KJSB
Korean Journal of Sport Biomechanics 2022; 32(1): 24-30
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2022.32.1.24
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Analysis of Kinematic Factors between Success and Failure of Free Aerial Cartwheel on the Balance Beam

평균대 한발 몸 펴 옆 공중돌기의 성패에 따른 운동학적 요인 분석

Choong Min Jung[1], Sang-Kyoon Park[1,2]

[1]Motion Innovation Centre, Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[2]Department of Physical Education, College of Sport Science, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 18 February 2022
Revised : 25 March 2022
Accepted : 25 March 2022

Corresponding Author
Sang-Kyoon Park
Department of Physical Education, College of Sport Science, Korea National Sport University, Seoul, 05541, South Korea
Email : spark@knsu.ac.kr

Objective: The purpose of this study was to determine the factors of successful and unsuccessful movements through the analysis of kinematics and muscle activity of the Free Aerial Cartwheel on the balance beam.

Method: Subjects (Age: 22.8 ± 2.4 yrs., Height: 158.7 ± 5.0 cm, Body mass: 54.1 ± 6.4 kg, Career: 13 ± 2.4 yrs.) who were currently active as female gymnasts participated in the study. They had no history of surgical treatment within 3 months. Subject criteria included more than 10 years of professional experience in college and professional level of gymnastics and the ability to conduct the Free Aerial Cartwheel on the Balance Beam. Each subject performed 10 times of Free Aerial Cartwheel on the balance beam. One successful trial and one unsuccessful trial (failure) among 10 trials were selected for the comparison.

Results: It was found that longer time required in case of unsuccessful trial when performing the Free Aerial Cartwheel on the balance beam compared with successful trial. It is expected to be the result of movement in the last landing section (i.e. phase 5). In addition, it was found that the center of gravity of the body descends at a high speed to perform the jump (i.e. phase 2) in order to obtain a sufficient jumping height when the movement is successful while the knee joint is rapidly extended to perform a jump when movement fails. In the single landing section after the jump (i.e. phase 4), if the ankle joint rapidly dorsiflexed after take-off and the hip joint rapidly flexed, so landing was not successful. Conversely, in a successful landing movement, muscle activity of the biceps femoris was greatly activated resulting no shaking in the last landing section (i.e. phase 5).

Conclusion: In order to succeed in this movement, it is necessary to perform a strong jump after rapidly descending the center of gravity of the body using the force of the biceps femoris muscle. Further improvement of the skills on the balance beam requires the analysis of the game-like situation with continuous research on kinematic and kinematic analysis of various techniques, jumps, turns, etc.

Keywords: Gymnastics, Balance beam, Free Aerial Cartwheel, Kinematic factors, Muscle activity (EMG)

INTRODUCTION

기계체조는 체조 기구를 통해 신체의 안정성과 독창성, 우아함을 표현하는 종목으로써, 모든 스포츠 종목의 기본이라 할 수 있다(Park, 2016). 남자 종목에서는 마루와 안마, 링, 도마, 평행봉, 철봉 총 6개의 종목으로 구성되어 있으며, 여자 종목은 도마와 이단 평행봉, 평균대, 마루 총 4종목으로 이루어져 있다. 이와 같이 서로 각기 다른 종목들은 경기 방법과 연기를 해야 하는 필수 구성 요소(CR: compositional requirements)가 다르며, 우수한 선수일수록 높은 점수를 받기 위해 난이도가 높은 기술을 습득하고 복잡한 기술을 섬세하고 다양하게 수행해야만 한다(Yu, 2015; Jung & Pyo, 2009).

