[Title page]

여자 도마 유리첸코 몸펴 360° 비틀기 3차원 운동학 분석: 결정 모델과 심판 점수

Three-dimensional analysis of Yurchenko layout with 360° twist in female vaults: Deterministic model and judges' scores

Cheol-Hee Park, Young-Kwan Kim

Department of Physical Education, Chonnam National University, Gwangju, South Korea

Corresponding author
Young-Kwan Kim, Ph.D.
Associate Professor
Department of Physical Education
Chonnam National University
77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, South Korea
Phone: 062.530.2553, Fax: 062.530.2569, Email: ykim_01@naver.com

Three-dimensional analysis of Yurchenko layout with 360° twist in female vaults: Modified deterministic model and judges' scores

Abstract

Objective: The purposes of this study were to identify kinematic variables that govern successful performance and judges' scores and to establish correlative relationships among those of Yurchenko layout with a full twist in female vaults.
Method: Four video cameras with sampling rate of 60Hz collected 32 motion data of Yurchenko vaults from twenty-two subjects (age: 18.6±3.6 years, height: 153.0±6.5 cm, mass: 44.7±7.3 kg) during national competition. Posting processing and calculations of kinematic variables were performed in Kwon 3D XP and Matlab® programs. Correlation analysis and regression analysis were applied to find the relationships between the obtained scores and kinematic variables. Deterministic model (Hay & Reid, 1988) were used to investigate the strength of correlative relationships among kinematic variables.
Results: The obtained scores from judges' decisions were mainly affected by post-flight peak height, horse contact time, knee angle at landing, and horse takeoff angle. Strong blocking during horse contact was required to get successful performance and high obtained scores. Modified deterministic model showed that round-off entrance and takeoff angles and resultant velocity of the CM during the round-off phase were the starting variables affecting performance in following kinematics. Knee angle at landing, a highly influential variable on the obtained point, was only determined by judges' decision without significant correlative relationship with previous kinematic variables.
Conclusion: The obtained points highly depended on kinematic variables of post-flight and horse contact phases that were affected by those from the previous phases including round-off postures and resultant velocity of the body center of mass.

Keywords: Kinematics, Yurchenko, Obtained point, Deterministic model

Introduction

유리첸코 기술은 1982 년 기계체조 월드컵대회에서 구소련 여자 체조 선수인 나탈리아 유리첸코가 처음 선보인 동작이다(Carlton, 1988; Langsley, 1983). 이것은 측전(roundoff)으로 도움짚기를 하고 난 후 구름판에 들어가고 제 1 비약에서 뒤 공중돌기를 선보이며 뒤로 도마를 짚고 제 2 비약을 하는 기술이다(Yoon, 2003). 이후 많은 여자 선수들이 시도를 하여 1988 년 서울올림픽에서는 149 회의 도마 동작 중 89 회가 유리첸코 기술일 정도였다(Kwon, Fortney, & Shin, 1990). 그러나, 당시에 일부 선수들이 기피하기도 했다. 당시는 구형 도마를 가로로 위치시켜서 손을 짚는 공간이 매우 부족하였고, 뒤로 회전하여 도마에 들어가기 때문에 접지부가 시야에 들어오지 않아 실수할 때 큰 부상의 위험성이 높았다. 신형도마로 바뀌면서 도마 접촉 면적이 넓어져 유리첸코 기술은 대중화는 더 가속되었다. 현재 국제 대회에서 구사된 여자 선수 기술 중 70% 이상을 차지하고 있으며 국내 대회에서도 여자선수들이 구사하는 필수 기술이 되었다(Kim & Kim, 2011; Yeo, Kim, & Kim, 2011). 이는 다른 기술에 비해 시상면의 각운동량을 쉽게 만들 수 있어서 블로킹 능력이 부족한 여자 선수들이 선호하게 된 것으로 해석되었다(Park & Kim, 2016).
초기에는 단순한 유리첸코 몸펴돌기 동작이 대부분이었지만, 비틀기 동작이 추가된 유리첸코 기술로 점차 발전되었다. 몸펴 360° 비틀기에서부터 720° 이상의 비틀기가 가능한 동작이 선보였으며, 2016 년 리우

올림픽에서는 미국의 시몬 바일스 선수가 유리첸코 몸펴 900° 비틀기로 금메달을 획득하였다(Park & Kim, 2016 ; Seo, 2016; Yeo, 2006). 그러나 국내 여자 선수들의 기술 수준은 아직까지 FIG(국제체조연맹) 코드 점수 기준 5.0 점에 해당하는 몸펴 360° 비틀기 구사가 대부분이어서 세계 기술 수준과 격차가 더욱 벌어지고 있는 실정이다(FIG, 2013). 특히, 박지숙(1990 년 베이징 아시안게임 동메달) 이후에 국제대회 메달 획득에 실패하면서 대한민국 여자 도마는 침체기에 있다고 볼 수 있다. 따라서, 국내 여자 선수들의 유리첸코 기술향상을 위한 역학적 연구가 필요하였다.

유리첸코 기술의 해외 연구를 살펴보면 동작분석 연구와 컴퓨터 시뮬레이션 연구가 주를 이루었다(Koh & Jennings, 2003, 2007; Koh, Jennings, & Elliott, 2003; Kwon et al., 1990; Seeley & Bressel, 2005). Kwon 등(1990)은 유리첸코 몸펴 공중돌기와 유리첸코 몸펴 360° 비틀기 동작을 비교 분석하여 비틀기가 있을 때 더 짧은 구름판 접촉시간과 도마 접촉시간이 나타나고 긴 제 2 비약을 얻는다고 하였다. 또한 성공적인 동작 수행을 위해서는 도마 이륙 시 수직이륙속도 손실을 최소화하는 것이 중요하다고 하였다. Koh 와 Jennings(2003)는 동적 시뮬레이션 해석 결과 도마 수직 이륙 속도, 도마 지지각, 제 1 비약의 각운동량 증가가 몸펴 공중돌기 성공을 위해서 필요하다고 하였다. 그런데 이후 연구(Koh & Jennings, 2007)는 제 1 비약의 각운동량 증가가 비현실적이어서 도마 지지각을 크게하는 것이 더 현실적이라고 주장하였다.

