KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2023; 33(4): 137-146
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2023.33.4.137
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

The Effects of Kinematic Variables and Sequence during Horizontal Bar Swing in Gymnastic: a Case Study

체조 철봉 동작 시 운동학적 요인 및 신체 순차적인 움직임이 기술 성패에 미치는 영향

Sangheon Park[1], Seong-Jun Kim[1], Ju-Won Song[1], Seong-Min Jo[2], Jooho Song[3]

[1]Department of Sport Science, Institute of Sport Science, Seoul, South Korea
[2]Korean Sport & Olympic Committee, Seoul, South Korea
[3]College of Education Chungbuk National University, Cheongju-si, South Korea

Received : 22 September 2023
Revised : 11 October 2023
Accepted : 11 October 2023

Corresponding Author
Sangheon Park
Department of Sport Science, Institute of Sport Science, 727, Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul, 01794, South Korea
Email : kkcpu12@kspo.or.kr

Objective: The horizontal bar of gymnastics is fundamentally based on rotational movements. This study aimed to determine the effect of kinematics variables and sequence during horizontal bar performance (Kovacs, Tkatchev Stretched & Kolman) in gymnastic.

Method: Four gymnastics athletes of the national team were participated in this study. All subjects were asked to perform the three types of horizontal bar skill. Simi marker-less cameras were used to collect the raw data (120 Hz). Kinematic variables (total time, interval, center of mass, height, angular velocity etc.) and sequence variables were calculated to examine the differences.

Results: As a result, horizontal bar performance in gymnastic has special sequence that making the peak angular velocity from distal joint to proximal joint (knee-hip-shoulder). It is rare sequence that typical sport does not have.

Conclusion: In field, gymnastic coaches and players should know the result that there is special sequence in horizontal bar performance. It could be very useful to teach and enhance their performance.

Keywords: Kinematic, Sequence, Horizontal bar, Gymnastic

INTRODUCTION

체조 종목은 1988년 서울 올림픽을 시작으로 2016년도를 제외한 모든 올림픽에서 꾸준히 성적을 거두어 왔으며, 2020년 도쿄 올림픽에서는 도마 경기의 신재환 선수와 여서정 선수가 각각 금메달과 동메달을 획득하여 명실상부 한국 스포츠의 효자 종목으로 자리매김하였다. 하지만 이러한 성적에도 불구하고 체조의 세부 종목(남자체조: 마루, 안마, 링, 도마, 평행봉, 철봉, 여자체조: 도마, 이단평행봉, 평균대, 마루)이 아주 다양함을 고려한다면 현시점 체조 경기의 발전은 몇몇 특정 종목에 치중되어 있다고 볼 수 있다. 실제 체조 종목 중 도마는 오랜 시간 동안 꾸준한 지원을 통해 장족의 발전을 거두어 왔으며 훌륭한 성적으로 체조 종목의 전반적인 전망을 밝히기도 하였다. 반면, 철봉 종목의 경우에는 2000년 시드니 올림픽에서 이주형 선수가 동메달을 획득하였으며, 2012년 런던 올림픽에서 김지훈 선수가 다시 한 번 결선에 진

Copyright © 2023 Korean Journal of Applied Biomechanics
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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

출하는 쾌거를 거뒀음에도 불구하고, 그 계보를 이어가지 못하고 있는 것이 사실이다. 즉 체조 종목의 지속적인 성장과 전반적인 발전을 위해서는 특정 종목에 편중되지 않고 철봉과 같은 다양한 종목의 경기력을 향상시키기 위한 노력이 필요하다.

철봉 경기는 높이 2.6 m에 설치되어 있는 직경 2.8 m의 철봉(horizontal bar)을 사용하여 흔들기를 중심으로 모든 연기를 멈춤 없이 수행해야 한다. 현대 철봉 경기는 흔들기, 틀기, 비행 동작 그리고 내리기 동작의 부드러운 연결로 구성되며, 다양한 흔들기 및 틀기 요소와 비행 요소를 적절하게 수행해야만 높은 점수를 얻을 수 있다(Kim, Back & Park, 2007). 특히 비행 동작은 흔들기 동작을 기반으로 하는 철봉에서 이탈하여 공중에서 회전 움직임을 수행한 후 철봉을 다시 잡는 기술로써, 역동성이 가미된 여러 가지 고난도 기술로 표현된다. 무엇보다 최근 철봉 경기에서는 비행 기술의 질적 수준과 웅장한 면에 주목하고 있어 비행 동작의 성·패가 선수들 간 우열을 가리는 가장 결정적인 요소로써 강조되고 있으며, 때문에 선행연구들을 통해 성공적인 비행 동작을 수행하기 위한 흔들기 동작의 중요성이 대두되어왔다(Back, 2006). 즉, 철봉 경기 시 원활한 흔들기 동작의 수행은 비행 동작의 완성도를 결정지을 수 있는 핵심 요인이며 철봉 종목 성적과 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다.

