과적으로 얻기 위해 도마를 짚을 때 강한 블로킹으로 수직성분을 만들어 내는 것이 성공여부의 핵심이라고 밝혀냈다(Lee, Park, & Lee, 2006; Lee, Song, & Park, 2012). 이 때 주관절과 견관절은 굽혀서 안 되고 무거운 중심이 운동방향으로 밀리지 않게 해야 한다(Yeo, 2006).

하지만, 도마 연구 중 신형 도마를 대상으로 기본 동작을 탐구한 것들이 부족하였다. 그 이유는 초창기 모든 기본 동작 연구는 구형도마에서 이루어진 것들이고, 최근 연구들은 신형도마로 연구하였지만 응용 및 복합 동작 분석에 치우쳤다. 따라서 초창기 기본 동작에 대한 논문 결과들이 신형도마인 현재 현장 기술지도 상황과 맞지 않는 점이 있다. 스카하라 기술은 도마에 옆으로 진입하기 때문에 도마 접촉 시간이 길고 한쪽 팔에 하중이 집중되어 이륙 탄성을 높이는데 어려움이 있다고 이전 논문에서 언급하였다(Dilman, Cheetham, & Smith, 1985; Park, Youn, Back, Kim, & Chung, 2003). 하지만, 2001년부터 바뀐 신형도마에서는 앞 모서리가 둥글고 짚는 면이 넓어 안정적으로 손 짚기가 가능하여 스카하라 계열이 다른 기술에 비해 비틀기에 더 유리하다고 밝혀졌다(Park & Kim, 2014). 또한, 신형도마로 바뀌면서 도마 블로킹에 의한 도약력이 증가되었고 제2비약에서 다양한 형태의 공중 기술들이 발전되었다고 보고 되었다(Back et al., 2005).

현장에서 판단하면 스카하라 계열 고난도 기술을 구현하기

위해서는 이전 단계인 기본 스카하라 기술을 완벽히 숙달하는 것이 필요하다. 특히, 여러 연구들을 통해 완성도가 높은 고난도 기술은 기본기술을 완벽히 수행했을 때만 가능하였다(Lee et al., 2006). 이에 따라, 정확한 운동학적 측정을 바탕으로 기술 습득 과정에서 선수들의 기본 기술을 객관적으로 평가하고 자세에 대한 올바른 피드백을 확실히 심어 줄 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 신형 도마에서 수준이 다른 선수들을 대상으로 스카하라계열 기본 기술을 촬영하여 영상분석을 실시하였다. 그 목적은 운동학적 변인들을 비교·분석함으로써 우수와 비우수선수들의 장·단점을 파악하고 고난도 기술 습득에 필요한 스카하라 동작의 핵심 요소 기술을 파악하고자 하였다. 또한 스카하라 기술을 처음 배우려는 어린 선수들과 일선지도자들에게 과학적인 훈련을 지도 할 수 있도록 기초자료를 제공하는데 부차적 목적을 두었다. 또한 기존 연구들에서 간과하였던 양손 도마 접촉 시의 자세를 더 살펴보아 도마 접촉 조건이 기술 성공여부에 매우 중요하다고 가정하고 연구에 접근하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

우수선수(A)는 2012년 런던 올림픽 도마 종목 금메달 수상자로서 스카하라 1260°를 수행할 수 있는 YHS 선수였다. 비우수선수(B)는 스카하라 360° 비틀기 동작을 수행 할 수 있는 대학선수 5명으로 선정하였다. 이들이 시합에서 구사하는 도마 기술의 난도점수(D-score)는 4.4점으로 대학 선수들의 보편적인 난도점수(5.2점)보다 떨어졌다. 대상자들의 신체적 특성과 구사하는 기술점수는 <Table 1>과 같다. 실험에 앞서 연구윤리 규정에 의거하여 본인의 개인정보 활용 동의서와 연구 참여 동의서를 받았다.

2. 실험 장비

동작 측정을 위해 8대의 실내용 적외선 카메라(Osprey[®],

Table 1. Anthropometric data of subjects and their D-score in performance

	Height (cm)	weight (kg)	Career (yr)	Age (yr)	Score (D-score)
A	160	52	14	25	6.4
B1	168	58	12	23	4.4
B2	172	64	12	23	4.4
B3	170	56	12	23	4.4
B4	163	59	13	25	4.4
B5	168	61	14	25	4.4
B	168.2 (3.35)	59.6 (3.05)	12.6 (0.89)	23.8 (1.10)	4.4 (0.0)

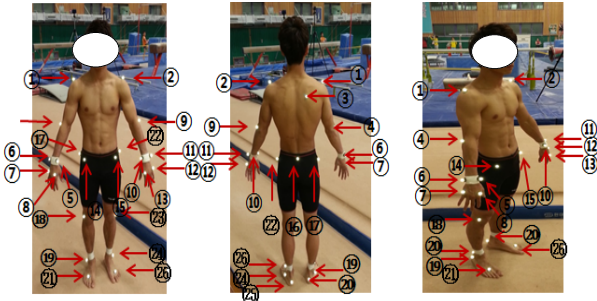


Figure 1. Locations of reflective marker attachment on major anatomical points (Park,& Kim, 2014)