4개의 여자 종목 중 평균대(Balance Beam)는 길이 5 m, 높이 1.25 m, 폭 0.1 m로, 기술 수행 시 밸런스 유지를 불안정하게 만들어 심리적 긴장감을 높인다. 이러한 심리적 긴장감은 높은 실수율과 부상을 일으키기 때문에(Yun, Ryu, Kim & Kim, 2000), 평균대 종목을 수행하는 선수들은 전체적인 신체 밸런스 유지와 높은 균형 감각이 필요하다. 평균대 연기는 크게 도약을 통한 오르기(mount), 다양한 기술 및 동작이 포함된 중간 동작, 그리고 내리기(dismount) 동작으로 이루어져 있다. 이 연기들은 CR 요소인 립 점프와 홉(leap jump & hops), 턴(turn), 앞으로 도는 아크로(acro forward), 옆으로 도는 아크로(acro sideward), 뒤로 도는 아크로(acro backward) 동작으로 구성되어 있으며 0.5점의 가치를 가지고 있어, 반드시 수행해야 하는 필수 요소이다. 특히 우수한 선수일수록 반드시 여러 가지 무용 동작들과 CR 요소인 점프, 턴, 기술 등을 적절하게 나눠 끊김 없이 조화롭게 연기를 해야 하며(Lee

Copyright © 2022 Korean Journal of Sport 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.

& Kim, 2002), 고난도 기술뿐만 아니라 가산점 요소가 포함되는 기술까지도 정확하게 연결해야만 높은 점수를 획득할 수 있다(Min, Yun & Lee, 2011).

평균대 종목의 CR 요소 중 아크로 요소는 길고 가늘게 구성 되어있는 평균대 위에서 공중 동작을 수행해야 한다는 특성이 있어 높은 난도에 속해 있다. 아크로 동작 중 옆으로 도는 아크로는 공중에서 몸을 틀어야 하기 때문에 신체가 진행하는 방향으로 나가는 앞으로/뒤로 도는 아크로와 달리 실수율이 매우 높아 경기력과 높은 점수를 획득하는데 중요한 동작이다. 옆으로 도는 아크로는 평균대 끝을 보고 시작하여 한발로 도약 후 공중에서 무릎을 구부리고 90도 회전하여 한발씩 착지하는 옆 공중돌기와 옆 공중돌기와 같은 자세로 시작하여 한발로 도약 후 공중에서 몸을 펴서 180도 회전을 하여 평균대 위에 착지하는 한발 몸 펴 옆 공중돌기가 있다. 한발 몸 펴 옆 공중돌기는 한발씩 착지하는 동작으로 착지 후 다양한 기술들을 연결시켜 가산점을 얻어 높은 점수를 획득할 수 있는 중요한 동작이며, 반드시 수행해야 하는 고난도 동작이다. 하지만 한발 몸 펴 옆 공중돌기는 다양한 기술들과 연결시켜 가산점 등의 높은 점수를 받을 수 있음에도 불구하고, 옆 공중돌기 동작과 다르게 무릎을 피고 회전을 하여 회전반경이 크고 관성모멘트가 크기 때문에 동작 수행과 착지가 어려워 시합 상황에서 많은 선수들이 실수를 하며, 주된 감점 요인으로 작용하고 있다. 이러한 이유들로 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작 시 성공적인 동작 수행을 위해 넙다리곧은근과 장딴지근의 강한 힘을 통해 무게중심을 높여야 한다고 보고되고 있지만(Aleksić-Veljković, Marković & Milčić, 2019), 실제 근전도 장비를 통해 몸 펴 옆 공중돌기 중 나타나는 근 활성도를 살펴본 연구는 수행되지 못하였을 뿐만 아니라, 성공적인 기술의 완성을 위한 기초적 자료로 동작의 성공과 실패에 대해 면밀히 운동역학적 연구 또한 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 평균대에서 한발 몸 펴 옆 공중돌기의 성패에 대한 운동학적 차이를 비교분석하는 것이 목적으로 진행되었다. 이때, 성공적인 한발 몸 펴 옆 공중돌기의 성공적인 수행에 필요한 운동학적인 연구결과와 함께 동작 수행 중 나타나는 하지 근육의 근 활성도에 대한 연구를 통해서 기술의 정확한 수행과 성공 확률을 높이며, 부상위험을 최소화하는데 기여하고자 하였다.