기존 선행연구들에 의하면, 철봉 경기 흔들기 구간에 있어서 어깨 및 엉덩 관절의 움직임 그리고 움직임의 시작 시점은 철봉 기술의 성·패에 지대한 영향을 미친다고 보고되어왔으며, 철봉과 신체질량중심(center of mass; COM)이 이루는 각운동량(angular momentum)은 비행시간(flight time)에 영향을 미치는 주요 요인이라고 보고되었다(Lim, 2019). 또한, 선행연구를 통하여 철봉 동작과 같은 회전 움직임에 있어서 신체 각 관절의 순차적인 움직임, 즉 시퀀스(sequence)는 회전속도(angular velocity) 및 토크(torque)에 영향을 미치는 중요한 기술 요인으로써 지속적으로 강조되어 주목을 받아왔다(Crews & Lutz, 2007; Irwin & Kerwin, 2007; Hiley, Zuevsky & Yeadon, 2013; Hansen et al., 2017; Lamb, 2017; Davao, 2018; Han et al., 2019). 그러나 이와 같이 철봉 기술이 회전 움직임으로 구성되어 있음에도 불구하고, 효과적인 흔들기 동작을 위한 회전 시퀀스를 살펴본 연구를 미비한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 국가대표 체조 철봉 종목 선수들의 경기력 향상을 위하여 흔들기 동작 시 운동학적 변인 및 신체 회전 시퀀스가 비행 동작의 성패에 미치는 영향을 살펴보는데 있다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 국가대표 남자 기계체조 선수 4명(age: 22.75±3.59 yrs., height: 165.75±3.40 cm, body mass: 59.25±3.40 kg)으로 선정하였다. 연구 대상자는 現 국가대표로 최근 6개월간 정형외과적 수술 이력이 없는 선수로 선정하였다.

본 연구는 서울소재 K연구기관의 생명윤리위원회의 승인(IRB: 22008-01-03) 후 진행되었으며, 실험에 들어가기 전 연구의 목적과 실험 절차에 대하여 구체적으로 설명하였다. 본 연구는 서면 동의서를 통해 동의한 선수에 한하여 진행되었으며, 모든 데이터 수집은 선수들의 훈련 상황 내에서 진행되었다. 동작분석을 위한 마커나 센서 등은 일체 부착하지 않고, 평소 훈련 환경에서 진행되었다. 그리고 코로나19 방역지침을 준수하여 측정인원은 모두 PCR 검사 음성확인 이후 측정에 참여하였으며, 철봉이 설치된 훈련장은 외부인원의 출입 제한하여 최소한의 인원으로 진행되었다.

2. 연구절차

본 연구에서는 각 선수들의 철봉 연기 중 비행 구간(flight phase)과 연결되는 흔들기 구간(swing phase)의 동작이 측정되었으며, 실제 훈련임을 고려하여 모든 동작의 기술명과 성공 여부를 선수가 직접 기록하였다. 각 기술의 성공 여부는 릴리즈(release)와 재-착수(re-grasp)의 성공 여부를 통하여 분류되었으며, 기술명은 동작이 수행된 직후 각 선수들에게 직접 설문을 통해 확보하였다. 선수들이 구사하는 기술은 실제 경기 상황에서 가장 높은 빈도로 수행되는 고난도 기술인 코바치(Kovacs), 통드가(Tkatchev Stretched), 콜만(Kolman) 동작으로 선정되었다.

본 연구에서는 체조 철봉 종목 선수들의 흔들기 및 비행 동작을 분석을 위하여 Simi Motion (Simi Reality Motion Systems, Unterschleißheim, Germany) 8대를 사용하였고, 이때 샘플링율(sampling rate)은 120 Hz로 설정하였다. 각 카메라는 국가대표 남자 기계체조 선수가 기술을 수행하는 철봉 주변에 캡쳐볼륨(capture volume)을 설정하여 설치하였다(Figure 1).

공간 상 위치 좌표를 설정하기 위하여 실험 전 동작이 수행될 장소에 L 프레임(L-frame)과 T자 막대(T-wand)를 사용하여 NLT (non-linear transformation) 방식으로 3차원 공간좌표계를 설정하였다. 공간좌표화를 실시한 후, 인체 실루엣의 원활한 트래킹을 위해 배경 캘리브레이션(background calibration)을 실시하였다. 철봉이 설치된 바닥면은 물론, 벽면의 색상이 다양한 측정 환경이기 때문에 각 피험자들의 동작을 인공지능 트래킹(AI tracking) 방식으로 추적할 수 없는 경우 매

뉴얼(manual) 형식으로 이를 보정하였다.

Figure 1. Experimental set-up

3. 자료처리

Simi Motion 마커리스 모션 캡쳐 시스템(markerless motion capture system)을 활용하여 배경(back ground)과 인체(body) 간에 형성되는 실루엣(silhouette)을 이용해 인공지능 트레킹을 통해 각 인체 관절점에 랜드마크를 설정하고, 이를 기반으로 인체를 17개 분절로 모델링하여 각 관절·분절에서 일어나는 3차원 인체 움직임을 분석하였다(Figure 2). 단, 앞서 언급한 바와 같이 철봉이 설치된 바닥면은 물론, 벽면의 색상이 다양한 측정 환경이기 때문에 각 피험자들의 동작을 인공지능 트래킹 방식으로 추적할 수 없는 경우 매뉴얼(manual) 형식으로 이를 보정하였다.

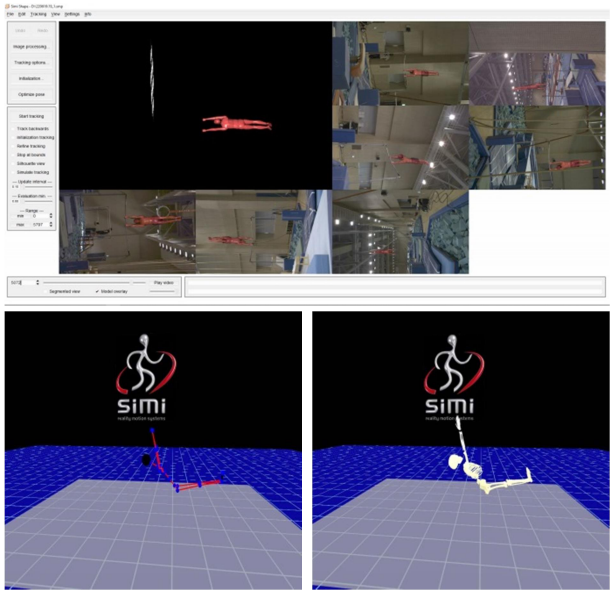


Figure 2. Simi reality motion systems & body segment modelling

이렇게 수집된 원자료(raw data)는 2차 저역통과필터(Butterworth 2nd order low-pass filter)를 사용하여 노이즈(noise)를 제거하였으며, 이때 차단주파수는 6 Hz로 설정하였다. 모든 데이터는 Matlab 2016b (MathWorks, USA)를 통하여 분석되었다.