Table 2. Detailed explanation on marker locations (Park & Kim, 2014)

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 5 th metacarpophalangeal joint
⑧	Right 3 rd metacarpophalangeal joint
⑨	Left elbow (lateral epicondyle)
⑩	Left radial styloid process
⑪	Left ulnar styloid process
⑫	Left 5 th metacarpophalangeal joint
⑬	Left 3 rd metacarpophalangeal joint
⑭	Right anterior superior iliac spine
⑮	Left anterior superior iliac spine
⑯	Middle of posterior superior iliac spine
⑰	Right greater trochanter
⑱	Right knee (lateral condyle)
⑲	Right ankle (lateral malleolus)
⑲	Right heel (calcaneous bone)
⑲	Right toe (2nd metatarsalphalangeal joint)
⑳	Left greater trochanter
㉑	Left knee (lateral condyle)
㉑	Left ankle (lateral malleolus)
㉑	Left heel (calcaneous bone)
㉑	Left toe (2nd metatarsalphalangeal joint)

Motion Analysis, USA)와 6대의 실내·외용 적외선 고속카메라 (Raptor-E®, Motion Analysis, USA)를 동시에 사용하였다. 업체 제공 소프트웨어(Cortex 4.0®, Motion Analysis, USA)를 이용하여 카메라를 구동하였고, 영상취득률은 200 Hz로 설정하였다. 원하는 동작 자료 획득과 분석을 위해 19 mm 반사마커 26개를 해부학적 주요지점에 부착시켰고, 15개 분절 신체모델을 사용하

였다(Figure 1, Table 2). 전진 진행방향을 X축, 진행방향의 좌측을 Y축, 수직 윗방향을 Z축으로 전역좌표계를 정의하였다. 수치 해석프로그램인 Matlab®(ver. 2003, MathWorks, USA)에서 측정된 3차원 마커 위치자료를 불러들여 운동학 변인을 계산하였다.

3. 실험 절차

실험조건에 익숙하고 편안한 동작이 나올 수 있도록 피험자들에게 충분한 워밍업 시간을 주었다. 워밍업 이후 신체 주요 부위에 반사마커를 양면테잎으로 부착하였다(Table 2). 반사마커는 반바지 수영복 위와 맨살위에 붙였으며 동작 중에 떨어지지 않게 하기위해 어슬레틱 테이프로 고정시켰다.

모든 사전 준비가 완료되면 실험진행자의 준비와 출발 구령에 따라 피험자들은 스카하라 기본 동작을 수행하였다. 연구 대상자의 의지에 따라 우수선수는 2차례만 시도하였고, 모두 안정적 착지를 보였다. 2차례 평균 결과를 자료처리에 활용하였다. 비우수선수들은 5차례씩 시도하였다. 5차례 시기 중 안정적 착지와 체공높이가 높은 상위 2차례 결과를 선택하여 그 평균값으로 추후 운동학적 변인 분석을 하였다.

4. 자료 처리와 분석

본 연구에서 이벤트와 국면은 다음과 같이 정의하였다(Park, & Kim, 2014, Figure 2). BC(board contact)국면은 구름판에 발이 닿는 순간(board touch-down, BTD)부터 구름판에서 발이 떨어지는 순간(board take-off, BTO), HC(horse contact)국면은 도마에 왼손이 닿는 순간(horse touch-down, HTD)부터 도마에서 오른손이 떨어지는 순간(horse take-off, HTO), 최고점(peak height, PH)은 제2비약 중 수직으로 신체중심이 최고점에 이르는 순간, 착지((landing, LD)는 매트에 발이 닿는 순간으로 하였다. 제1비약(pre-flight)은 구름판에서 발이 떨어진 순간부터 도마에 왼손이 닿는 순간까지 비행구간이고, 제2비약(post-flight)은 오

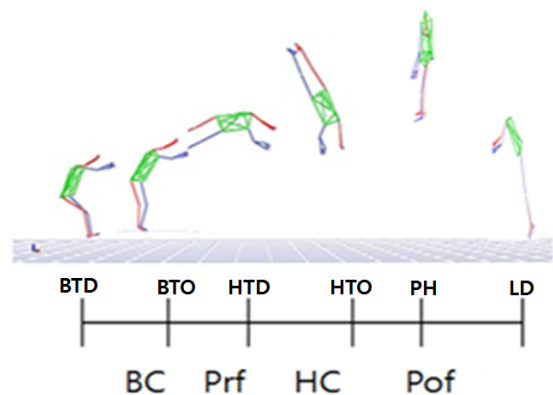


Figure 2. Definitions of major events and phases during Tsukahara technique

른손이 도마를 떠난 순간부터 착지까지 시간으로 설정하였다.

