

도마 Shirai-Kim Hee Hoon 기술의 성공/실패 사례를 통한 융복합 완성도 평가

송주호*, 김동민**, 문제헌***
한국스포츠개발원*, 한국체육대학교**, 서울대학교***

Cases Analysis of Vault “Shirai-Kim Hee Hoon” Technique for Assessing Skill Completeness

Joo-Ho Song*, Dong-Min Kim**, Je-Heon Moon***

Dept. of Sports Science, Korea Institute of Sport Science*

Dept. of Community Sport, Korea National Sport University**

Dept. of Physical Education, Seoul National University***

요약 본 연구의 목적은 체조 도마 Shirai-Hee Hoon Kim 기술 수행 시 성공과 실패 동작을 융복합 비교분석 후 완성도를 평가하기 위하여 수행하였다. 실험에 참여한 연구대상자는 남자 기계체조 국가대표 K선수로 국제대회 및 연습상황의 기술 동작을 3차원 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다. 첫째, 성공 동작 시 BC를 제외한 PrF, HC, PoF 구간의 구간별 소요시간은 실패 시 보다 짧은 결과를 보였다. 둘째, 성공 동작은 이륙 시 수평 및 수직속도가 높게 나타나 수평 방향으로의 도약운동에 긍정적으로 작용하였다. 셋째, 성공 동작은 실패 동작에 비해 구름판을 이륙할 시 높은 동체 회전각을 유지하였고 도마에서는 대퇴의 각 변위를 크게 한 후방 회전을 수행한 것으로 나타났다. 따라서 안정적인 Shirai-Hee Hoon Kim 기술을 구사하기 위해서는 상체를 뒤로 과신전 시키면서 비틀기 동작을 수행하는 기술훈련과 이에 필요한 승모근, 삼각근, 복직근, 장요근, 대퇴사두근 강화를 위한 특이적 트레이닝을 제안한다.

주제어 : 체조, 도마, Shirai-Kim Hee Hoon, 운동학, 융복합

Abstract The purpose of the study was to perform a comparative analysis of the success and failure cases to increase the completeness of vault "Shirai-Kim Hee Hoon" technique. The subject of the study was "K" a male gymnast from Korean Artistic Gymnastic National team. The results obtained through the three-dimensional analysis during international as well as practice session are as follows: Firstly, excluding BC, the lead time in each PrF, HC and PoF phases were shorter during successful trials than in failure trials. Secondly, during successful trials, the horizontal and vertical velocity appeared to be higher during taking off, which contributed positively to the leaping motion in the horizontal direction. Thirdly, when compared with successful and failure trials, the body's angular rotation was highly maintained during the takeoff from the spring board followed by larger thigh angular displacement at the vault before actually attempting the backward rotation.

Key Words : Gymnastics, Vault, Shirai-Kim Hee Hoon, Kinematic, Convergence

Received 2 September 2015, Revised 13 October 2015
Accepted 20 November 2015
Corresponding Author: Je-Heon Moon
(Dept. of Physical Education, Seoul National University)
Email: moonjeheon@snu.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

기계체조 도마경기는 두 발 모아 발 구름(도움닫기)을 하여 양손을 도마에 짚고(도움짚기) 뛰어 넘으면서 공중 회전 및 비틀기를 한 후 착지에 이르는 동작을 평가하는 경기이다. 이 종목은 기계체조 경기 중에서 가장 빠른 시간에 연기가 수행되는 특성이 있기 때문에 기술에 대한 정확성과 빠른 판단력이 요구된다[1].

도마경기의 기술 유형은 손 짚고 앞돌기, 1/4 또는 1/2 턴이 있는 손 짚고 옆 돌기(tukahara or kasamatsu type vaults), 도움 짚기 하여 제 1비약에서 뒤돌아 손 짚고 뒤돌기(yurchenko), 도움 짚기 하여 제 1비약에서 1/2 턴하여 손 짚고 앞돌기, 도움 짚기 하여 제 1비약에서 1/1 턴하여 손 짚고 뒤돌기 등 5개의 그룹으로 나누어져 있다(FIG, 2013). 이 중 본 연구에서 분석하고자 하는 Shirai-Kim Hee Hoon(Yurchenko stretched with 3/1 tw) 기술은 2013년 세계선수권대회에서 처음 선보인 난도 6.0에 해당하는 III 그룹에 해당하는 기술이다.