본 연구에서는 흔들기 동작 시 팔이 지면과 수직이 되는 순간(vertical position; event 1), 팔이 지면과 수평을 이루는 순간(event 2), 다운스윙(downswing) 시 팔이 지면과 다시 수직을 이루는 순간(event 3)과 다운스윙 이후 팔이 다시 지면과 수평을 이후는 순간(event 4) 그리고 릴리즈 되는 순간(event 5)까지를, 제 1 사분원부터 제 4 사분원으로 나누어 분석을 실시하였으며, 총 소요시간, 구간별 소요시간, 비행시간, 비행 높이, 어깨관절, 엉덩관절 그리고 무릎관절의 각속도 분석하였다. 그리고 바(bar)를 기준으로 신체질량중심(center of mass; COM)의 수평, 수직 변위와 총 각운동량을 산출하였다.

이때 모든 어깨관절, 엉덩관절, 무릎관절의 각속도는 시상면(sagittal plane)에서 분석되었으며, 바를 기준으로 한 신체의 각운동량을 아래와 같은 공식을 통해 산출되었다. 또한 이렇게 산출된 각 관절의 각속도는 0~100%로 표준화(normalization) 되었고, 최대 각속도(maximum angular velocity)에 해당하는 시점을 퍼센트(percentage; %)로 산출하였다(Irwin, Exell, Manning & Kerwin, 2014; Irwin, Exell, Manning & Kerwin, 2017).

공식 1: $\mathrm{LB\ (Angular\ Momentum\ about\ the\ bar)} = \mathrm{m}_s \cdot r \cdot V_r$
(m_s : *the mass of the body*, r : *the vector beween the COM and the bar*, V_r : *resultant linear velocity of the COM*)

4. 통계처리

본 연구에서는 체조 철봉 종목 선수들의 흔들기 동작 시 운동학적 변인 및 순차적인 신체 움직임이 기술 성패에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 기술 별(코바치(Kovacs), 통드가(Tkatchev Stretched), 콜만(Kolman)) 성공과 실패에 따른 차이를 비교, 분석하여 해당 자료를 확인하였다. 본 연구에서는 대상자들의 특수성을 고려하여 추가적인 통계 분석은 수행하지 않았다. 그러나 코바치 동작(Sub. 1 & Sub. 2)은 두 명의 선수에 대한 성공과 실패 동작을 비교하였으며, 통드가 동작(Sub. 3)과 콜만 동작(Sub. 4)은 각 동작에 대한 단일 선수의 성공과 실패 동작을 비교하였다.

RESULTS

1. 코바치 기술 성패에 따른 운동학적 변인

본 연구 결과, 코바치 성패에 따른 신체 움직임(stick figure)은 <Figure 3>과 같으며, COM 움직임 형태는 <Figure 4>와 같다. COM 움직임 형태를 COM의 수평, 수직 변위와 함께 살펴보면, 코바치 기술의 성공 시 제 3 사분원에서의 움직임이 유독 크게 형성되었으며 전반적인 제 1-4 사분원의 COM 움직임 형태가 넓고 길게 형성되는 것으로 확인되었다(Table 1). 또한 국가대표 철봉 종목 선수들의 코바치 기술 수행 시 성공 동작이 실패 동작보다 소요시간이 전반적으로 짧은 것으로 나타났으며, 성공 동작이 실패 동작보다 더 긴 체공시간과 정점까지의 높이를 나타내었다(Table 1). 그리고 성공 동

<Kovacs - Success> <Kovacs - Failure>

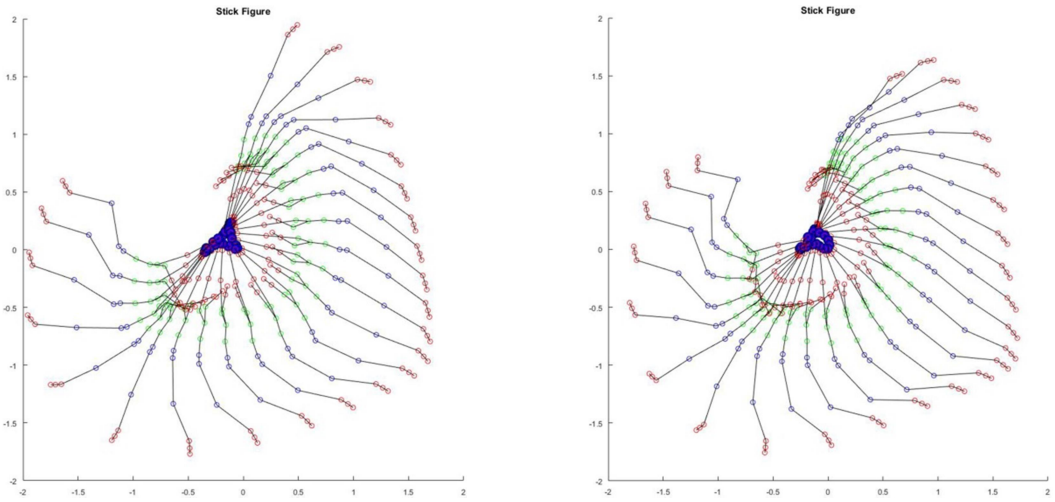


Figure 3. Stick Figure of Kovacs (Success, Sub. 1 and Failure, Sub. 2)