선행 연구들(Lee et al., 2006; Takei, Blucker, Hudert, Myers, & Fortney, 1996; Takei, 2007)을 근거로 본 연구에서는 신체중심(center of mass, CM) 위치와 속도 자료 이외에 다음과 같이 각도 변인들을 정의하였다. 견관절각(shoulder angle)은 상완과 몸통이 이루는 상대 각도, 주관절각(elbow angle)은 전완과 상완이 이루는 상대 각도, 고관절각(hip angle)은 대퇴와 몸통이 이루는 상대 각도, 슬관절각(knee angle)은 하퇴와 대퇴가 이루는 상대 각도로 각각 정의 하였다. 도마 지지각(relative angle to vault table)은 착지각과 이륙각을 포함한 것으로 양손 질량중심점에서 신체중심으로 향하는 벡터를 XZ 평면(시상면)에 투영하여 X축(수평축)으로부터 생성되는 각으로 정의하였다. 또한, 운동량-충격량 관계식($(\Sigma F) \cdot (\Delta t) = m \cdot \Delta V$, ΣF 는 평균 충격력, Δt 는 접촉 시간, m 는 피험자 질량, ΔV 는 속도 차이)에 운동학적 결과와 연구대상자 질량을 적용하여 구름판 접촉과 도마 접촉할 때 발생하는 수평과 수직방향 평균 충격력을 계산하였다.

5. 통계 처리

본 연구에서는 기술 통계값(평균과 표준편차)을 제시하여 우수선수와 비우수선수의 차이를 살펴보았다.

III. 결 과

1. 국면별 소요시간

국면별 소요시간은 <Table 3>과 같다. 전체소요시간은 우수

Table 3. Comparisons of event times and phase times during Tsukahara technique (unit: sec)

	BC	PrF	HC	PoF	VT
A	0.04	0.16	0.12	1.02	1.34
B1	0.04	0.18	0.16	0.94	1.32
B2	0.04	0.22	0.12	0.92	1.30
B3	0.04	0.21	0.14	0.94	1.33
B4	0.04	0.17	0.18	0.91	1.30
B5	0.03	0.19	0.16	0.95	1.33
B	0.04 (0.00)	0.19 (0.02)	0.15 (0.02)	0.93 (0.02)	1.32 (0.02)

Notes: VT = vaulting time

선수(A)에서 1.34초, 비우수선수(B)에서 1.32±0.02초로 우수선수 결과가 0.02초 더 길었다. 세부적으로 살펴보면 BC구간에서는 두 집단이 같았고, 우수선수는 제1비약(PrF) 구간에서 0.03초, 도마 접촉(HC) 구간에서 0.03초 짧았다. 반면 제2비약(PoF) 구간에서는 비우수선수보다 0.09초 더 길었다. 비우수선수 중에 B2선수는 제 1비약 소요시간이 0.22초로 가장 길었고, 도마 접촉 구간에서 우수선수(0.12초)와 동일한 결과를 보였다. 비우수선수 중 B4선수는 가장 짧은 제1비약 소요시간(0.17초)을 나타내었지만 도마 접촉 구간에서 0.18초로 가장 긴 시간을 보였다.

2. 신체중심의 수평, 수직 위치 변화

<Table 4>는 신체중심 변위를 나타낸 것이다. 수평과 수직 변위 모두 연구대상자의 키로 표준화하였다. 수평 변위의 경우

BTD를 기준으로 잡아 변화된 위치를 나타냈다. 수평변위를

Table 4. Comparisons of horizontal and vertical displacements of the center of mass (unit: m/height(m))

	BTD	BIO	HID	PF	HIO	PH	LD	PoF
Horizontal displacement								
A	0.0	0.163	0.656	0.493	0.994	1.856	3.138	2.144
B1	0.0	0.119	0.589	0.470	0.940	1.637	2.512	1.572
B2	0.0	0.110	0.674	0.564	0.942	1.593	2.512	1.570
B3	0.0	0.129	0.676	0.547	0.971	1.612	2.441	1.470
B4	0.0	0.135	0.583	0.448	0.982	1.681	2.663	1.681
B5	0.0	0.101	0.589	0.488	0.940	1.589	2.524	1.584
B	0.0 (0.0)	0.119 (0.014)	0.622 (0.048)	0.503 (0.050)	0.955 (0.020)	1.622 (0.038)	2.530 (0.081)	1.575 (0.075)
Vertical displacement								
A	0.519	0.544	0.906	0.362	1.156	1.588	0.531	-0.625
B1	0.530	0.536	0.887	0.351	1.119	1.375	0.393	-0.726
B2	0.523	0.535	0.948	0.413	1.116	1.349	0.401	-0.715
B3	0.547	0.559	0.918	0.359	1.118	1.382	0.435	-0.683
B4	0.534	0.564	0.908	0.344	1.196	1.417	0.429	-0.767
B5	0.524	0.536	0.911	0.375	1.173	1.446	0.446	-0.727
B	0.532 (0.010)	0.546 (0.014)	0.914 (0.022)	0.368 (0.027)	1.144 (0.038)	1.394 (0.038)	0.421 (0.023)	-0.724 (0.030)

살펴보면 BTO에서 우수선수(키의 0.163배)의 변위가 비우수선수(키의 0.119배)보다 0.044배 정도 길었다. 그리고 착지에서 우수선수(키의 3.138배)의 수평변위가 비우수선수(키의 2.530배)보다 0.608배 정도 수평으로 더 멀리 위치하였다. 제1비약과 제2비약 간의 수평거리를 비교해 보면 우수선수의 제1비약(키의 0.493배)이 비우수선수의 제1비약(키의 0.503배)보다도 짧았다. 하지만 제2비약에서 우수선수(키의 2.144배)가 비우수선수 평균(키의 1.575배)보다 훨씬 더 멀리 뛰었다.