국내의 유리첸코 기술 연구는 남녀 선수를 대상으로 다양한 동작분석 연구가 이루어져 왔다(Park & Kim, 2016; Song, Kim, & Moon, 2015; Yeo, 2006a, 2006b; Yeo et al., 2011; Yoon, 2003; Yoon & Kim, 2006a, 2006b; Yoon & Min, 2011; Yoon, Min, Hah, Park, & Lee, 2008). Yeo(2006a, 2006b)는 720°와 900° 비틀기가 들어간 남자의 유리첸코 동작을 분석하여 고득점자가 저득점자에 비해 도마 접촉시간이 짧고 도마 수직 이륙 속도가 크다는 것을 보였다. 이런 결과를 얻기 위해서 블로킹 능력의 필요성을 강조하였으나 여자 선수들을 대상으로 한 연구는 아니었다. 여자 선수들을 대상으로 한 연구는 Park 과 Kim(2016), Yoon 과 Min (2011), Yoon 등(2008)이 수행하였으나 우수그룹과 비우수그룹, 고득점자와 저득점자의 단순한 운동학적 변인 비교에 그치고 있었다. 이런 연구 결과들은 현장 지도자들에게 직접적으로 도움 주는데 한계점이 있고, 연속적으로 변화하는 도마 연결 동작을 종합적으로 평가하는데 부족한 점들이 있었다.

현장 적용 측면에서 정성적으로 운동역학 지식을 체계화하고 현장 지도자들에게 도움이 될 수 있는 결정 모델(deterministic model) 이론이 개발되고 다양한 스포츠 동작에서 적용되어 왔다(Hay & Reid, 1988). 결정 모델은 최종 목표(경기 기록 또는 획득 점수)에 영향을 주는 선운동 및 각운동 변인들을 하위에 열거해 놓고 각각 최종 목표에 얼마가 기여하고 각 변인들 사이에는 어떤 관계가 있는지를 파악함으로써 경기력에 영향을 미치는 변인들을 전체적으로 파악하고자 하였다. 체조에서는 Takei(1989, 1991, 1998, 2007)와 그의 동료들(Takei, Blucker, Nohara, & Yamashita, 2000; Takei, Dunn, & Blucker, 2007)이 결정 모델로 핸드스프링(handspring) 기술, 로체(Roche) 기술, 헤치(Hetch) 기술 등을 분석하여 획득점수에 영향을 주는 운동학 및 운동역학적 변인을 찾아내었고 하위 변인들 간의 관계를 규명하였다. 연구 결과 공통적으로 제 2 비약의 동작 수행력이 획득점수에 많이 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 아직까지 여자 선수를 대상으로 유리첸코 기술에 결정 모델을 적용한 연구가 없었다. 매우 짧은 시간(2 초 이내)에 발생하는 도마 동작의 연속적인 특성상 도마 동작 중간에 선수가 피드백을 적용하여 운동학적 변인들의 수정할 수 있는 여력이 거의 없다고 볼 수 있기 때문에 앞선 구간에서 발생한 동작이 이후 구간에 어떤 영향을 주는지 아는 것이 매우 중요하다. 도마의 착지 동작은 제 2 비약의 동작으로부터 영향을 받고, 제 2 비약은 도마 접촉 동작, 도마 접촉은 제 1 비약의 동작으로부터 영향을 받게 된다. 이렇듯 경기력에 영향을 주는 선행 구간의 변인을 찾다 보면 처음 질주부터 영향을 주는 운동학적 변인을 찾게 된다.

본 연구의 목적은 현장 지도자들에게 도움을 주고자 전국대회 시합 중에 실행된 여자도마 유리첸코 몸펴 360° 비틀기 동작 영상을 획득한 후 심판 점수와 운동학 변인들의 사이의 관계를 분석하고, 결정 모델 이론 적용을 통해 앞선 구간의 운동학 변인들과의 관계를 파악하는데 있다. 모델을 통해 찾아진 변수들은 심판 점수와 매우 높은 상관관계를 보일 것이라고 가설을 설정하였다.

Method

1. Participants

본 연구의 대상자는 2015 년 G 광역시에서 열린 전국종별수권대회에 참가한 중학교 이상의 여자선수들(22 명, 나이: 18.64±3.62 세, 신장: 153.00±6.45cm, 체중: 44.73 ±7.31kg) 이었다. 이들은 모두 유리첸코 몸펴 360° 비틀기 기술을 할 수 있었다. 경기력에 영향을 미칠 수 있기 때문에 경기 전 지도자들에게만 동의를 구하고 경기가 끝난 후 각 선수들에게서 실험 동의서와 함께 신체적 특성 값을 받았다.

2. Measurements

비디오 카메라 4 대(EX-F1, Casio, Japan)를 시합 전 관중석에 미리 설치하였으며, 카메라의 촬영 속도는 초당 60 장, 셔터 스피드는 1/500 초로 설정하였다. <Figure 1>과 같이 시합 전에 통제점 틀을 도움짚기 구간 매트 지점부터 2m 간격으로 이동시키며 도마 동작이 펼쳐지는 모든 공간을 캘리브레이션 하였다. 3 차원 위치 좌표 값을 산출하기 위해 운동진행방향을 전역좌표계의 +Y 축, 진행방향의 우측을 +X 축, 수직 윗방향을 +Z 축으로 정의되었다. 시합 상황에서 동조용 LED(light emitting diode)를 사용할 수 없었기 때문에 영상을 보면서 도움짚기 구간에서 손이 매트에 처음 접촉하는 순간을 카메라 동조 기준시간으로 하였고, Abdel-Aziz 와 Karara (1971)의 DLT(direct linear transformation)방법에 따라 3 차원 공간좌표를 구하였다. 또한 반사마커를 붙일 수 없는 상황이라 촬영된 영상을 가지고 Kwon3D XP(비솔, 한국) 프로그램상에서 15 개 주요점(머리, 좌·우 어깨, 좌·우 팔꿈치, 좌·우 손목, 좌·우 골반, 좌·우 무릎, 좌·우 발목, 좌·우 발끝)을 디지타이징(digitizing)하였다(Park & Kim, 2016). 인체분절지수자료는 Plagenhoef, Evans, and Abdelnour(1983)의 정의에 따랐으며 디지타이징한 자료의 잡음(noise)은 4 차원 Butterworth 저역 통과 필터(차단주파수 8 Hz)로 제거되었다. 22 명의 선수 중 예선과 결선을 모두 뛴 선수들도 있어서 32 개의 시합영상이 후처리 작업과 통계 작업에 이용되었다. 선수들의 최종 획득점수는 심판 6 명의 감점점수 중 최고점과 최저점을 제외한 4 명의 평균점수로 시합 시 전광판에 나타난 점수를 기록하였고, 시합 후 체조협회 홈페이지에 게시된 공고 내용과 일치하는지 확인하였다.