<Kovacs - Success> <Kovacs - Failure>

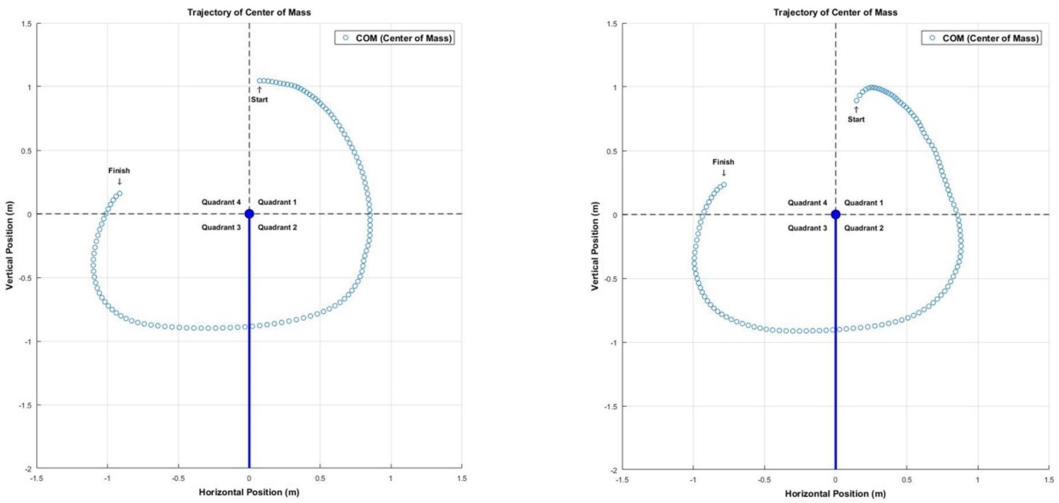


Figure 4. COM trajectories of Kovacs (Success, Sub. 1 and Failure, Sub. 2)

작은 엉덩관절과 어깨관절을 중심으로 빠른 각속도를 발휘하는 형태의 움직임을 나타내고 있으나 실패 동작은 가장 말단에 해당하는 무릎관절을 중심으로 움직임을 수행하고 있는 것을 볼 수 있다. 성공 동작은 무릎관절, 엉덩관절 그리고 어깨관절 순으로 최대 각속도를 발휘한 반면 실패 동작은 무릎관절과 어깨관절이 동시다발적으로 먼저 최대 각속도를 발휘한 후 엉덩관절이 기능을 발휘하는 것으로 나타나기도 하였다(Table 1-2).

2. 통드가 기술 성패에 따른 운동학적 변인

본 연구 결과, 통드가 성패에 따른 신체 움직임(stick figure)은 <Figure 5>과 같으며, COM 움직임 형태는 <Figure 6>과 같다. COM 움직임 형태를 COM의 수평, 수직 변위와 함께 살펴보면, 통드가 기술의 성공 시 제 3-4 사분원에서의 움직임이 유독 간결하게 매끄럽게 형성되었으며 전반적인 제 1-4 사분원의 COM 움직임 형태가 수평으로 벌어지지 않고 수직

Table 1. Variable of kinematic sequence during Kovacs (time, range of COM)

No.	S/F	Total time	Time interval (sec)				Range of COM (m)	
			Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Horizontal	Vertical
Sub. 1	S	0.99	0.36	0.27	0.32	0.05	1.95	1.95
Sub. 2	F	1.05	0.38	0.28	0.33	1.05	1.87	1.91

Note. S: Success, F: Fail

Table 2. Variable of kinematic sequence during Kovacs (flight time & height, angular velocity & momentum)

No.	S/F	Flight time (sec)	Vertical height (cm)	Angular velocity peak (%, deg./sec)			Angular momentum ($kg \cdot m^2/s$)
				Shoulder (value)	Hip (value)	Knee (value)	
Sub. 1	S	0.884	155.17	86 (-471.74)	80 (567.77)	76 (-485.22)	564.44
Sub. 2	F	0.841	141.20	72 (-246.55)	84 (370.01)	72 (-631.65)	519.48