수직변위를 살펴보면 BTO에서 HTO까지 우수선수와 비우수선수가 비슷한 값을 나타냈다. 그러나 PH와 LD에서 우수선수(키의 1.588배와 0.531배)는 비우수선수(키의 1.394배와 0.421배)보다 높은 값을 나타냈다.

3. 신체중심의 수평과 수직속도 변화

<Table 5>는 신체중심 수평과 수직속도를 나타낸다. 전체 주요시점에 걸쳐 우수선수의 수평속도가 비우수선수 값보다 컸다. 구름판 접촉구간과 도마 접촉구간에서 수평속도 감속을 살펴보면 우수선수가 -1.61 m/s, -1.33 m/s로 비우수선수 -1.18 m/s, -1.10 m/s보다 큰 감속 값을 나타냈다.

구름판 접촉구간과 도마 접촉구간에서 수직속도 변화를 살펴보면 우수선수가 3.78 m/s, 0.35 m/s로 비우수선수 2.91 m/s, 0.13 m/s보다 큰 가속 값을 나타냈다. 구름판 진입할 때(BTD)부터 우수선수(6.85 m/s)는 비우수선수(5.97 m/s)보다 큰 수평속도로 들어왔다. 수직속도도 우수선수(-1.08 m/s)가 비우

Table 5. Comparisons of horizontal and vertical linear velocities of the center of mass (unit: m/s)

	BTD	BTO	ΔB	HTD	HTO	ΔH	LD
Horizontal velocity							
A	6.85	5.24	-1.61	5.01	3.68	-1.33	-
B1	5.84	4.88	-0.96	4.25	3.13	-1.12	-
B2	6.08	4.79	-1.29	4.22	3.31	-0.91	-
B3	6.02	4.81	-1.21	4.22	3.14	-1.08	-
B4	5.89	4.53	-1.36	4.30	3.19	-1.11	-
B5	6.03	4.95	-1.08	4.35	3.05	-1.30	-
B	5.97 (0.10)	4.79 (0.16)	-1.18 (0.16)	4.27 (0.06)	3.16 (0.10)	-1.10 (0.14)	-
Vertical velocity							
A	-1.08	2.70	3.78	3.22	3.57	0.35	-5.46
B1	-0.78	1.90	2.68	2.61	2.53	-0.08	-4.85
B2	-0.96	2.14	3.10	2.34	2.62	0.28	-5.04
B3	-0.97	2.03	3.00	2.31	2.75	0.44	-5.14
B4	-0.56	2.57	3.13	2.81	2.63	-0.18	-5.22
B5	-0.45	2.20	2.65	2.83	3.00	0.17	-5.57
B	-0.74 (0.23)	2.17 (0.25)	2.91 (0.23)	2.58 (0.25)	2.71 (0.18)	0.13 (0.26)	-5.16 (0.27)

ΔB=BTO-BTD, ΔH=HTO-HTD

수선수(-0.74 m/s)보다 큰 값을 나타내었다. 비우수선수 중에는 B2선수가 수평속도(6.08 m/s)와 수직속도(-0.96 m/s)가 가장 컸다.

4. 도마 접촉 시 양손의 거리와 방향

도마 접촉 시 짙는 왼손과 오른손 사이 거리와 두 손의 짙는 방향을 보면 우수선수(0.41±0.05 m)는 비우수선수(0.54±0.04 m)보다 0.13 m 정도 양손 폭을 줄여 도마를 짙었다. 오른손 짙는 방향은 비우수선수(108.15±4.27°)가 우수선수(100.90±12.54°)보다 약 8° 정도 반시계방향으로 더 틀었다.

5. 견관절 각도

<Table 6>은 도마를 짙을 때(HTD)와 도마에서 이륙할 때(HTO) 좌·우측 견관절 각도값을 나타낸다. HTD 좌측 견관절(먼저 짙는 팔) 각도에서 우수선수(113.85±4.43°)가 비우수선수(103.58±4.43°)보다 10.27° 더 췌고, 우측 견관절(나중 짙는 팔)은 덜 췌었다. HTO에서는 두 집단이 서로 비슷한 좌·우측 견관절 각도를 보였다.

비우수선수 중 B4선수(99.32°)는 HTD에서 가장 작은 좌측 견관절 각도를 보였으며, B5선수(149.46°)는 가장 큰 우측 견관절 각도를 보였다. HTO에서 B5선수(139.72°)가 가장 큰 우측 견관절 각도를 보였다.