METHOD

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 현재 기계체조 선수로 활동하고 있으며, 최근 1년 내에 수술적 치료 경험이 없고 평균대에서 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작이 가능한 선수 경력 10년 이상인 여자 대학 및 실업 선수 10명을 선정하였다(Table 1). 본 연구는 K대학 연구윤리위원회의 승인(승인번호: 20210610-074)을 받은 후 수행하였으며, 모든 실험 참가자는 실험 전 연구에 대한 자세한 설명을 듣고 동의서를 작성한 후, 실험에 참여하였다.

Table 1. Subject's physical characteristics

Subject	Age (yrs.)	Height (m)	Body mass (kg)	Career (yrs.)
Mean	22.8	158.7	54.1	13
SD	2.4	5.0	6.4	2.4

2. 실험 절차

본 연구는 평균대에서 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작의 성공과 실패에 따른 운동학 및 운동역학적 차이를 알아보기 위해 동작분석 시스템이 갖춰진 실험실에서 진행되었다. 모든 실험 대상자들은 실제 경기 유니폼을 착용한 후 충분히 준비운동을 수행하였으며, 이후 SENIAM (surface electromyography for the non-invasive assessment of muscle)를 참조하여 넙다리곧은근(rectus femoris), 넙다리두갈래근(biceps femoris), 내측 장딴지근(gastrocnemius)에 근전도 장비를 각각 부착하여 최대 자발적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction [MVIC])을 측정하였다. MVIC 측정은 각 실험 대상자들의 근 활성도를 표준화하기 위해 측정하였으며, 각 근육당 5초간 측정하였다(Kendall, McCreary, Provance, Rodgers & Romani, 2005). 측정 후, 신체의 분절 및 관절점을 좌표화 하기 위해 다음 그림(Figure 1)과 같이 부착하였다. 한발 몸

Figure 1. Camera and Balance beam installation (left) Markers and EMG attachment locations (right).

펴 옆 공중돌기 동작은 총 10회 수행하였으며, 기계체조 심판 자격을 지닌 3명의 심사위원 점수에 따라 성공과 실패, 제외 동작을 분류하였다. 동작은 기계체조 채점 규칙집(Fédération Internationale de gymnastique, 2017)에 따라 심사위원이 성공과 실패, 제외 동작을 채점하였으며, 0.3 이상의 감점을 받는 동작이나 미흡한 동작은 실패 동작, 평균대에 발이 닿지 않았거나 떨어진 동작은 제외 동작으로 분류하였다.

3. 자료 처리

한발 몸 펴 옆 공중돌기의 성공과 실패에 따른 차이를 알아보기 위해 동작의 시점(event)와 구간(phase)은 다음과 같이 나누어 분석하였다(Figure 2).

Event 1: 동작을 하기 위해 발을 드는 시점
Event 2: 발을 디디면서 상체와 대퇴가 가까워지는 시점
Event 3: 지지발의 무릎을 피면서 반대쪽 다리를 차는 시점
Event 4: 신체 중심이 최고높이에 도달하여 180도 몸을 트는 시점
Event 5: 한발 착지를 하는 시점

Phase 1: 도약을 하기 위해 발을 디디는 구간
Phase 2: 디디고 있는 지지발을 누르면서 도약을 하는 구간
Phase 3: 도약 후 공중에서 몸을 180도 트는 구간
Phase 4: 공중에서 한발 착지를 하는 구간
Phase 5: 한발 착지 후 양 발 착지를 하는 구간

총 10번의 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작 중 심사위원의 점수가 가장 높은 성공 동작 1회와 제외 동작을 제외한 다수의 실패 동작을 통해 성공 유무에 따른 동작 차이를 비교하였다. 또한, 각 피험자에 따른 성공, 실패, 제외 동작의 횟수는 다음 (Table 2)와 같다.

동작분석 간 위치 데이터와 근전도 데이터는 A/D 보드를 통해 동조하였으며 Qualisys Track Manager (Qualisys, Sweden, [QTM])을 통해 취득하였다. 취득한 위치 데이터와 근전도 데이터는 수집과정에서 발생하는 오차(random error)를 최소화하기 위해 butter-worth 2nd low-pass filter와 Band-pass filter를 각각 사용하였으며, 이때 차단주파수(cut-off frequency)는 6 Hz와 20~450 Hz로 설정하였다(Yeo & Jang, 2008). 각 피험자의 동작 구간 별 각 근육의 근 활성도를 비교하기 위해 근전도의 MVIC 데이터는 측정한 5초 중 처음과 끝의 1초를 제외한 3초 동안의 RMS (root mean square)를 계산하였으며, 동작의 각 근육의 근전도 데이터는 구간 별로 RMS를 산출하여 표준화하였다.