Note. S: Success, F: Fail

<Tkatchev Stretched - Success> <Tkatchev Stretched - Failure>

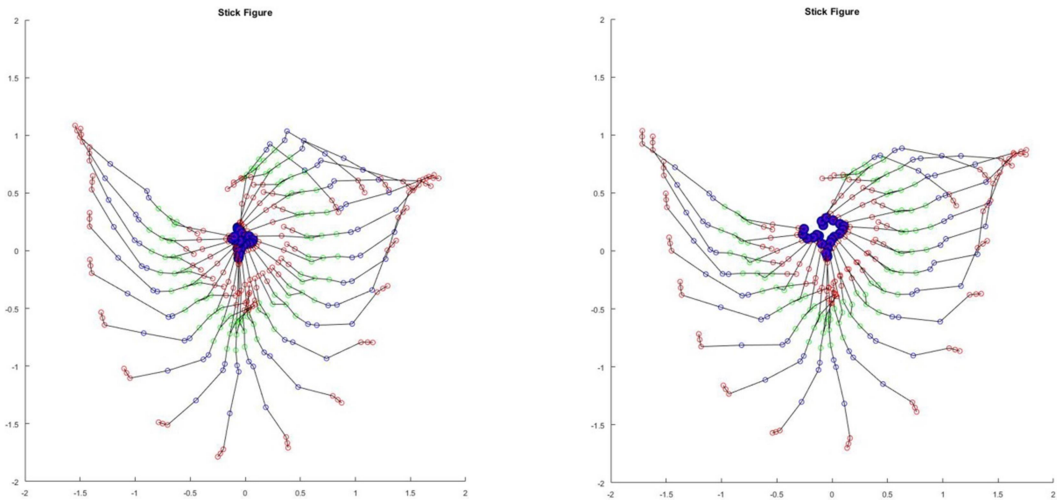
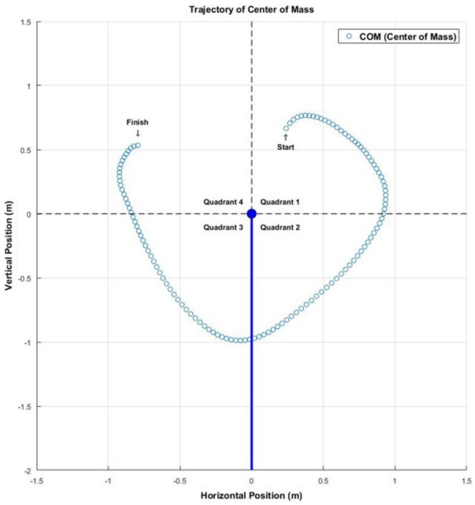


Figure 5. Stick Figure of Tkatchev Stretched (Success and Failure, Sub. 3)

<Tkatchev Stretched - Success>



<Tkatchev Stretched - Failure>

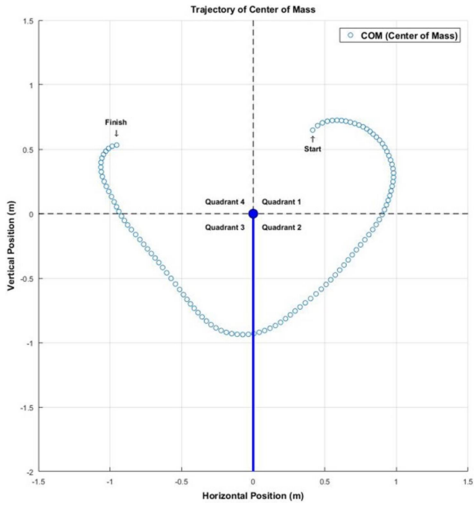


Figure 6. COM trajectories of Tkatchev Stretched (Success and Failure, Sub. 3)

Table 3. Variable of kinematic sequence during Tkatchev Stretched (time, range of COM)

No.	S/F	Total time	Time interval (sec)				Range of COM (m)	
			Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Horizontal	Vertical
Sub. 3	S	1.00	0.30	0.27	0.28	0.16	1.86	1.76
Sub. 3	F	0.92	0.28	0.24	0.26	0.14	2.04	1.66

Note. S: Success, F: Fail

Table 4. Variable of kinematic sequence during Tkatchev Stretched (flight time & height, angular velocity & momentum)

No.	S/F	Flight time (sec)	Vertical height (cm)	Angular velocity peak (%, deg./sec)			Angular momentum ($kg \cdot m^2/s$)
				Shoulder (value)	Hip (value)	Knee (value)	
Sub. 3	S	0.758	113.87	71 (-428.54)	55 (476.50)	51 (-527.10)	429.08
Sub. 3	F	0.750	128.09	41 (-585.00)	59 (863.67)	41 (-558.32)	443.65

Note. S: Success, F: Fail

으로 형성되는 것으로 확인되었다(Table 3). 본 연구 결과, 비록 국가대표 철봉 종목 선수들의 통드가 기술 수행 시 소요시간 및 체공시간과 정점까지의 높이는 차이를 나타내지는 않았지만(Table 3-4), 성공 동작은 무릎관절, 엉덩관절 그리고 어깨관절 순으로 최대 각속도를 발휘한 반면 실패 동작은 무릎관절과 어깨관절이 동시다발적으로 먼저 최대 각속도를 발휘한 후 엉덩관절이 기능을 발휘하는 것으로 나타났다. 그러나 통드가 기술 수행 성공 시 각운동량이 가장 주된 영향을 미친다고 판단하기에는 아직 어려움이 있다(Table 4).

3. 콜만 기술 성패에 따른 운동학적 변인

본 연구 결과, 콜만 성패에 따른 신체 움직임(stick figure)은 <Figure 7>와 같으며, COM 움직임 형태는 <Figure 8>와 같