6. 주관절 각도

Table 6. Comparisons of shoulder angles at horse touch-down and horse take-off (unit: deg)

	HTD	HTO
Left angles		
A	113.85	119.09
B1	109.4	121.01
B2	106.86	119.01
B3	100.71	110.40
B4	99.32	131.20
B5	101.62	122.34
B	103.58 (4.33)	120.79 (7.45)
Right angles		
A	135.48	127.40
B1	140.98	115.03
B2	137.33	120.3
B3	139.81	123.44
B4	141.57	125.57
B5	149.46	139.72
B	141.83 (4.56)	124.81 (9.23)

Table 7. Comparisons of elbow angles at horse touch-down and horse take-off (unit: deg)

	HTD	HTO
Left elbow angles		
A	131.05	119.31
B1	128.05	115.31
B2	126.22	124.26
B3	122.33	111.83
B4	121.63	125.17
B5	108.07	113.77
B	121.26 (7.84)	118.07 (6.91)
Right elbow angles		
A	147.22	153.88
B1	128.05	133.30
B2	136.28	143.95
B3	147.12	144.85
B4	139.73	142.71
B5	139.76	158.46
B	138.19 (6.91)	144.65 (9.00)

도마를 짚을 때(HTD)와 도마에서 이륙할 때(HTO) 좌·우측 주관절 각도를 나타낸 것은 <Table 7>과 같다. HTD 좌측 주관절(먼저 짚는 팔)을 보면 우수선수(131.05±0.30°)가 비우수선수(121.26±7.84°)보다 팔꿈치를 9.79° 더 폈으며, 우측 주관절(나중 짚는 팔)도 우수선수가 9.03° 더 폈다. HTO에서 좌측 주관절이 서로 비슷하게 나왔고, 도마에서 손을 떼는 우측 주관절각에서는 우수선수(153.88±11.23°)가 비우수선수(144.65±9.00°)보다 주관절을 크게 가져갔다.

비우수선수 중 B5선수(108.07°)는 HTD에서 가장 작은 좌측 주관절 각도를 보였으며, B1선수(128.05°)는 가장 큰 우측 주관절 각도를 보였다. HTO에서는 B5선수(158.46°)가 가장 큰 우측 주관절 각도를 보였다.

7. 고관절 각도

<Table 8>은 우수선수와 비우수선수의 주요시점별 고관절 각도를 나타낸다. BID와 BTO에서는 서로 유사하게 나타났지만, HID에서 우수선수(158.18±2.15°)가 비우수선수(140.86±11.58°)보다 고관절각을 크게 가져갔다. 이후 HTO에서 유사하였고, PH와 LD에서 우수선수는 163.97±6.51°와 140.95±0.45°로 비우수선수의 140.86±11.58°와 131.13±2.81°보다 큰 고관절 각을 가져갔다. HTO와 PH에서 발생하는 고관절 움직임은 살펴보면, 우수선수는 HTO(145.83°)에서 PH(163.97°)으로 가면서 신전을 하였지만, 비우수선수는 141.57°에서 135.26°로 굴곡하였다. 특히, 비우수선수 중 B2선수와 B5선수는 HTO에서 PH로 가면서

Table 8. Comparisons of hip joint angles of major events. (unit: deg)

	BID	BTO	HID	HIO	PH	LD
A						
A	112.85	126.70	158.18	145.83	163.97	140.95
B1	114.90	127.75	132.35	127.00	126.81	132.48
B2	118.13	130.68	140.67	150.04	140.75	130.58
B3	124.24	137.31	131.48	130.56	124.39	131.43
B4	118.09	131.36	139.59	139.51	136.97	126.78
B5	114.65	126.05	160.20	160.74	147.39	134.36
B	118.00 (3.87)	130.63 (4.31)	140.86 (11.58)	141.57 (13.94)	135.26 (9.61)	131.13 (2.81)

10°이상으로 굴곡하였다.

8. 슬관절 각도

슬관절 각도를 비교해보면 BID에서 우수선수(136.57±2.88°)는 비우수선수(142.41±4.09°)보다 작았고, BTO에서 우수선수(172.46±5.54°)는 비우수선수(167.32±5.75°)보다 컸다. 우수선수는 BC구간에서 약 36°정도 슬관절 가동변위를 나타냈고 비우수선수 동일구간에서 25°를 나타냈다.

9. 도마 지지각

도마 지지각을 살펴보면 도마 착지(HTD)에서 우수선수가 5.62±7.74°, 비우수선수가 7.81±7.42°를 나타내어 우수선수가 조금 더 수평으로 진입하였다. 도마 이륙(HTO)에서는 우수선수가 45.91±0.02°, 비우수선수가 52.11±4.22°를 나타내어 비우수선수가 조금 더 수직으로 이륙하였다.

10. 평균 충격력

운동량-충격량 관계식을 적용하여 구릎관과 도마에서 얻어진 평균 수평과 수직 충격력 결과는 <Table 9>와 같다. 우수선수는 수평과 수직방향 충격력에서 모두 비우수선수의 값보다 컸다. 특히 우수선수의 도마 평균 수직 충격력(151.7 N, 0.30 BW)는 비우수선수(60.4 N, 0.10 BW)보다 2배 이상 컸다.

비우수선수 중에 B2선수(149.3 N, 0.24 BW)와 B3선수(176.0 N, 0.32 BW)는 우수선수 값에 근접했거나 더 컸다. 하지만, B1선수(-29.0 N, -0.05 BW)나 B4선수(-59.0 N, -0.10 BW)는 음의 값으로 도마에서 수직 탄력을 얻지 못했고, 전체 평균에 영향을 주었다.

Table 9. Comparisons of averaged horizontal and vertical impact force at board and horse (unit: N and body weight).