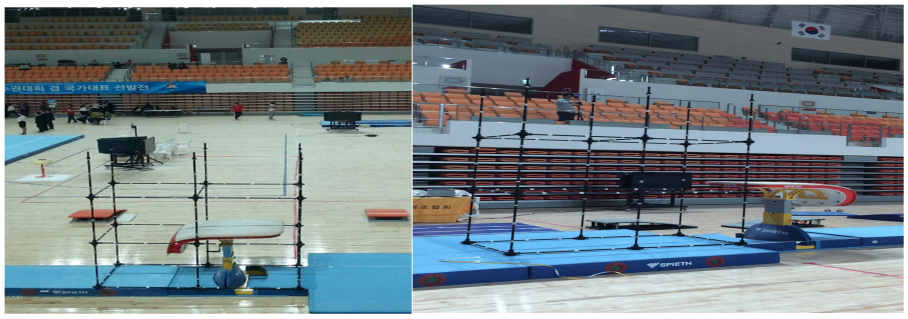

Figure 1. Overview of calibration frame set-up and calibration process before competitions (Park & Kim, 2016)

3. Data processing

<Figure 2>에 제시된 것과 같이 분석 구간을 도움짚기, 발구름, 제 1 비약, 도마 접촉, 제 2 비약으로 구분하였다. 각각의 시점들은 측전으로 진입하여 지면에 손이 접촉하는 순간(floor touch down, E1), 지면에서 손이 떨어지는 순간(floor take off, E2), 구름판에 발이 접촉하는 순간(board touch down, E3), 구름판에 발이 떨어지는 순간(board take off, E4), 도마에 손이 접촉하는 순간(horse touch down, E5), 도마에 손이 떨어지는

순간(horse take off, E6), 제 2 비약 시 신체중심의 최고 높이 순간(peak height, E7), 발이 매트에 접촉하는 착지 순간(landing, E8)으로 정의하였다.

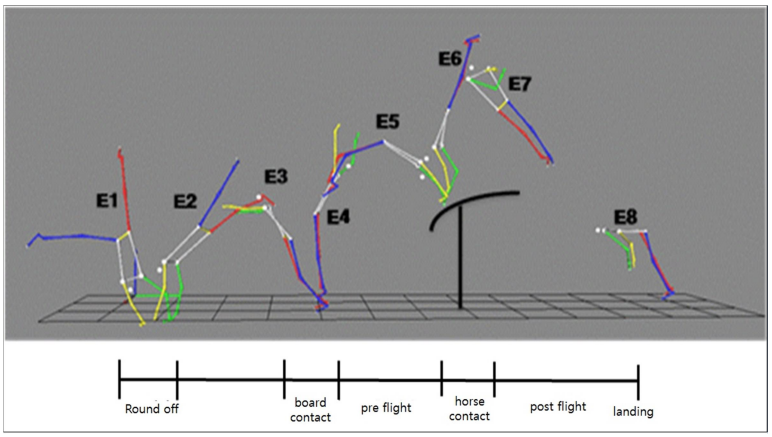

Figure 2. Definition of major events and phases during Yurchenko layout with 360° twist (Park & Kim, 2016)

<Figure 3>는 각운동학 변인 정의를 나타낸다. 도움짚기와 도마짚기 구간의 지지각(θ_1, θ_5)과 이륙각(θ_2, θ_6)은 양손 분절 중심과 신체중심을 연결하는 벡터와 음(-)의 Y 축이 이루는 절대 각도로 정의되었고, 발구름 구간의 지지각(θ_3)과 이륙각(θ_4)은 양발 분절 중심과 신체중심을 연결하는 벡터와 음(-)의 Y 축이 만들어내는 절대 각도로 정의되었다. 상·하지 관절각은 근위분절과 원위분절 사이의 벡터각으로 정의되었다.

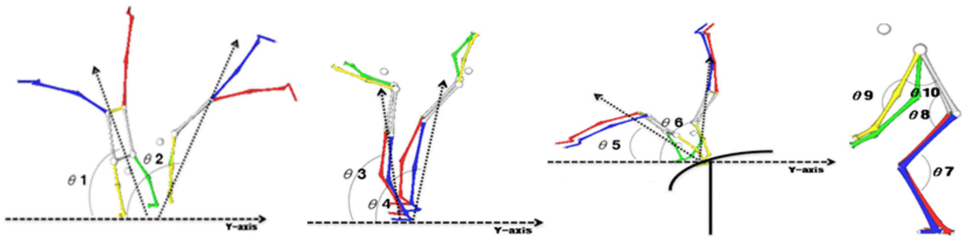

Figure 3. Definition of entrance angles, departure angles of round-off, board contact, and horse contact and joint angles of the upper and lower limbs (Park & Kim, 2016)

4. Development of modified deterministic model

Hay 와 Reid (1988)의 결정 모델(deterministic model)은 목표(경기기록이나 획득점수)를 가장 위에 놓고 목표에 영향을 주는 선운동과 각운동 변인들을 하위에 위치시키면서 목표와 변인들 사이의 인과 관계를 알아보았다. 본 연구는 Hay 와 Reid (1988)의 결정 모델을 일부 수정하였다. Hay 와 Reid 는 서로 다른 구간의 변인들도 원인과 결과의 관점에서 같은 수준에 위치시킬 때가 있는 데 본 연구 모델은 시간 흐름 순으로 변인들을 배치하였다. 즉, 획득점수를 목표로 놓고 도마의 마지막 구간인 제 2 비약 변인들을 바로 아래 층에 놓았다. 그 아래 층들에는 차례로 도마 접촉 변인들, 제 1 비약 변인들, 구름판 접촉 변인들, 도움짚기 변인들 순으로 위계적 관계를 형성시켰다. 그 다음 앞선 구간의 운동학 변인들과 현 구간 변인들 사이에 상관관계를 분석하여 현 구간의 동작에 앞선 구간 변인들이 주는 영향들을 파악하였다(Figure 4).