<Kolman - Success> <Kolman - Failure>

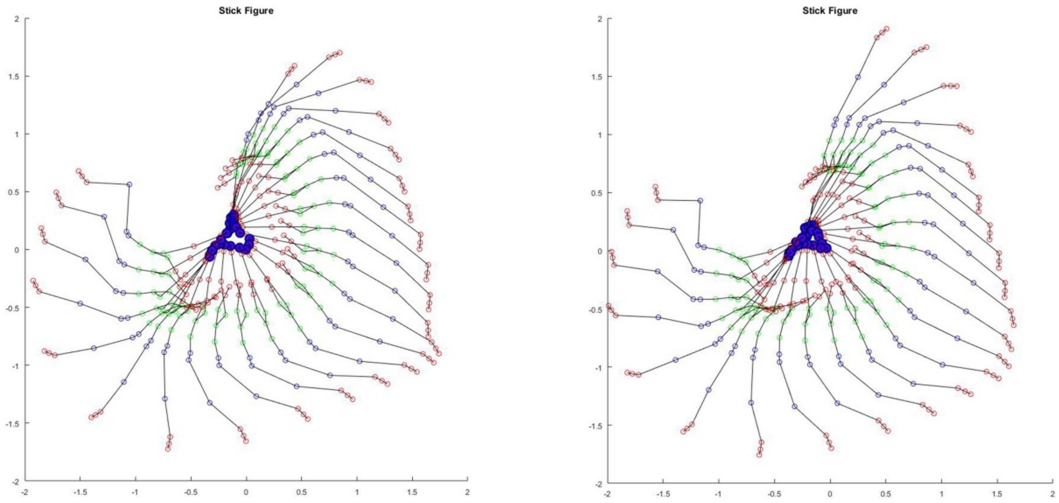


Figure 7. Stick Figure of Kolman (Success and Failure, Sub. 4)

<Kolman - Success> <Kolman - Failure>

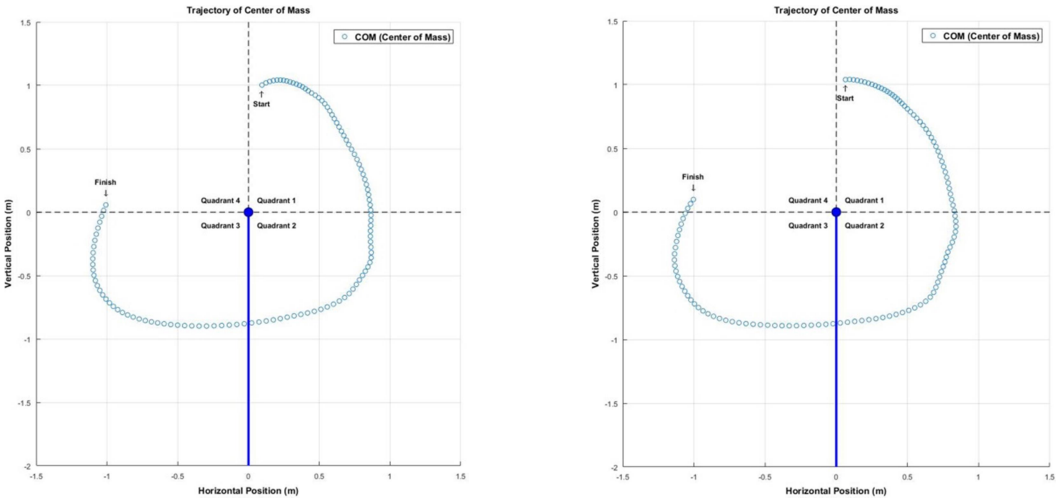


Figure 8. COM trajectories of Kolman (Success and Failure, Sub. 4)

다. COM 움직임 형태를 COM의 수평, 수직 변위와 함께 심도 깊게 살펴보면, 콜만 기술의 성공 시 전반적인 제 1-4 사분원의 COM 움직임 형태가 수직으로 벌어지지 않고 수평으로 형성되는 것으로 확인되었다(Table 5). 그리고 국가대표 철봉 종목 선수들의 콜만 기술 수행 시 소요시간 및 체공시간, 정점까지의 높이가 차이를 거의 나타내지는 않았다(Table 5-6). 또한, 성공 동작은 엉덩관절에서 위주로 빠른 각속도를 발휘하며, 무릎관절, 엉덩관절 그리고 어깨관절 순으로 최대 각속도를 발휘한 반면 실패 동작은 다소 각 관절이 명확하지 않은 각속도의 크기를 나타났다. 그러나 콜만 기술 성공에 있어서 역시 각운동량이 가장 주요하다고 판단하기에는 아직 어려움이 존재한다.

Table 5. Variable of kinematic sequence during Kolman (time, range of COM)

No.	S/F	Total time	Time interval (sec)				Range of COM (m)	
			Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Horizontal	Vertical
Sub. 4	S	0.99	0.38	0.27	0.32	0.03	1.98	1.99
Sub. 4	F	1.03	0.40	0.28	0.32	0.03	1.84	2.00

Note. S: Success, F: Fail

Table 6. Variable of kinematic sequence during Kolman (flight time & height, angular velocity & momentum)

No.	S/F	Flight time (sec)	Vertical height (cm)	Angular velocity peak (%, deg./sec)			Angular momentum ($kg \cdot m^2/s$)
				Shoulder (value)	Hip (value)	Knee (value)	
Sub. 4	S	0.990	170.99	89 (-420.58)	80 (707.75)	74 (-552.51)	547.94
Sub. 4	F	0.940	168.45	87 (-467.64)	81 (613.25)	75 (-456.84)	500.75