	Board(N)	(BW)	Horse(N)	(BW)
Horizontal impact force				
A	-2,093.0	-4.10	-576.3	-1.13
B1	-1,392.0	-2.45	-406.0	-0.71
B2	-2,064.0	-3.29	-485.3	-0.77
B3	-1,694.0	-3.08	-432.0	-0.79
B4	-2,006.0	-3.47	-363.8	-0.63
B5	-2,196.0	-3.67	-495.6	-0.83
B	-1,870.4 (324.8)	-3.19 (0.47)	-436.6 (55.0)	-0.75 (0.08)
Vertical impact force				
A	4,914.0	9.63	151.7	0.30
B1	3,886.0	6.83	-29.0	-0.05
B2	4,960.0	7.90	149.3	0.24
B3	4,200.0	7.65	176.0	0.32
B4	4,616.8	7.98	-59.0	-0.10
B5	5,388.3	9.00	64.8	0.11
B	4,610.2 (595.9)	7.87 (0.78)	60.4 (104.3)	0.10 (0.18)

IV. 논 의

신형 도마를 이용한 스카하라 기본 동작 연구가 진행된 것이 부족하였고, 기본 기술 습득이 완벽하게 이루어져야만 고난도 기술이 가능하기 때문에 본 연구는 스카하라 동작에서 우수선수(A)와 비우수선수(B)간의 차이점을 운동학적으로 분석하고 개선해야 할 점들을 찾아보았다.

스카하라 동작은 핸드스프링 계열과는 달리 몸을 90° 비틀어 도마에 진입하기 때문에 순차적으로 손을 접촉해야하는 동작이다. 반시계방향으로 비틀 경우 왼손-오른손 순으로 도마를 짚게 된다. 외국선수들은 핸드스프링 계열을 선호하는 반면, 국내 선수들은 스카하라 계열을 선호하는 편이다(Yeo, 2003). 최근 고난도 기술의 완성도를 높이는 연구(Lim, 2004; Kim, 2005; Lee et al., 2012; Park & Kim, 2014; Hong & Oh, 2015)들이 활발히 이루어져 왔으며, Lee 등 (2006)은 기본기술을 완벽히 수행했을 때 고난도 기술이 가능하다고 하였다.

본 연구 결과 구간별로 우수선수 동작과 비우수선수 동작의 차이점을 볼 수 있었다. 우수선수와 비우수선수가 구름판 접촉 구간에서 동일한 구름판 접촉시간(0.04초)을 나타냈다. 하지만 우수선수가 동일 구간에서 더 큰 고관절과 슬관절 움직임 가동 범위를 가져왔다. Driggs 동작연구에서 Kim (2005)은 고득점 선수일수록 고관절과 슬관절 굴곡이 크고 빠른 신전을 하고 있다고 보고하였다. 즉, 우수선수는 선행연구 결과와 유사하게 짧은 시간에 강한 발구름과 함께 제1비약을 한 것으로 볼 수 있었다. 반면 비우수선수는 LTD에서 우수선수보다 고관절과 슬

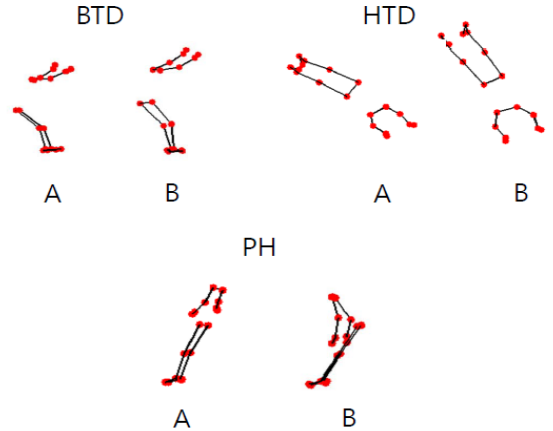


Figure 3. Major different features of postures between a top-level athlete (A) and collegiate athletes (B) in Tsukahara vault

관절이 편 상태로 진입하였기 때문에 구름판의 반력을 충분히 활용하지 못 하였다(Figure 3). 따라서 LTD 직전 상체를 앞으로 숙여 고관절과 슬관절 굴곡을 적절히 유지하고 구름판에 진입하는 훈련이 비우수선수에게 필요하다고 볼 수 있다.

제1비약 구간에서는 우수선수가 비우수선수보다 짧은 소요 시간을 나타냈다. 이로 인해 낮은 수직위치와 짧은 수평이동거리를 나타냈으며, 도마 착지각을 낮게 하여 진입하게 되었다. 반면 비우수선수는 우수선수와 다르게 소요시간이 길고 무게중심 위치가 높고 도마 착지각이 높게 진입하였다(Figure 3). Lim (2004)은 제1비약에서 수평이동이 작게 나타난 선수일수록 도마에 빨리 진입하여 도마 반력을 충분히 활용할 수 있다고 보고하였고, Lee 등(2005)도 고득점 집단이 저득점 집단보다 약 10° 정도 낮은 착지각을 보여준다고 하였다. 이런 선행 연구들의 결과는 본 연구의 우수선수 결과를 뒷받침하였다.