도마 종목 기술 완성도를 위한 선행연구를 살펴보면, 이륙 시 수직속도가 성공적인 기술의 연기에 중요한 영향을 미친다고 하였으며 조주단계에서 높은 수평속도에 의한 기술 수행이 회전량을 증가시켜 착지 동작에 긍정적인 영향을 준다고 보고하였다[2, 3, 4, 5, 6, 7]. 또한 Kasamatsu 계통의 기술 분석에서 도마 접촉 시간을 짧게 하면 도마 이륙 시 수직속도를 상승시키고 제 2비약의 체공시간을 증가시키는 요인으로 볼 수 있다고 하였다[8].

도약 동작에 중점을 두고 분석한 연구에서는 도움닫기에 의해 발 구름이 이루어지기 때문에 Yurchenko 계통의 기술은 Tsukahara 계통의 도약과는 달리 발 구름 시 도약력이 현저히 떨어진다[9]. Yeo 기술을 분석한 연구에서도 도마에서 접촉하는 시간이 짧아야만 제2비약 구간에서의 최대 신체중심이 높이가 3 m에 도달하여 Yeo 기술을 수행할 수 있는 체공높이가 된다고 하였다[10].

Yurchenko 기술동작을 분석한 연구를 살펴보면, 도마 손기술 구간에서 숙련자 집단은 비숙련자 집단에 비하여 높은 수직속도를 보이고 있기 때문에 수평속도를 수직속도로 전환하는 기술의 중요성을 강조하였다[11]. 하지만 기술 훈련 시 수평속도를 수직속도로 빠르게 전환하는

것도 중요하지만, 도마 접촉 시 견관절과 주관절이 굴곡되는 것을 방지하여 운동진행 방향으로 밀리는 현상이 일어나지 않아야 한다고 주장하는 연구도 있다[12].

도마 접촉 시 신체중심 각도에 대한 연구도 진행되었는데 구름판 착지 시 높은 신체중심 각도는 Blocking 운동에 좋지 않은 영향을 미치고 이는 도마에서 이륙하는 순간 어깨 관절의 과신전으로 연결되어 회전력이 부족한 결과로 연결된다고 하였다[13, 14]. 지금까지 선행연구를 고찰해 본 결과, 도마 종목의 기술 완성도를 평가하기 위해서는 신체중심의 속도와 각도 등의 주요 운동학적 정보와 기술 수행 결과와의 관계를 고려할 필요가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 K선수가 국내 최초로 구사한 Shirai-Kim Hee Hoon 기술의 성공과 실패 동작을 비교 분석하여 완성도를 높이는데 기여하는 것이다. 하지만 본 연구의 한계점은 단 1명만이 Shirai-Kim Hee Hoon 기술을 구사할 수 있기 때문에 K선수의 성공과 실패 사례 분석만을 수행하였으므로 일반화할 수 없다.