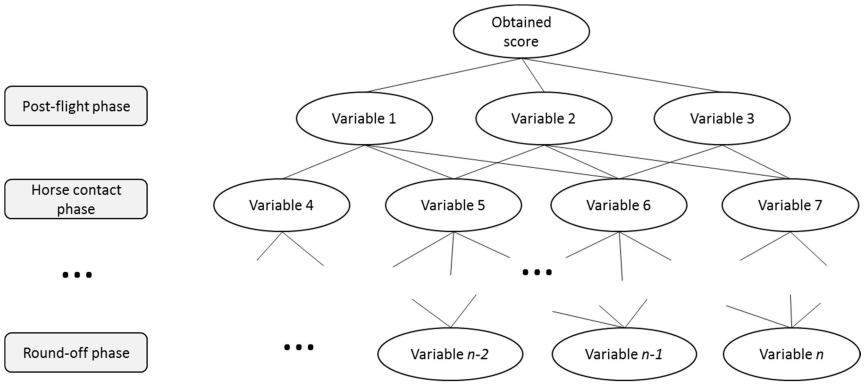

Figure 4. Modified deterministic model showing kinematic variables affecting the obtained point and correlative relationships between proceeded variables and current phase variables

5. Statistical analysis

모든 분석은 SPSS® 20.0 (IBM, Chicago, IL, USA)에서 유의수준 .05 로 통계적 유의성을 살펴보았다. 획득점수와 구간별 운동학적 변인과의 관계는 피어슨 적률상관분석으로 살펴보았고, 변인들이 획득점수의 변화를 설명하는 능력을 파악하기 위해 위계적 회귀분석도 같이 실시하였다. 위계적 회귀분석에서는 각 구간에서 획득점수와 유의한 관계를 보인 변인들만 뽑아 순차적으로 회귀식에 삽입하여 변인들이 회귀식에 들어왔을 때 나타나는 전반적인 특성을 살펴 보았다. 또한 앞선 구간과 현 구간의 동작 관련성을 파악하기 위해 앞선 구간과 현 구간 변수들 사이의 상관관계도 살펴보았다.

Results

1. Effects of mechanical variables of each phase on the obtained points

<Table 1>은 획득점수와 구간별 운동학 변인과의 상관관계를 보여 주고, <Table 2>는 유의한 변인만 선택하여 획득점수와 단순회귀분석을 실시한 결과를 보여준다. 도움짚기 구간(r=-.352, p<.05)과 발구름 구간(r=-.393, p<.05)의 구간 시간들만 획득점수에 유의한 부(-)적 관계를 보여 높은 점수의 동작들이 짧은 구간 시간을 나타냈다. 나머지 변인들은 획득점수와 관련이 없었다. 단순회귀분석 결과 도움짚기 동작 시간과 발구름 동작 시간은 각각 획득점수 변화의 14.2%와 15.4%를 설명하였다. 제1비약 운동학적 변인들은 획득점수와 유의한 상관관계가 없었다. 도마짚기 구간에서는 구간 시간(r=-.565, p<.01), 신체중심 수평변위(r=-.486, p<.01), 도마 이륙각(r=-.496, p<.01), 도마 비틀기 각속도(r=-.443, p<.05)들이 획득점수와 유의한 부(-)적 관계를 형성하여 높은 득점 동작일수록 짧은 구간 시간과 수평 변위, 작은 도마 이륙각과 비틀기 각속도를 보였다. 단순회귀분석 결과 구간 시간은 획득점수 변화의 32.0%, 신체중심 수평변위는 23.7%, 도마 이륙각은 24.6%, 도마 비틀기 각속도는 19.6%를 각각 설명하였다. 제 2비약 구간에서는 최대수직높이(r=.587, p<.01), 신체중심 합성속도(r=.460, p<.01), 착지 무릎각(r=.516, p<.01)들이 획득점수와 정(+)적 관계를 보여 높은 득점 동작일수록 높은 최대수직높이, 빠른 합성속도, 큰 착지 무릎각을 나타냈다. 단순회귀분석에서는 최대수직높이, 신체중심 합성속도, 착지 무릎각들이 획득점수 변화의 34.4%, 21.1%, 26.6%을 설명하였다.

Table 1. Descriptive statistics and Pearson correlations with judges' scores for kinematic variables of each phase

Variables	Mean±*SD*	Min	Max	*r*
Round-off phase				
Phase time (sec)	0.30±0.03	.23	.40	-.352*
Horizontal displacement of body CM (m)	1.61±0.19	1.22	2.05	-.199
Vertical displacement of body CM (height %)	11±3	4	19	-.325

Resultant linear velocity of body CM (m/s)	-1.22±0.43	-2.48	-.40	.074
Round-off entrance angle (°)	69.74±4.98	59.54	79.30	.215
Round-off takeoff angle (°)	108.58±5.85	97.44	119.13	-.082
Board contact phase				
Phase time (sec)	0.13±0.02	.10	.17	-.393*
Horizontal displacement of body CM (m)	0.57±0.08	.41	.73	-.262
Vertical displacement of body CM (height %)	36±5	28	47	-.225
Resultant linear velocity of body CM (m/s)	0.76±0.40	-.62	2.01	.205
Hip angle (°)	-13.46±10.37	-49.25	-.95	-.040
Knee angle (°)	17.91±7.93	1.25	35.23	.174
Board entrance angle (°)	55.55±6.27	39.32	67.88	.049
Board takeoff angle (°)	98.63±4.22	91.40	105.82	-.148
Angular velocity of CM during board contact (°/s)	473.12±92.44	319.12	755.90	-.007
Pre-flight phase				
Phase time (sec)	.12±.02	.10	.17	.081
Horizontal displacement of body CM (m)	.51±.08	.38	.68	.132
Vertical displacement of body CM (height %)	41±6	28	56	.301
Resultant linear velocity of body CM (m/s)	-.79±.56	-.157	1.54	-.181
Horse contact phase				
Phase time (sec)	0.22±0.02	.20	.27	-.565**
Horizontal displacement of body CM (m)	0.66±0.07	.50	.82	-.486**
Vertical displacement of body CM (height %)	52±5	40	67	.-.010
Resultant linear velocity of body CM (m/s)	-1.23±0.38	-2.17	-.54	.334
Horse entrance angle (°)	24.84±7.89	11.75	41.22	.068
Horse takeoff angle (°)	89.05±5.25	79.69	98.75	-.496**
Twist angular velocity (°/s)	72.82±31.13	1.55	121.85	-.442*
Change of elbow flexion angle (°)	21.38±14.28	.98	64.97	.005
Post-flight phase & landing				
Phase time (sec)	0.86±0.05	.77	.97	.105
Horizontal displacement of body CM (m)	2.06±0.22	1.68	2.45	.341
Resultant linear velocity of body CM (m/s)	3.33±0.35	2.56	4.13	.460**
Vertical peak height (height %)	139±5	131	151	.587**
Hip angle at landing (°)	108.32±17.28	72.84	145.51	.169
Knee angle at landing (°)	106.13±29.53	65.18	166.16	.516**

*p<.05, **p<.01

Table 2. Simple linear regression analysis of kinematic variables on the obtained point