도마 접촉 구간에서 우수선수가 비우수선수보다 짧은 도마 접촉 시간을 나타냈다. Lee 등(2005)은 Kasamatsu 동작 연구에서 우수한 집단일수록 도마 접촉 시간이 평균적으로 짧게 나타났다고 하였다. 짧은 도마 접촉 시간은 도마의 탄성을 얻어내는 주요인으로써 제2비약에 직접적인 영향을 미친다 하였다(Takei, 1988, 2000). 왜냐하면 도마접촉 시간이 짧으면 동일한 운동량 변화조건에서 매우 큰 충격력을 얻을 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 동일한 운동량 변화조건은 아니지만 비우수선수 중 B2선수(0.12초)와 B3선수(0.14초)의 도마접촉시간은 우수선수(0.12초) 결과와 같거나 근접했다. 따라서 도마에서 얻은 수직 평균 충격력도 B2선수(0.24 BW)와 B3선수(0.32 BW)는 우수선수(0.30 BW) 결과와 비슷하거나 더 컸다.

짧은 접촉시간을 만들어 내는 데는 도마 접촉 시 신체 자세가 매우 중요하다. 우수선수는 비우수선수보다 강한 발구름으로 고관절의 큰 신전과 동시에 양손 거리를 좁게 하여 도마에

접촉하였고, 주관절과 견관절을 편 상태로 지지하는 모습을 나타냈다. 반면 비우수선수는 고관절 신전도 작았을 뿐만 아니라 양손 간격을 우수선수보다 0.13 m 정도 더 넓게 하여 도마에 접촉하였다(Figure 3). 이는 좌측 주관절과 견관절, 우측 주관절에서 굴곡이 나오는 결과를 만들어 냈다. 도마에 접촉할 때 주관절과 견관절을 펴지 못하고 굴곡시키면 도마 접촉 시간이 늘어나고 동일한 운동량 변화일 때 충격력이 줄어들 수밖에 없다. 따라서 비우수선수와 같은 자세는 수직성분 속도를 만들기 내기보다 운동 진행방향으로 몸이 밀려나갈 수 있는 자세로 볼 수 있다. Kim (2005)은 도마 접촉 시 고득점 선수가 저득점 선수보다 약 21°정도 큰 견관절 신전을 나타내며 운동 진행방향으로 밀리지 않아서 0.19 m의 수직위치 차이를 나타냈다고 보고하여 도마 블로킹의 중요성을 강조하였다.

제2비약에서는 우수선수가 비우수선수보다 소요시간과 수평 변위가 길었다. Lee 등(2005, 2006) 연구에 의하면 제2비약 소요시간과 수평이동 거리를 길게 가져가야 고득점 기회가 높다고 주장하여 본 연구의 우수선수 결과를 뒷받침 해주고 있다. HTD에서 우수선수가 효과적인 블로킹을 좌측 팔(주관절과 견관절의 자세)로 할 수 있어서 HTO에서 비우수선수보다 우측 주관절을 펴면서 이륙할 수 있었다. 또한, 상지의 충격력을 적절히 전달하여 고관절 신체 차올림을 활용한 이륙 자세를 보여주었다. 반면 이륙 시 신체 차올림이 부족한 비우수선수는 PH에서도 몸이 편 자세(우수선수의 자세)를 이끌어내지 못하고 굴곡된 고관절 자세로 회전하였다(Figure 3). 특히 도마에서 우수선수와 비슷한 평균 수직 충격력을 보여준 B2선수와 B3선수도 제2비약 구간에서 고관절 굴곡자세를 보여 신체 차올림을 제대로 만들어 내지 못했음을 알 수 있었다. 따라서 수직 충격력은 좋았지만 PH에서 수직 높이는 좋지 못했다.

무게중심 속도를 비교해보면 우수선수가 비우수선수보다 구름판과 도마에 빠르게 진입하여 강한 발구름과 손 블로킹을 통해 수평속도를 수직속도로 변환시켰다. 비우수선수보다 구름판 접촉구간에서 수평속도 감소량이 컸고, 도마 접촉 구간에서도 우수선수가 비우수선수보다 큰 감속을 나타내어 높은 제2비약 수직 높이를 확보하려는 것으로 볼 수 있었다. Takei (1991b)는 우수한 선수일수록 빠른 수평속도로 구름판과 도마에 접촉하여 수직속도의 변화량을 크게 이끌어 내고 빠른 수평속도를 유지한 상태에서 이륙한다고 보고하였다. 우수선수는 비우수선수보다 감소량이 컸지만 PH에서 빠른 수평속도를 나타냄으로써 긴 체공시간을 가져가는 것으로 볼 수 있었다.

Dilman 등(1985)은 구형도마 스카하라 연구에서 도마 접촉 시간이 길고 하중이 한쪽 팔에만 집중되므로 도마 접촉에 의한 탄성이 떨어진다고 하였다. Park과 Song (2012), Lim (2004)도 도움단기를 빠르게 하는 것이 빠른 수직속도를 얻어내기 위한 방법이라고 하였고, 도마접촉 시 강한 블로킹이 수평속도를 수

직성분으로 변환하는 결정적 기술 요인이라 보고하였다(Yeo, 2003). 종합하면 도마 운동에서는 도움단기에 의한 빠른 수평속도도 중요하지만, 본 연구 결과를 살펴볼 때 어떤 자세로 도마에 진입해야하는가 더 중요한 관건이라고 볼 수 있었다. 따라서 한쪽 팔에 하중이 집중되지 않고 양팔을 사용한 블로킹이 되고 수직운동으로 속도를 상승시킬 수 있는 고관절 자세교정 과정이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 양팔의 블로킹을 효율적으로 가져가기 위해서는 양손 거리를 줄여 거의 동시에 도마 접촉이 이루어지도록 하는 것이 필요하고, 도마를 넘어갈 때 신체 차올림을 효과적으로 만드는 것이 중요하다.