2. 연구방법

2.1 연구대상자

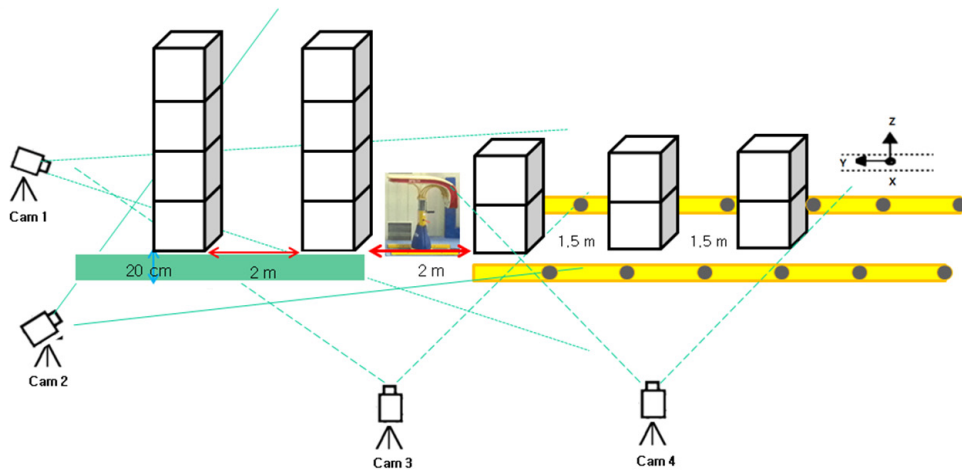
본 연구에 참여한 연구대상자는 2014년 인천아시아게임에 참가한 기계체조 남자 국가대표 K선수이다. K선수의 연령은 24 yrs, 신장 161 cm, 체중 54 kg, 선수경력 15 yrs로 본 연구의 분석에 사용한 자료는 <Table 1>에 제시하였다.

<Table 1> Competition contents for 3-dimensional analysis

Trial	Contents
Success T1	International competition(2014.4.19)
Success T2	Free exercise(2014.6.9)
Success T3	Elimination match(2014.9.21)
Fail T1	Elimination match(2014.6.20)
Fail T2	Free exercise(2014.9.4)
Fail T3	International competition(2014.9.25)

2.2 실험절차

본 실험에 앞서 공간좌표계 설정을 위한 통제점 틀(control objects)과 고속카메라(Sony NEX-FS700, JPN)를 설치하였다. 먼저 도마 정면을 기준으로 좌우측 15 m



[Fig. 1] High speed camera and reference frame position

떨어진 지점에 고속카메라를 설치한 후 1×2 m, 1×4 m의 통제점 틀 2개씩 설치하여 약 10초간 촬영하였다. 착지 동작까지 분석하기 위하여 도마 우측에 위치한 1×4 m 통제점 틀을 도마 좌측에 위치한 통제점 틀의 1.5 m 좌측으로 옮긴 후 10초 간 촬영한 후 제거하였다 [Fig. 1]. 카메라 설정은 촬영 속도는 120 Hz, 셔터 스피드는 $1/500$ sec로 하였다. 이후 K선수가 수행하는 Shirai-Kim Hee Hoon 기술 영상을 수집하였으며, 모든 대회와 연습별 실험절차는 동일하게 하였다.

2.3 이벤트와 분석구간

본 연구에서 기술 동작분석을 수행하기 위해 구분한 이벤트와 분석구간은 다음과 같다.

2.3.1 이벤트

- BTD(board touch-down) : 구름판에 발이 접촉하는 순간(E1)
- BTO(board take-off) : 구름판에서 이륙하는 순간(E2)
- HTD(horse touch-down) : 도마에 손이 접촉하는 순간(E3)
- HTO(horse take-off) : 도마에서 이륙하는 순간(E4)
- 최고점(peak) : 제 2비약의 공중동작 중 신체중심이 최고 높이가 되는 순간
- LD(landing) : 발이 매트에 접촉하는 착지 순간(E5)

2.3.2 국면

- BC(board contact) : 발이 구름판에 접촉하고 있는 발 구름 구간(P1)
- PrF(pre-flight) : 구름판 이륙 시부터 도마에 왼손이 접촉 순간까지의 제1비약 구간(P2)
- HC(horse contact) : 양손이 도마에 접촉하고 있는 도마 접촉구간(P3)
- PoF(post-flight) : 도마에서 오른손 이륙 시부터 발이 매트에 접촉하는 순간까지의 제2비약 구간(P4)