Independent variables	R^2	B	SE	β	*t*	*p*
Round-off phase						
Phase time	.142	-8.955	4,367	-.352	-2.060	.048*
Board contact phase						
Phase time	.154	-16.418	7.136	-.393	-2.301	.029*
Horse contact phase						
Phase time	.320	-19.247	5.125	-.565	-3.755	.001**
Horizontal Displacement of body CM	.237	-5.575	1.828	-.486	-3.049	.005**
Horse takeoff angle	.246	-.080	.026	-4.96	-3.132	.004**

Horse twist angular velocity	.196	7.302	.004	-.442	-2.702	.011*
Post-flight phase						
Vertical peak height	.344	8.430	2.124	.587	3.968	.001**
Resultant linear velocity of body CM	.211	1.098	.387	.460	2.835	.008**
Knee angle at landing	.266	.015	.005	.516	3.298	.033*

*p<.05, **p<.01, B = unstandardized coefficient, β = standardized coefficient, SE = standard error

2. Effects of multiple kinematic variables on the obtained point

<Table 3>은 도움짚기부터 제2비약까지 순차적으로 각 구간에서 획득점수와 유의한 상관관계를 보인 운동학 변인들만 뽑아 회귀식에 추가해 가면서 위계적 회귀분석을 실시한 결과이다. Model 1은 도움짚기의 구간에서 유의한 상관을 보인 구간 시간만 고려하였고, Model 2는 도움짚기와 구름판 접촉 구간에서 유의한 상관을 보인 구간 시간들만 포함시켰다. Model 3은 Model 2에 도마 접촉 구간에서 유의한 상관을 나타낸 변인들을 포함시켰고, Model 4는 Model 3에 제2비약에서 나타난 유의한 변인들을 모두 포함시켰다. 분석결과 Model 2의 도움짚기와 구름판 접촉 구간의 구간 시간들만으로는 획득점수 변화의 29.1%를 설명하는데 그쳤다. Model 3에서는 도마짚기 구간의 변인들(구간시간, 수평변위, 도마 이륙각, 도마 비틀기 각속도)이 추가되면서 설명력이 50.3%가 되었다. 제2비약 변인들이 추가된 Model 4는 획득점수 변화의 64.9%를 설명하였다. Model 3에서는 도마 비틀기 각속도, Model 4에서는 착지 무릎각이 각각 획득점수와 매우 유의한 관계를 나타냈다(p<.05).

Table 3. . Hierarchical multiple regression analysis of the obtained point

Model		R^2	B	SE	β	*T*	*p*
1	Constant	.124	14.877	1.323		11.243	.000
	Phase time (round-off)		-8.995	4.367	-.352	-2.060	.048*
2	Constant	.291	17.568	1.589		11.056	.000
	Phase time (round-off)		-9.973	4.013	-.390	-2.485	.019*
	Phase time (board contact)		-17.35	6.636	-.411	-2.615	.014*
3	Constant	.503	18.095	2.532		7.146	.000
	Phase time (round-off)		1.122	5.254	.044	.214	.833
	Phase time (board contact)		-7.803	7.379	-.185	-1.058	.300
	Phase time (horse contact)		-15.73	7.878	-.462	-1.996	.057
	Horizontal displacement (horse contact)		1.571	2.986	.137	.526	.603
	Horse takeoff angle		-.020	.037	-.125	-.554	.585
	Horse twist angular velocity		-.012	.005	-.436	-2.181	.039*
4	Constant	.649	12.717	4.383		2.901	.008
	Phase time (round-off)		2.552	4.913	.100	.519	.609
	Phase time (board contact)		-3.279	6.845	-.078	-.479	.637
	Phase time (horse contact)		-9.088	10.222	-.267	-.889	.384
	Horizontal displacement (horse contact)		1.479	3.106	.129	.476	.639
	Horse takeoff angle		-.048	.035	-.300	-1.389	.179
	Horse twist angular velocity		-.008	.005	-.303	-1.637	.116
	Vertical peak height		3.093	3.046	.215	1.015	.321
	Resultant velocity of body CM		-.053	.635	-.022	-.083	.934
	Knee angle at landing		.009	.004	.325	2.118	.046*

*p<.05, **p<.01, B = unstandardized coefficient, β = standardized coefficient, SE = standard error

3. Relationships of precursor variables on the current kinematic variables

<Figure 5>는 최종 목표인 획득점수에 영향을 주는 운동학적 변인들을 찾고 도움짚기 구간부터 제2비약 구간까지 단계별로 영향을 주는 선행 변인들의 관계(상관계수와 결정계수)를 나타낸 그림이다. 획득점수는 제2비약 구간의 최대수직높이(r=.587, R^2=.34), 신체중심 합성속도(r=.460, R^2=.21), 착지 무릎각(r=.516, R^2=.26)에 의해 유의하게 영향을 받았다(p<.05). 제 2비약의 최대수직높이는 도마 접촉 구간 시간에 부(-)적 영향(r=-.490, R^2=.24)을 받았고, 신체중심 합성속도는 도마 접촉 시 구간 시간(r=-.672, R^2=.45)과 신체중심 합성속도(r=.626, R^2=.39)의 영향을 받았다(p<.05). 그러나 제 2비약의 변인들 중 착지 무릎각은 이전 단계의 운동학적 변인들 영향을 받지 않았다. 도마 접촉 구간 시간은 제 1비약의 구간 시간(r=-.446, R^2=.07), 신체중심 수평변위(r=-.405, R^2=.16), 신체중심 수직변위(r=-.541, R^2=.29)로부터 각각 유의하게 영향을 받았다(p<.05). 제 1비약 신체중심 수평변위는 발구름 구간의 신체중심 수평변위(r=-.375, R^2=.14)와 이륙각(r=-.429, R^2=.20)으로부터 영향을 받았고, 제1비약 신체중심 수직변위는 발구름 구간 시간(r=-.497, R^2=.24), 신체중심 수평변위(r=-.468, R^2=.22), 신체중심 수직변위(r=-.463, R^2=.21), 이륙각(r=-.655, R^2=.43)으로부터 각각 영향을 받았다(p<.05). 발구름 구간의 소요시간(r=-.350, R^2=.12)과 신체중심 수평변위(r=-.430, R^2=.28)는 도움짚기 지지각으로부터 각각 부(-)적인 영향을 받았다(p<.05). 한편 발구름 구간의 이륙각은 도움짚기 이륙각(r=.391, R^2=.15)으로부터 정(+)적 영향을 받았다(p<.05).

도마 접촉 구간의 신체중심 합성속도는 제 1비약 신체중심 합성속도(r=-.568, R^2=.29)로부터 부(-)적 영향, 제1비약 신체중심 합성속도는 발구름 구간 신체중심 합성속도(r=-.451, R^2=.18)로부터 부(-)적 영향을 순차적으로 받았다(p<.05). 발구름 구간 신체중심 합성속도는 도움짚기 구간 신체중심 합성속도(r=-.589, R^2=.29)로부터 부(-)적 영향을 유의하게 받았다(p<.05). 제2비약의 착지 무릎각은 선행 운동학적 변인들로부터 영향을 받지 않았다.