Note. S: Success, F: Fail

DISCUSSION

1. Kovacs

본 연구 결과, 코바치 기술의 성공 시 제 3 사분원과 더불어, 제 1-4 사분원의 전반적인 COM 움직임이 수직, 수평으로 큰 움직임을 형성하였다. 이는 체조 철봉 기술의 성공적인 수행을 위해서는 수직 속도를 최대화하고, 수평적인 움직임을 최소화하기 위한 노력이 필요하다고 언급한 선행연구와 일치하는 결과이다(Lee, Back & Chung, 2006; Lim, 2020). 또한, 성공 동작의 수행시간이 짧았으며, 긴 체공시간과 높은 정점의 높이를 나타냈다. 그리고 성공 동작은 무릎관절, 엉덩관절 그리고 어깨관절 순으로 최대 각속도를 발휘하는 모습을 나타내기도 하였다. 이와 같은 결과는 선행연구에서 중요하게 언급된 긴 체공시간과 높은 정점까지의 높이를 확보하기 위하여 각 관절의 빠른 움직임뿐 만 아니라 그 순서 역시 중요하다는 것을 반증하는 결과라고 할 수 있다(Williams, Irwin, Kerwin & Kewell, 2015). 코바치 기술 수행 성공 시 각운동량이 더 크게 나타난 것을 살펴볼 때 코바치 동작의 특성상 상방향, 즉 공중으로 몸을 많이 띄워 올려야 하기 때문에 각운동량이 이에 큰 영향을 준 것으로 볼 수 있다(Table 2). 더불어, 일반적으로 닫힌운동사슬(kinematic chain) 형태의 움직임은 작용·반작용을 활용하여 효과적으로 힘을 발현하기 위해 물체와 닿은 닫힌운동사슬을 가까운 쪽(proximal)을 중심으로 먼쪽(distal) 방향으로 순차적인 움직임을 발휘하기 마련이다(야구 던지기: 발목 - 무릎 - 골반 - 어깨 - 팔꿈치 - 손목). 그러나 본 연구 결과 체조 종목의 코바치 기술은 그 순차적인 움직임이 닫힌운동사슬의 먼 쪽을 시작으로 가까운 쪽으로, 무릎관절에서 엉덩관절로 힘을 전달한 후 어깨관절로 이어지는 시퀀스(sequence)를 보였다. 즉 체조의 철봉 종목은 기술 특성에 알맞은 특유한 시퀀스를 가지며 현장에서는 이를 숙지하고 적극 활용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2. Tkatchev Stretched

본 연구 결과, 통드가 기술의 성공 시 제 3-4 사분원이 비교적 매끄럽고, 제 1-4 사분원의 전반적인 COM 움직임이 유독 수직으로 큰 움직임을 형성하였다. 이는 체조 철봉 기술의 성공적인 수행을 위해서는 수직 속도를 최대화하고, 수평적인 움직임을 최소화하기 위한 노력이 필요하다고 언급한 선행연구와 일치하는 결과이며(Lee, Back & Chung, 2006; Lee & Back, 2006; Lim, 2020), 흔들기 구간에서 엉덩관절을 중심으로 모멘트 암(moment arm)을 작게 하여 빠른 회전 운동을 유도하고, 릴리즈 시 어깨 및 엉덩관절의 신전 운동을 통해 비행 높이를 증대 시키는 것이 중요하다고 주장한 Lee (2007)의 연구와도 일치하는 결과이다. 또한, 성공 동작은 무릎관절, 엉덩관절 그리고 어깨관절 순으로 최대 각속도를 발휘하였는데, 이와 같은 결과는 통드가 동작의 성공적인 수행을 위하여 각 관절의 빠른 움직임뿐 만 아니라 그 순서 역시 중요하는 것을 의미한다고 할 수 있다(Holvoet, Lacouture & Duboy, 2002). 더불어, 통드가 동작 역시 코바치 동작과 유사하게 순차적인 움직임이 닫힌운동사슬의 먼 쪽을 시작으로 가까운

쪽으로, 무릎관절에서 엉덩관절로 힘을 전달한 후 어깨관절로 이어지는 시퀀스(sequence)를 보였다. 즉 통드가 동작은 체조 철봉 종목 기술 특성에 알맞은 특유한 시퀀스를 가지며 현장에서는 이를 숙지하고 활용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3. Kolman

본 연구 결과, 콜만 기술의 성공 시 제 1-4 사분원의 전반적인 COM 움직임이 수직 보다는 수평으로 치우쳐 형성되는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 콜만(Kolman) 동작이 다른 기술(코바치, 통드가 등)과 달리 수평 이동에 예민한 경향을 나타낼 수 있다는 것을 암시할 수 있으며, 신체를 수직 하강시키는 시점에서 신체를 지면과 직교에 가깝게 유지하면서 동작을 수행하는 것이 중시된다고 주장한 Back, Park & Yoon (2009)의 연구를 뒷받침하는 결과라 할 수 있다. 또한, 성공 동작은 엉덩관절을 위주로 빠른 각속도를 발휘하며, 무릎관절, 엉덩관절 그리고 어깨관절 순으로 최대 각속도를 발휘하였다. 이와 같은 결과는 콜만 동작의 성공적인 수행을 위하여는 단순히 각 관절의 빠른 움직임 뿐 만 아니라 핵심이 되는 주관절의 각속도가 중요하다는 것을 의미한다고 할 수 있다(Lim & Lee, 2021). 더불어, 앞선 언급된 두 동작(Kovacs & Tkatchev Stretched)과 유사하게 본 연구 결과 체조 종목의 콜만 기술 역시 그 순차적인 움직임이 닫힌운동사슬의 먼쪽을 시작으로 가까운 쪽으로, 무릎관절에서 엉덩관절로 힘을 전달한 후 어깨관절로 이어지는 시퀀스(sequence)를 보였다. 이는 체조 철봉 동작이 특성에 알맞은 특유의 시퀀스를 가지며 현장에서는 이를 숙지라고 적극 활용할 필요가 있을 것임을 암시한다. 또한, 본 연구의 결과를 종합적으로 살펴보면 다양한 움직임의 전제조건에 따라 각각의 변인들이 각기 다른 형태를 나타내는 것으로 볼 때 기술과 선수들의 특성에 따른 적절한 체공시간과 높이가 반드시 존재함을 추론해 볼 수 있다.