2.4 자료처리

공간좌표계 형성을 위한 캘리브레이션 작업은 4대의 고속카메라에서 촬영한 두 개의 통제점 틀 영상을 하나의 영상으로 합성한 DLT(direct linear transformation) 방식을 사용하였다[15]. 운동학적 분석을 위하여 Kwon 3D 3.1(Visol, Korea)을 활용하여 디지털화(digitizing) 후, 획득된 원자료는 2차 저역통과필터(Butterworth second order lowpass filter)를 사용하여 평활하였고(smoothing), 차단 주파수(cut-off frequency)는 10 Hz로 설정하여 위치좌표를 산출하였다[16]. 분석 변인은 구간 별 소요시간, 신체중심의 속도 변화, 신체중심과 주요 분절의 각도로 정하였다[5, 8, 17].

<Table 2> Phase time result at the each trials

(unit : sec)

Trial		BC	PrF	HC	PoF	Vaulting time
Success	T1	0.13	0.12	0.17	1.05	1.67
	T2	0.13	0.13	0.13	1.08	1.65
	T3	0.12	0.12	0.17	1.03	1.62
	M±SD	0.13±0.01	0.12±0.01	0.16±0.02	1.05±0.03	1.65±0.02
Fail	T1	0.12	0.15	0.17	1.07	1.74
	T2	0.12	0.12	0.15	1.08	1.67
	T3	0.12	0.12	0.15	1.10	1.69
	M±SD	0.12±0.00	0.13±0.02	0.16±0.01	1.08±0.02	1.70±0.04

3. 연구결과

시간 요인은 K선수가 Shirai-Kim Hee Hoon 기술을 수행하는 동안의 각 구간별 소요시간 결과를 성공과 실패 시기로 구분하여 제시하였다<Table 2>. 구름판지(BC) 시간은 성공 시 0.13 sec, 실패 시 0.12 sec로 성공 시 다소 짧은 시간을 보였다. 제1비약(PrF)의 체공시간은 성공 시 0.12 sec로 실패 시 0.13 sec 보다 다소 짧은 것으로 나타났다. 특히 성공 시에는 비교적 일관성 있는 제1비약(PrF)을 한 것으로 나타났다. 도마지(HC) 시간의 경우 성공과 실패 동작의 평균값은 모두 유사했으나 성공 T2의 경우 다른 성공 시기보다 0.04 sec로 짧은 결과를 보였다. 제2비약(PoF) 구간의 체공시간은 성공 동작이 평균 1.05 sec로 실패 동작의 평균 1.08 sec 보다 짧게 나타났다. 이와 같이 Shirai-Kim Hee Hoon 기술의 성공 동작 시 BC를 제외한 PrF, HC, PoF 구간의 구간별 소요

시간은 실패 시 보다 짧은 결과로 나타났다. 또한 가장 이상적인 성공 기술을 수행한 T2의 HC는 가장 짧은 소요시간을 보인 특징을 보였다.

K선수가 Shirai-Kim Hee Hoon 기술을 수행하는 동안의 주요 이벤트별 수평 속도와 수직 속도 결과는 <Table 3>에 제시하였다. BTD 시점에서 성공 동작의 수평 속도는 6.11 m/sec로 실패 동작의 6.09 m/sec와 유사하게 나타났으나, BTO 시점에서의 성공 동작은 5.75 m/sec로 실패 동작의 5.52 m/sec 보다 높은 속도로 도착한 결과로 나타났다. 따라서 BC 구간에서의 성공 동작은 실패 동작 보다 높은 속도를 보였다. 또한 HTD 시점에서 성공 동작은 4.70 m/sec로 실패 동작의 4.57 m/sec 보다 높은 수평 속도를 보인 반면, HTO 시점에서 성공 동작의 수평 속도는 2.12 m/sec로 실패 동작의 2.18 m/sec 보다 다소 낮은 결과로 나타났다. 따라서 HC 구간에서 성공 동작은 실패 동작보다 다소 감속한 특징을 보였다.