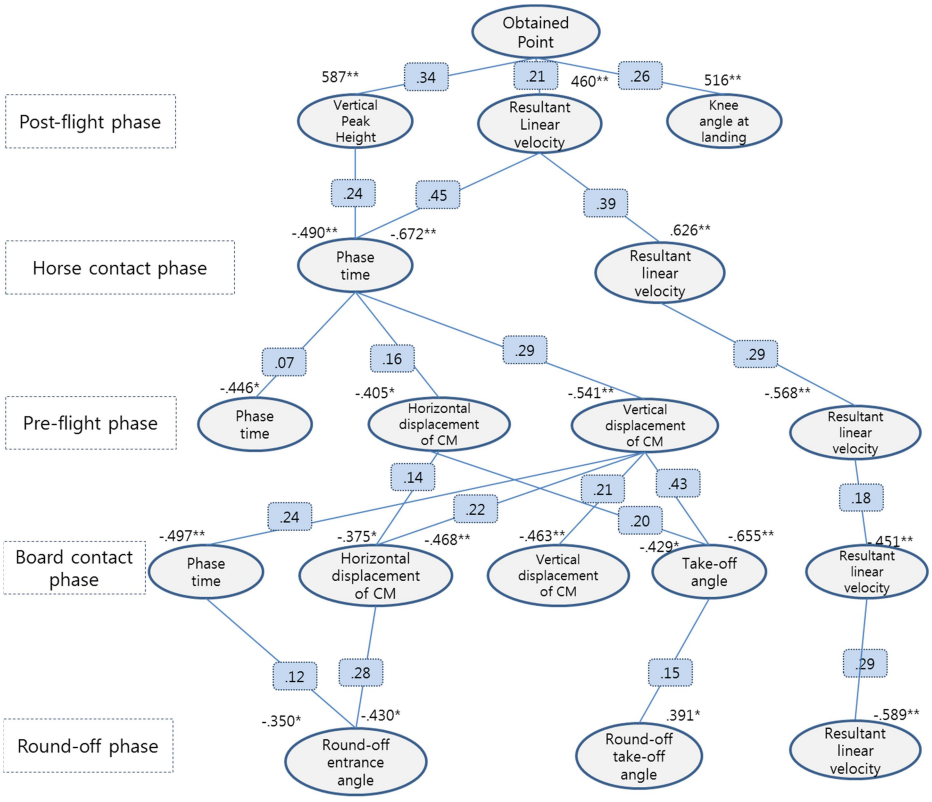

Figure 5. Modified deterministic model for Yurchenko layout with 360° twist in female vaults. Model shows kinematic variables of post-flight phase that determines the obtained point and correlative relationships between proceeded and

current kinematic variables.

Discussion

도마 동작들은 2초 이내에 끝나기 때문에 심판은 객관적인 평가 기준을 가지고 각 구간에서 발생한 동작을 빠르게 판단하여 채점해야 한다. 본 연구는 심판이 부여한 획득 점수와 그 점수에 영향을 주는 운동학적 변인들을 찾아보고, 변인들과의 관계성을 살피는 것을 목적으로 하였다. 획득점수와의 관계성은 상관분석과 회귀분석을 이용하여 파악했으며 변인들 간의 관계성은 Hay와 Reid (1988)가 제시하였던 결정모델을 설정하여 알아보았다.
연구 결과 동작의 초기 단계인 도움짚기와 구름판 구간에서 획득점수에 영향을 주는 운동학적 변인들은 도움짚기와 구름판 구간 시간들만이었다. 두 변인이 획득점수와 각각 부(-)적 관계를 보였고, 획득점수 변화량의 29.1%를 설명하였다. 이는 구름판 구간 시간이 짧을수록 높은 점수가 나와 구름판 접촉시간을 짧게 해야한다는 Yoon과 Min (2011) 연구 결과에 부합하였다. 발구름 구간의 수평속도가 빠르면 도마 이륙 시 빠른 수직속도를 만들 수 있기 때문에 초기 구간에서의 구간 시간이 중요하였다(Yeo, 2006a; Yoon & Kim, 2006a; Yoon et al., 2008).
제1비약에서는 예상과 달리 획득점수에 영향을 주는 운동학적 변인이 하나도 없었다. 기존 연구에서는 제1비약 동작 시간을 짧게 하여 이동거리를 짧게 하는 것이 성공률을 높이거나 고득점을 이끈다고 하였으나 본 연구에서는 찾지 못했다(Song et al., 2015; Yeo, 2006b; Yoon et al., 2006; Yoon & Min, 2011).
도마 접촉 구간과 제2비약 구간의 변인들이 획득점수에 준 영향들은 선행 연구들에서 찾은 결과와 매우 비슷하였다. 도마 접촉의 구간 시간, 무게중심 수평변위, 도마 이륙각, 도마 비틀기 각속도가 각각 획득점수와 부(-)적인 관계를 보여주었다. 따라서, 도마 접촉시간이 짧을수록, 그리고 무게중심이 진행방향으로 적게 밀려날수록 획득점수가 높았다 (Park & Kim, 2016; Song et al., 2015; Yeo, 2006a, 2006b; Yoon & Kim, 2006a, 2006b). 이것은 도마에 들어오는 수평 운동량을 수직 운동량으로 전환해야 가능하기 때문에 강한 어깨를 이용한 도마의 블로킹 중요성을 보여준 것이었다. 블로킹이 약하면 수평변위가 더 길어지고 이륙시의 자세도 진행방향으로 밀리게 되어 도마 이륙각이 더 커지게 된다. 즉, 수직속도의 변환이 효율적이지 못하면 제2비약 동작에 부정적인 영향을 주었다(Park & Kim, 2016; Song et al., 2015; Yeo, 2006a, 2006b; Yoon & Kim, 2006a, 2006b).
몸펴 360° 비틀기 동작을 연구한 Kwon 등(1990)의 결과인 고득점자들의 도마 비틀기 각속도가 저득점자들보다 작다는 것도 본 연구 결과와 부합하였다. Song 등(2015)도 도마 기술 완성도를 높이기 위해서는 비틀기(횡단면)보다 동체 회전(시상면)이 충분히 이루어져야 한다고 하였다. 이를 위해서는 회전속도의 증감 타이밍이 중요하다고 하였는데 동체 비틀기 회전이 강할수록 수직력이 약화되고 획득점수에 부정적 영향을 주기 때문에 도마 이륙 시점에서 동체 비틀기 각속도를 감소시키는 것이 획득점수에 필요한 것임을 알 수 있었다(Kwon et al., 1988). 도마 접촉 구간까지의 운동역학적 변인을 포함한 다중회귀 모델은 획득점수 변화의 50.3%를 설명하였고, 제2비약에서 획득점수에 정(+)적 관계를 보여 준 최대수직높이, 무게중심 합성속도, 착지 무릎각까지 포함한 다중회귀식 모델은 획득점수 변화의 설명력을 64.9%까지 끌어 올렸다. 대체로 고득점자들은 최대수직높이가 높기 때문에 여유 있는 착지를 할 수 있어서 무릎각이 크게 나왔다. 이러한 자세 요인은 앞선 구간의 운동학적 변인들과 유의한 관계를 보여주지는 못했지만 선수들의 동작을 평가하여 점수를 부여할 때 심판은 착지자세를 가장 눈여겨 본다는 선행연구 결과와도 일부 일치하였다(Takei, Blucker, Dunn, Myers, & Fortney, 1996).
여러 변인들 중 획득점수에 가장 영향을 준 변인들은 제2비약 무게중심 최대수직높이(r=-.587), 도마 접촉 시간(r=-.565), 착지 무릎각(r=-.516), 도마 이륙각(r=-.587) 순이었다. 이는 도마 접촉과 제2비약 동작이 획득점수에 결정적인 영향을 미친다는 선행 연구들의 주장과 비슷하였다(Park & Kim, 2016; Song et al., 2015; Yeo, 2006a, 2006b; Yoon & Kim, 2006a, 2006b). 제2비약의 변인들이 획득점수에 강하게 영향을 주는 원인의 일부는 국내 심판들의 채점 위치와도 관련성이 있을 것으로 생각되었다. 수행 점수를 부여할 때 국제체조연맹 채점규정에 따라 각 구간별로 감점기준이 명시되어 있다. 하지만, 국내 시합 상황에서는 심판들이 구간별로 배치되어 있지 않고 착지구역에 집중적으로 위치해 있기 때문에 평가 비중이 도마 접촉과 착지 동작에 편중되었다고 생각되었다. 이에 따라 국내대회 심판들의 배치도를 바꾸거나 국제대회처럼 포디움 위에서 경기가