또한 비우수선수 5명 개인별 데이터를 살펴보니 우수선수와 차이가 없는 일부 변인들도 있었다. 즉, 비우수그룹 내에서도 가변성(variability)이 존재한다고 볼 수 있었다. 따라서 향후 연구를 통해서 스카하라 도마 동작에 영향을 주는 자세 요인과 속도 요인들이 비우수그룹 내의 개인별 수준에 따라 어떤 관계로 엮여져 있는지 더 심도 있게 살펴 볼 가치가 있다. 또한, 본 연구에서는 비우수선수 5명의 자료만 근거로 하여 모집단을 대표하는데 연구의 한계점이 있다. 추후 실험에서는 표본 집단의 수를 늘이고 추론 통계를 실시하여 더욱 더 설명력을 키워나갈 필요성이 있다.

V. 결 론

본 도마 연구는 스카하라계열에서 가장 기본 동작으로 여겨지는 스카하라 몸 펴 뒤 공중돌기 동작에 대한 3차원 영상분석이다. 스카하라 동작을 처음 배우려는 어린 선수들과 일선지도자들에게 기술 습득에 도움이 되는 자료를 제공하는데 목적을 두었다. 우수선수와 비우수선수의 자세요인을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 구름판 접촉 구간에서 우수선수와 비우수선수의 소요 시간이 동일하였으나, 우수선수는 BC에서 고관절과 슬관절의 관절가동범위를 비우수선수보다 크게 하였다.

둘째, 제1비약에서 우수선수의 소요시간이 비우수선수보다 짧았다. 우수선수는 비우수선수보다 낮고 짧은 수평이동을 했으며, 낮은 도마 착지각을 보였다.

셋째, 도마 접촉 구간에서 우수선수의 소요시간이 비우수선수보다 짧았다. 우수선수는 HTD에서 비우수선수보다 고관절을 크게 하였고, 양손은 좁게 하면서 좌측 주관절과 견관절을 펴서 접촉하였다.

넷째, 제2비약에서는 우수선수의 소요시간이 비우수선수보다 길었으며, 긴 수평이동을 하였다. 우수선수는 HTO에서 PH로 갈 때 고관절 신전을 통해 신체 차올림을 보였고, 비우수선수는 고관절 굴곡을 하였다. 우수선수는 비우수선수보다 우측 주

관절과 수직상승 폭이 컸고, 이륙각이 작았다.

이상의 결과를 종합하면 스카하라계열 기본 동작의 완성도를 높이기 위해 빠른 속도 성분도 중요하지만, 도마에 진입하는 자세와 접촉 순간의 자세가 매우 중요함을 알 수 있었다. 따라서 비숙련자들에게 자세의 중요성을 강조하면서 올바른 자세를 숙달시키는 반복 훈련이 현장에서 필요하다.

참고문헌

- Back, J. H., Lee, S. H., Choi, K. J., Moon, Y. J., Kim, D. M., & Park, J. H. (2005). Kinematical Analysis of Ropez Motion in Horse Vault. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(2), 119-127.
- 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.
- FIG(2013). Federation of International Gymnastics. International Code of point-Man's Artistic Gymnastic.
- Hong, W. K., & Oh, J. S. (2015). A Study on Qualitative and Qualitative Analyses of Tsukahara Triple - Focusing on a Single Case -. *The Korea Journal of Sport Science*, 24(3), 1629-1638.
- 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.
- Lee, S. H., Song, J. H., & Park, J. C. (2012). Case study of Tsukahara Triple motion in gymnastic vault. *The Korea Journal of Sport Science*, 21(6), 1529-1539.
- Lim, K. C. (2004). Biomechanical analysis of Tsukahara vault with double salto backward piked. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(3), 135-147.
- Park, C. H., & Kim, Y. K. (2014). Kinematic Comparisons between Yang-1 and Yang-2 Vaults in Men's Artistic Gymnastics. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(4), 317-327.
- 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.
- 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. (1988). Techniques used in performing handspring and salto forward tucked in Gymnastic vaulting. *International Journal of sport Biomechanics*, 4, 260-281.
- Takei, Y. (1989). Techniques Used by Elite Male Gymnastic Performing a Handspring Vault at the 1987 Pan American Games. *International Journal of sport Biomechanics*, 5, 1-25.
- Takei, Y., Blucker, E. P., Hudert D. J., Myers, S. A., & Fortney, V. L. (1996). A Three-dimensional analysis of the men's compulsory vault performed at the 1992 Olympic Game. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 237-257.
- 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., 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. (2006). The Kinetic Analysis for Coaching Methods Through Yurchenko's 720 Degree Twist Technique with Stretched Body. *The Korean Journal of Physical Education*, 45(5), 495-505.