<Table 3> Result of horizontal and vertical velocity analysis

(unit : m/sec)

Trial		BC		HC		
		BTD	BTO	HTD	HTO	
Horizontal velocity	Success	T1	6.01	5.78	5.07	1.78
		T2	6.17	5.94	4.30	2.44
		T3	6.15	5.53	4.72	2.13
		M±SD	6.11±0.09	5.75±0.21	4.70±0.39	2.12±0.33
	Fail	T1	5.76	5.49	4.17	2.15
		T2	6.27	5.5	4.6	2.06
		T3	6.24	5.58	4.95	2.33
		M±SD	6.09±0.29	5.52±0.05	4.57±0.39	2.18±0.14
Vertical velocity	Success	T1	1.08	3.20	3.09	3.36
		T2	1.21	3.44	3.39	3.94
		T3	1.35	3.51	2.96	3.79
		M±SD	1.21±0.14	3.38±0.16	3.15±0.22	3.70±0.3
	Fail	T1	1.52	3.24	3.13	3.49
		T2	1.44	3.41	2.95	4.02
		T3	1.29	3.34	2.74	4.00
		M±SD	1.42±0.12	3.33±0.09	2.94±0.2	3.84±0.3

(Table 4) Result of COM support, thigh and trunk angle analysis

(unit : degree)

			BC		HC		LD
			BTD	BTO	HTD	HTO	
COM support angle	Success	T1	60	108	23	72	71
		T2	54	107	32	73	90
		T3	60	104	23	75	91
		M±SD	58±3	106±2	26±5	73±2	84±11
	Fail	T1	62	103	33	75	68
		T2	61	104	22	70	66
		T3	60	102	21	69	54
		M±SD	61±1	103±1	25±7	71±3	63±8
Thigh angle	Success	T1	77	105	159	260	817
		T2	67	108	172	252	820
		T3	73	105	156	264	813
		M±SD	72±5	106±2	162±9	259±6	817±4
	Fail	T1	69	96	164	265	807
		T2	79	106	152	247	829
		T3	76	104	151	244	831
		M±SD	75±5	102±5	156±7	252±11	822±13
Trunk angle	Success	T1	32	139	212	273	758
		T2	33	138	227	273	761
		T3	35	132	214	277	792
		M±SD	33±2	136±4	218±8	274±2	770±19
	Fail	T1	42	128	222	274	738
		T2	33	131	216	267	749
		T3	37	128	211	267	750
		M±SD	37±5	129±2	216±6	269±4	746±7

BTD 시점에서의 성공 동작 시 수직 속도는 1.21 m/sec로 실패 동작의 1.42 m/sec 보다 느리게 나타난 반면 BTO 시점에서는 성공 동작이 3.38 m/sec로 실패 동작의 3.33 m/sec 보다 다소 빠르게 나타났다. HTD 시점에서의 성공 동작 시 수직 속도는 3.15 m/sec로 실패 동작의 2.94 m/sec 보다 빠르게 나타났고 HTO 시점에서는 성공 동작 시 3.7 m/sec, 실패 동작 시 3.84 m/sec로 실패 동작이 다소 빠르게 나타났다.

각도 요인에서는 신체중심의 지지각, 대퇴회전각, 동체회전각을 산출하였으며 그 결과는 다음 <Table 4>에 제시하였다. 신체중심의 지지각의 성공 동작 시 BTD 58°, BTO 106°로 실패 동작의 BTD 61°, BTO 103°과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 성공 동작 시 HTD 26°, HTO 73°로 실패 동작의 HTD 25°, HTO 71°와 유사한 결과를 보였다. 하지만 착지 시점은 LD에서는 성공 동작 시 84°로 실패 동작의 63°보다는 매우 높게 나타났다. 특히, 실패 T3 동작의 경우 54°로 매우 낮은 각도를 보이고 있다.

대퇴회전각은 BTD 시점에서 성공 동작 시 106°로 실패 동작의 102°보다 다소 높은 결과를 보였다. HTD 시점

의 성공 동작은 162°로 실패 동작의 156° 보다 다소 높은 결과를 보였으며, HTO 시점에서도 성공 동작이 259°로 실패 동작의 252° 보다 높은 것으로 나타났다.