이루어질 수 있게 하면 관전 포인트가 더 효과적으로 바뀌어 심판채점이 이루어 질 것으로 생각되었다. 또한, 획득점수 부여에 있어서 주관적인 판단을 완전히 배제할 수 없었을 것으로 생각되었다. 국내대회에서는 현장 지도자들이 체조경기 심판으로 참여하기도 하기 때문에 소속팀과 경쟁팀 모두를 객관적으로 판정한다고 단정하기 힘들기 때문이다(Han, Lee, Yoon, & Park, 2011). 차후 추가적인 객관화된 채점시스템 연구가 이루어져야 한다고 생각하였다.

Hay와 Reid(1988)는 도마에서 실수 하는 것은 앞선 구간의 동작 때문이라고 하였다. 즉, 착지 동작은 제 2비약의 동작에서 비롯되고 제2비약은 도마 접촉 동작, 도마 접촉 동작은 제1비약 동작, 제1비약은 구름판 접촉 동작으로 원인이 거슬러 올라간다. 따라서 앞선 구간의 운동학적 변인들의 결과를 잘 이해하면 현 구간의 동작을 잘 이해할 수 있고 경기력 향상에 도움될 것으로 가정하고 결정모델을 적용하였다.

가장 가까이에서 획득점수에 영향을 준 제 2비약의 운동학적 변인들과 획득점수의 관계를 살펴본 결과 3개의 운동학적 물리량(최대수직높이, 신체중심 합성속도, 착지 무릎각)이 모두 획득점수와 정(+)적 관계를 보였다. 이 3개 변인에 영향을 주는 앞선 구간의 운동학적 변인들을 단계적으로 찾아본 결과 착지 무릎각은 다른 두 변인들과 달리 앞선 변인들로부터 영향을 받지 않고 독립적으로 획득점수에 영향을 주었다. 즉, 착지 점수는 다른 변인들과의 관계를 고려하지 않고 심판이 독립적으로 부여하는 것임을 알 수 있었다. 유리첸코 연구는 아니지만 Takei 등(1996)도 도마 경기에서 착지의 감점요인과 획득점수 사이에 높은 부(-)적 관계가 있음을 보였고, Takei(2007) 연구에서 착지 시 감점 요인이 획득점수 변화의 85%를 설명한다고 하여 착지의 중요성을 강조하였었다.

한편, 유리첸코 기술을 시작하는 도움짚기부터 보면 도움짚기 구간의 신체중심 합성속도는 이후 펼쳐지는 각 구간의 신체중심 합성속도에 유의한 영향을 주었다. 그리고 도움짚기할 때 지지각과 이륙각은 다음에 오는 구름판 구간의 구간 시간, 수평변위, 구름판 이륙각에 유의하게 영향을 주었고, 구름판 구간의 무게중심 수직변위와 함께 제1비약의 무게중심 수직변위와 수평변위에 순차적으로 영향을 주었다. 이러한 선행 구간 변인들의 영향은 도마 접촉 구간의 구간 시간과 무게중심 합성속도에 영향을 주면서 제2비약에도 영향을 주었다. 따라서, 도움짚기 지지각과 신체중심 합성속도는 직접적으로 획득점수에 유의한 영향을 주지 못했지만, 이후 구간의 운동학적 변인들에게 영향을 주어 간접적으로 획득점수에 기여했다고 볼 수 있었다. 그 이유의 일부는 유리첸코 기술의 특징에 있다고 보았다. 옆으로 몸을 회전하면서 구름판에 진입하기 때문에 각운동학적 요소(도움짚기 지지각)와 선운동학적인 요소(신체중심 합성속도)가 모두 내재된 기술이고, 도움짚기 구간에서 적절한 질주 속도를 유지하면서 적합한 거리에 손을 짚어야 수평에너지를 회전에너지로 잘 전환해야 됨을 알 수 있었다. 도움짚기는 아니지만 Takei(2007)는 발구름 구간 직전 스텝을 정확한 위치에 가져가지 못하면 발구름 구간뿐만 아니라 이후 동작에 영향을 준다는 것을 보여 선형운동에서 회전운동으로 전환되는 구간의 중요성을 강조하였다.