CONCLUSION

본 연구는 체조 철봉 종목 선수들의 흔들기 동작 시 운동학적 변인 및 순차적인 신체 움직임과 각운동량이 기술 성패에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 기술별 성공과 실패에 따른 차이를 확인하였다. 본 연구 결과, 전반적인 체조 철봉 종목의 기술에 있어서 COM의 형태는 수평적인 움직임보다는 수직적인 움직임을 크고 넓게 형성하는 것이 기술 성공에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으나 각 기술에 따라 그 특징 역시 서로 다름을 확인하였다. 또한, 무릎관절을 중심으로 한 움직임 보다는 어깨와 엉덩관절을 중심으로 움직임을 수행해야 하며 그 중에서도 엉덩관절을 중심으로 움직임을 수행하는 것이 철봉 기술의 경기력을 결정하는 주요한 요인이 될 수 있을 것으로 확인되었다. 그리고 집단의 사례 수가 적은 국가대표 선수의 특성상 해당 연구를 통해 단적으로 결론 내릴 수는 없지만, 철봉 기술의 종류와 무관하게 모든 성공 동작에서 무릎관절, 엉덩관절, 그리고 어깨관절 순으로 최대 각속도를 발휘하였다. 이는 무릎관절에서 엉덩관절로 힘을 전달한 후 어깨관절로 이어지는 움직임이 체조 종목의 특성에 알맞은 움직임 시퀀스임을 반증하는 결과일 수 있다. 더불어 예상했던 다양한 결정 요인들이 기술별, 선수별 각기 다른 결과를 나타낸 것을 볼 때 향후 연구에서는 사례 수를 늘리고, 데이터를 축적하여 체조 철봉 종목의 대표적인 경기력 결정 요인들을 정립·증명할 필요성이 존재하며, 본 연구와 같은 개개인별 특성을 고려한 정밀하고 지속적인 피드백은 체조 철봉 종목 선수들의 경기력을 향상시키는데 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단한다.

REFERENCES

Back, J. H. (2006). Kinematic Analysis of Deff Motion in High Bars. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *16*(1), 55-63.

Back, J. H., Park, J. C. & Yoon, C. S. (2009). A Study about the Training Program for the Kolman Technique on the Horizontal Bars. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *19*(1), 37-47.

Crews, D. & Lutz, R. (2007). Comparison of kinematic sequence parameters between amateur and professional golfers. In Science and Golf V: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf; World Scientic Congress of Golf Trust: Sioux Falls, SD, USA, 30-36.

Davaro, A. (2018). Variations in the field hockey swing explained by the kinematic sequence. University of Colorado Colorado Springs.

Han, K. H., Como, C., Kim, J., Hung, C. J., Hasan, M. & Kwon, Y. H. (2019). Effects of pelvis-shoulders torsional separation style on kinematic sequence in golf driving. *Sports Biomechanics*, *18*(6), 663-685.

Hansen, C., Martin, C., Rezzoug, N., Gorce, P., Bideau, B. & Isableu, B. (2017). Sequence-dependent rotation axis changes in tennis. *Sports Biomechanics*, *16*(3), 411-423.

Hiley, M. J., Zuevsky, V. V. & Yeadon, M. R. (2013). Is skilled technique characterized by high or low variability? An analysis of high bar giant circles. *Human Movement Science*, *32*(1), 171-180.

Holvoet, P., Lacouture, P. & Duboy, J. (2002). Practical use of airborne simulation in a release-regrasp skill on the high bar. *Journal of Applied Biomechanics*, *18*(4), 332-344.

Irwin, G. & Kerwin, D. G. (2007). Inter-segmental coordination in progressions for the longswing on high bar. *Sports Biomechanics*, *6*(2), 131-144.

Irwin, G., Exell, T. A., Manning, M. L. & Kerwin, D. G. (2014). Biomechanical evolution of the Tkachev on uneven bars in female gymnastics. *International Biomechanics*, *1*(1), 21-28.

Irwin, G., Exell, T. A., Manning, M. L. & Kerwin, D. G. (2017). Functional phases and angular momentum characteristics of Tkatchev and Kovacs. *Journal of Sports Sciences*, *35*(6), 610-616.

Kim, J. S., Back, J. H. & Park, J. C. (2007). Kinematical Analysis of Kovacs in Horizontal Bar. *Korean Journal of Sport Science*, *18*(2), 117-127.

Lamb, P. F. & Glazier, P. S. (2017). The sequence of body segment interactions in the golf swing. In Routledge international handbook of golf science (pp. 26-34). Routledge.

Lee, C. H. & Back, J. H. (2006). The Kinematic Analysis of the Tkatchev Motion on the Horizontal Bar. *The Korean Journal of Physical Education*, *45*(2), 569-578.

Lee, C. H. (2007). Kinematical analysis of kovacs motion on the horizontal bars. *The Korean Journal of Physical Education*, *46*(1), 701-712.

Lee, Y. J., Back, J. H. & Chung, J. S. (2006). Kinematic Analysis of Piked KOVACS Skill on the Horizontal Bars. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *16*(2), 109-120.

Lim, K. C. & Lee, N. K. (2021). Motion Analysis of Kolman Technique by Korean Top Gymnasts on Horizontal Bar. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *31*(4), 283-289.

Lim, K. C. (2019). The Biomechanical Study on the Timings of Tkatchev Motion in Horizontal Bar. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *29*(2), 121-128.

Lim, K. C. (2020). The Evaluation of the Swing and Aerial Motion of Kovacs on Horizontal Bar. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *30*(4), 293-299.

Williams, G. K. R., Irwin, G., Kerwin, D. G. & Newell, K. M. (2015). Biomechanical energetic analysis of technique during learning the longswing on the high bar. *Journal of Sports Sciences*, *33*(13), 1376-1387.