동체회전각의 경우 성공 동작 시 BTD 시점에서 33°로 실패 동작의 37° 보다 낮은 결과를 보였으나 BTO 시점에서는 성공 동작 시 136°로 실패 동작 129° 보다 높아지는 결과로 나타났다. 성공 동작 시 HTD 시점에서는 218°로 실패 동작의 216°와 유사한 결과를 보였으나 HTO 시점에서는 성공 동작 시 274°로 실패 동작의 269° 보다 높은 것으로 나타났다. 또한 LD 시점에서도 성공 동작 시 770°로 실패 동작의 746° 보다 높은 결과를 보였다.

4. 논의

K선수가 구사하고 있는 Shirai-Kim Hee Hoon 기술은 도움 짚기 후 발 구름 하여 뒤돌아 손 짚고 몸 퍼 뒤 공중 돌며 3회전 비틀기(Yurchenko stretched with 3/1 tw)를 하는 동작이다. Shirai-Kim Hee Hoon 기술과 같

이 도움 짚기 이후 발 구름 도약이 이루어지는 Yurchenko 계통의 기술들은 도움닫기의 스피드를 이용하여 직접 발 구름 하는 핸드스프링이나 Tsukahara 계통의 기술들에 비해 구름판 이륙과 도마 이륙 시 도약력이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 Shirai-Kim Hee Hoon 기술은 도움 짚기에서 특별한 감각에 의해 도마 손 짚기 타이밍을 맞추는 요령을 필요로 하며, 발 구름판에서 도움닫기 속도를 최대한 유지하면서 탄력을 얻어내는 동작 수행 여부가 성공의 관건이 된다.

K선수가 수행하는 Shirai-Kim Hee Hoon 동작에서 안정적인 점수를 부여받기 위한 1차적인 문제는 제2비약 시 몸 펴 뒤 공중 돌며 3회전 비틀기 동작이 완전하게 이루어졌느냐가 관건인데 실패 동작의 T1, T2, T3 모두 착지 시 신체의 회전관성이 부족하여 신체가 앞으로 쓰러지면서 손을 짚는 실수를 범하였다. 성공과 실패 동작 모두 기술의 성공여부를 평가할 제 2비약의 체공시간과 최대 높이는 1.05초, 3.04 m로 도움닫기 하여 직접 발 구름 하는 핸드스프링이나 Tsukahara 계통의 기술들과 차이를 보이지 않았으나[17, 18], Shirai-Kim Hee Hoon 기술에 비해 난도가 떨어지는 Yurchenko 계통의 기술보다는 매우 좋은 결과를 보여주고 있다[12].

성공적인 기술을 수행했을 경우의 운동학적 특징을 살펴보면, 구름판을 이륙하면서 높은 동체 회전각을 유지하여 발 구름 국면에서 높은 회전관성을 바탕으로 뒤 돌기 기술을 수행한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 구름판 이륙 시 수평과 수직속도의 손실을 최소화하여 도약운동에 보다 유리하게 작용한 것이다. 또한 제2비약 구간에서 신체의 회전운동이 원활하게 진행되기 위해서는 도마를 접촉 동안 대퇴와 같은 주요관절 급격하게 신전시키는 동작이 필요한데[13], 성공 동작의 경우 대퇴의 각 변위를 크게 하여 높은 동체의 회전을 유도하는 결과를 보였다. 반면 실패 동작의 경우 신체중심 수평속도가 성공 동작보다 느린 상태로 도마에 도달하여 도마에 접촉하는 동안 동체의 회전이 원활하게 이루어지지 않았기 때문에 신체가 수직에 이르기 전에 회전관성이 미리 발생하여 착지 시 앞으로 쓰러지는 결과로 나타났다. 따라서 Shirai-Kim Hee Hoon 기술을 안정적으로 수행하기 위해서는 발 구름 시 도움닫기의 스피드가 그대로 이어질 수 있도록 도움 짚기 동작에서 팔을 빨리 밀어주면서 다리를 빠르게 끌어당기고 동체의 빠르게 짓혀주는 연습