몇가지 연구 제한점들이 본 실험에 있었다. 첫째, 시합 상황이라 반사마커를 사용할 수 없었기에 수동으로 디지타이징한 주요 관절점 좌표의 정확성이 떨어졌다고 볼 수 있었다. 둘째, 영상 취득율(60 Hz)로 낮은 편이고, 동조 LED 사용이 제한되었기 때문에 시간 동기화에서 오차가 발생할 수 있었다고 보았다.

Conclusion

획득 점수에 가장 큰 영향을 운동학적 변인은 제2비약 최대수직높이, 도마 접촉시간, 착지 무릎각, 도마 이륙각 순이었다. 강한 어깨를 바탕으로 도마 블로킹을 가져가야 도마 접촉시간이 짧고 도마 이륙각이 작아서 제2비약에서 더 높게 날고 착지할 때 여유 있게 착지 할 수 있었다. 결정모델을 통해 선행 구간의 변인들이 이후 동작에 주는 영향을 살펴보면 도움짚기 구간의 지지각과 이륙각은 이후의 구간시간, 변위 및 자세에 영향을 주었고, 무게중심 합성속도는 이후 구간들에서 발생하는 무게중심 합성속도에 영향을 주었다. 착지 시 무릎각은 선행 구간의 변인들로부터 영향을 받지 않았고 순전히 심판의 판단에 의해 결정된 것으로 파악되었다. 결론적으로 획득점수는 제2비약과 도마접촉 운동학적 변인들에 의해 주 영향을 받았는데, 이들은 이전 구간에서 발생한 운동학적 변인들에게서 직·간접적으로 영향을 받았다.

Reference

Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation form comparator coordinates in object space coordinates in close range photogrammetry. *Proceedings of ASP/UI Symposium on Close Range Photogrammetry*. Urbana, IL(1-18). Fall Church, VA: American Society of Photogrammetry.

Carlton, M. (1988). Round-off vaults. *Gymnastic Coach, 7*, 19-23.

FIG(2013). Federation of International Gymnastics. International Code of point-Women's Artistic Gymnastic.

Han, K.I., Lee, D.H., Yoon, D.H., & Park, S.Y. (2011). Sources of stress and coping styles of gymnastic judges. *Korean Journal of Physical Education, 3*, 181-196.

Hay, J. G., & Reid, J. G. (1988). *Anatomy, mechanics, and human motion*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Kim, Y. J., & Kim, H. Y. (2011). Strategic Analysis for Vault in 2010 Women's Gymnastics Artistic World Championships. *The Korean Journal of Sport, 9*(3), 193-203.

Koh, M., & Jennings, L. (2003). Dynamic optimization: inverse analysis for the Yurchenko layout vault in women's artistic gymnastics. *Journal of Biomechanics, 36*, 1177-1183.

Koh, M., & Jennings, L. (2007). Strategies in preflight for an optimal Yurchenko layout vault. *Journal of Biomechanics, 40*, 1256-1261.

Koh, M., Jennings, L., Elliott, B., & Lloyd, D. (2003). A predicted optimal performance of the Yurchenko layout vault in women's artistic. *Journal of Applied Biomechanics, 19*, 187-204.

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*, 157-176.

Langsley, E. (1983). The 1982 World Cup. *International Gymnast, 25*(1), 8.

Park, C. H., & Kim, Y. K. (2016). Kinematis Comparisons among the Level of Acquired Points in Yurchenko 360° Stretched Twist Vault Technique in Female Gymnastic. *The Korean Journal of Physical Education, 55*(6), 771-781.

Plagenhoef, S. C., Evans, F. G., & Abdelnour, T. (1983). Anatomical data for analysis human motion. *Research Quayterly for Exercise and Sports, 54*(2), 169-178.

Seo, J. Y. (2016, August 15). USA Byles… Conquer the horse. The JTBC News. Retrieved from http://news.jtbc.joins.com/article/ArticlePrint.aspx?news_id=NB11292118

Seeley, M. K., & Bressel, E. (2005). A comparison of upper-extremity reaction forces between the Yurchenko vault and floor exercise. *Journal of Sports Science and Medicine, 4*, 85-94.

Song, J. H., Kim, D. M., & Moon, J. H. (2015). Case Analysis of Vault "Shirai-Kim Hee Hoon" Technique for Assessing Skill Completeness. *Journal of Digital Convergence, 13*(11), 441-448.

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. (1991). A comparison of techniques used in performing men's compulsory gymnastic vault at the 1988 olympic. *International Journal of Sport Biomechanics, 7*, 54-75.

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., Dun, J.H., Myers, S.A., & Fortney, V.L. (1996). A three-dimensional analysis of the Men's compulsory vault performed at the 1992 Olympic Games. *Jounral 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 model and judges' scores. *Journal of Sports Science, 18*(11), 849-863

Takei, Y., Dunn, H., & Blucker, E. P. (2007). Somersaulting techniques used in high-scoring and low- scoring Roche vaults performed by male Olympic gymnasts. *Journal of Sports Science, 25*(6), 673-685.

Yeo, H. C. (2006). The analysis of Yurchenko's 900 Degree Twist Technique with Stretched Body. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(4), 165-173.

Yeo, H. C. (2006). The Kinematic Analysis for Coaching Methods Through Yurchenko's 720 Degree Twist Technique with Stretched Body. *The Korean Journal of Physical Education*, 45(5), 495-505.

Yeo, H. C., Kim, D. H., & Kim, Y. J. (2011). 2009 JAPAN CUP Content Analysis of Women's Gymnastics All-Around Final. *Journal of Coaching Development*, 13(1), 105-114.

Yoon, C. S. (2003). Kinesiological Analysis of Long Horse Gymnastics Yurchenko Body Stretch 720 Degree Twisting Motion. *Korea Sport Research*, 14(6), 1449-1461.

Yoon, C. S., & Kim, T. S. (2006). The Kinematic Difference to the Skill Level in the Yurchenko Stretch Skill of Horse Vaulting. *The Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(2), 135-144.

Yoon, C. S., & Kim, T. S. (2006). The Relationship with the Mechanical Factor and Angular Momentum of the Yurchenko Stretch Skill in Horse Vaulting. *Korea Sport Research*, 17(3), 177-186.

Yoon, C. S., & Min, A. Y. (2011). The Kinematical Analysis of Yurchenko Streched at Horse Vaulting. *The Korea Journal of Sports Science*, 20(1), 1123-1124.

Yoon, C. S., Min, A. Y., Hah, C. K., Park, J. C., & Lee, J. H. (2008). Comparison on Kinematic Factors According to Skill Levels of Women's Yurchenko Motion in New Horse Vaulting. *The Korea Journal of Sports Science*, 17(4), 1509-1519.