이 필요하다. 또한 도마에서 원활한 푸쉬-업과 다리당기는 동작을 위해서는 승모근, 삼각근, 복직근, 장요근, 대퇴사두근 등의 강화를 위한 특이적 트레이닝이 필요할 것으로 판단된다[19, 20]. 마지막으로 미니트램폴린 기구에서 상체를 뒤로 과신전 시키면서 비틀기 동작을 연습하여 착지감각을 증대시키고, 수평중심의 비행을 통한 착지 동작에서 나타날 수 있는 발목관절의 충격을 완화시키기 위해 발목 강화를 위한 트레이닝을 제안한다.

5. 결론

본 연구는 K선수의 Shirai-Kim Hee Hoon 기술을 구사 시 성공과 실패 동작을 비교분석하여 기술의 완성도를 높이는 데 기여하고자 국제대회 시합과 훈련 상황에서의 3차원 동작분석을 수행하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 성공 동작 시 BC를 제외한 PrF, HC, PoF 구간의 구간별 소요시간은 실패 시 보다 짧은 결과를 보여 도마에서 이륙 시 수직 속도와 제2비약의 체공시간을 증가시키기 위해서는 구름판과 도마의 탄성을 이용하는 기술 훈련이 필요하다.

둘째, 성공 동작은 이륙 시 수평 및 수직속도가 높게 나타나 수평 방향으로의 도약운동에 긍정적으로 작용하였다. 반면에 실패 동작은 신체중심의 수평 속도가 성공 동작 보다 느린 속도로 도마에 접근하여 도마를 접촉 동안 동체의 회전이 원활하게 이루어지지 않은 것으로 나타났다.

셋째, 성공 동작은 실패 동작에 비해 구름판을 이륙할 시 높은 동체 회전각을 유지하였고 도마에서는 대퇴의 각 변위를 크게 한 후방 회전을 수행한 것으로 나타났다. 이러한 회전관성의 발생은 착지 시 안정성을 확보하였다. 따라서 안정적인 Shirai-Kim Hee Hoon 기술을 구사하기 위해서는 상체를 뒤로 과신전 시키면서 비틀기 동작을 수행하는 기술훈련과 이에 필요한 승모근, 삼각근, 복직근, 장요근, 대퇴사두근 등의 근력 강화 트레이닝 및 구름판과 착지 동작에서 나타날 수 있는 발목관절의 충격을 완화시키기 위한 발목 강화를 위한 트레이닝을 제안한다.

REFERENCES

- [1] J. H. Song, A new vault technique with higher difficulty rating (1080 degree vault technique-tukahara stretched with front somersault) technical analysis for improving the completeness. Seoul: Korea institute of sport science, 2011.
- [2] Y. Takei, Techniques used in performing handspring and salto forward tucked in gymnastic vaulting. *International journal of sport biomechanics*, Vol. 4, pp. 260-281, 1988.
- [3] Y. Takei, Techniques used by elite male gymnastic performing a handspring vault at the 1987 pan american games. *International Journal of sport biomechanics*, Vol. 5, pp. 1-25, 1989.
- [4] Y. Takei, A comparison of techniques used in performing the men's compulsory gymnastic vault at the olympics. *International Journal of sport Biomechanics*, Vol. 7, pp. 54-75, 1991.
- [5] Y. Takei, E. P. Blucker, J. H. Dunn, S. A. Myers, V. L. Scott, A three-dimensional analysis of the men's compulsory vault performed at the 1992 olympic games. *Journal of applied biomechanics*, Vol. 12, pp. 237-257, 1996.
- [6] Y. Takei, Three-dimensional analysis of handspring with full turn vault: Deterministic model, coaches' beliefs, and judges' scores. *Journal of applied biomechanics*, Vol. 14, pp. 190-210, 1998.
- [7] Y. Takei, The roche vault performed by elite gymnasts: Somersaulting technique, deterministic model and judges' scores. *Journal of applied biomechanics*, Vol. 23, pp. 1-11, 2007.
- [8] S. H. Lee, J. H. Park, J. H. Lee, Kinematic analysis of acopian vault. *Korean journal of sports biomechanics*, Vol. 16, No. 1, pp. 89-99, 2006.
- [9] C. S. Yoon, Kinesiological analysis of long horse gymnastics yurchenko body stretch 720 degree twisting motion. *Korea sport research*, Vol. 14, No. 6, pp. 1449-1462, 2003.
- [10] H. C. Yeo. The mechanical analysis of the hand spring forward and salto forward straight with 3/2 turn on the vault. Ph.D. dissertation seoul national sport university, 2004.
- [11] C. S. Yoon, T. S. Kim, The kinematic difference to the skill level in the yurchenko stretch skill of horse vaulting. *Korean journal of sports biomechanics*, Vol. 16, No. 2, pp. 135-144, 2006.
- [12] H. C. Yeo, The analysis of yurchenko's 900 degree twist technique with stretched body. *Korean journal of sports biomechanics*, Vol. 16, No. 4, pp. 165-173, 2006.
- [13] M. Koh, L. Jennings. Strategies in preflight for an optimal Yurchenko layout vault. *Journal of biomechanics*, Vol. 40, No. 1, pp. 1256-1261, 2007.
- [14] C. S. Yoon, A. Y. Min, The kinematical analysis of yurchenko stretched at horse vaulting. *The korea journal of sports science*, Vol. 20, No. 1, pp. 1123-1134, 2011
- [15] Y. I. Abdel-Aziz, H. M. Karara, Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In *proceedings of the symposium on close-range photogrammetry*. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, pp. 1-18, 1971.
- [16] M. Koh, L. Jennings, B. Elliott, D. Lloyd, A predicted optimal performance of the Yurchenko layout vault in women's artistic gymnastics. *Journal of applied biomechanics*, Vol. 19, No. 3, pp. 187-204, 2003
- [17] J. H. Song, A new technique in vault (tsukahara 1260 degree vault technique-handspring with sideways twist and back somersault) analysis on the basis of landing characteristics. Seoul: Korea institute of sport science, 2013.
- [18] J. H. Park, J. H. Song, The kinematic analysis of YANG Hak Seon vault. *Korean journal of sport science*, Vol. 23, No. 3, pp. 702-717, 2012.
- [19] C. J. Durall, B. E. Udermann, D. R. Johansen, B. Gibson, D. M. Reineke, P. Reuteman, P. The effects of preseason trunk muscle training on low-back pain occurrence in women collegiate gymnasts. The

journal of strength and conditioning research, Vol. 23, No. 1, pp. 86-92, 2009.

- [20] S. F, Nadler, G. A, Malanga, L. A. Bartoli, J. H. Feinberg, M. Prybicien, M. DePrince, Hip muscle imbalance and low back pain in athletes: influence of core strengthening. Medicine and science in sports and exercise, Vol. 34, No. 1, pp. 9-16, 2002.

송 주 호(Song, Joo Ho)



- 2002년 2월 : 국민대학교 체육학과 (이학박사)
- 2005년 7월 ~ 현재 : 한국스포츠개발원 스포츠과학실 책임연구원
- 관심분야 : 운동기술 및 경기 분석
- E-Mail : jhsong707@sports.re.kr

김 동 민(Kim, Dong Min)



- 1997년 2월 : 단국대학교 체육학과 (이학박사)
- 1983년 3월 ~ 현재 : 한국체육대학교 사회체육학과 교수
- 관심분야 : 체조
- E-Mail : dongmin@knsu.ac.kr

문 제 현(Moon, Je Heon)



- 2012년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 체육교육과 박사수료
- 2013년 4월 ~ 현재 : 한국스포츠개발원 스포츠과학실
- 관심분야 : 운동역학, 근신경역학
- E-Mail : moonjeheon@snu.ac.kr