4. 변인

평균대 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작의 성패에 따른 차이를 비교하기 위해 운동학적 변인과 근 활성도를 비교 분석하였으며, 본 연구에서 사용한 전역좌표계는 x축은 좌(–)우(+) 방향, y축은 전(+)후(–) 방향, z축은 상(+)하(–) 방향으로 설정하였다. 또한, 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절은 시상면으로 분석하였으며 발목관절 각도, 각속도는 배측굴곡(+)/저측굴곡(–), 무릎관절, 엉덩관절 각도, 각속도는 굴곡(+)/신전(–) 방향으로 설정하였다. 이렇게 정의된 좌표계를 기준으로 각 구간 별 소요시간과 신체 무게중심의 속도, 하지의 관절 각도 및 각속도, 근 활성도의 분석 변인들을 계산하였다.

5. 통계 처리

본 연구는 평균대 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작의 성패에 대한 운동학적 변인의 차이를 검증하기 위해 SPSS 24.0 (IBM, USA)을 통해 대응 *t*-test를 실시하였으며, 통계적 유의수준은 α = .05로 설정하였다.

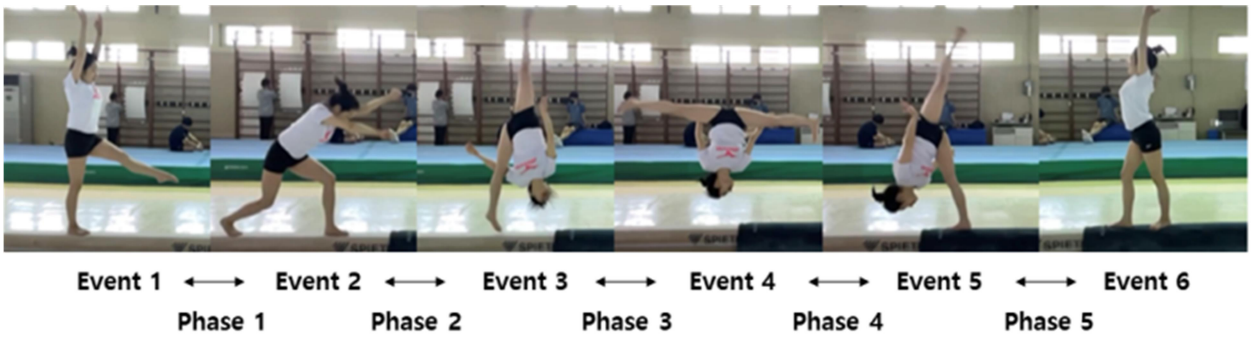

Figure 2. Free Aerial Cartwheel of event and phase.

Table 2. Success and failure of each subject, except for motion

Subject No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Success	2	2	3	3	5	5	2	3	3	4
Failure	4	3	4	2	3	1	4	4	3	4
Exemption	4	5	3	5	2	4	4	3	4	2

RESULTS

본 연구는 여자 기계체조 실업 선수 및 대학 선수 10 명을 대상으로 평균대에서 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작의 성패에 따른 차이를 살펴보기 위해 각 구간 별 소요시간과 신체 무게중심 속도, 하지의 관절 각도 및 각속도, 근 활성도를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

우선, 구간 별 소요시간과 신체 무게중심 속도를 살펴보면 마지막 착지 구간인 P5 구간과 총 소요시간에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며(p<.05, Table 3), 신체 무게중심의 최대 속도는 좌우(x축) 및 전후(y축)의 P5 구간에서(p<.05, Table 4, 5), 신체 무게중심의 최소 속도는 상하(z축)의 P2 구간에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p<.05, Table 6).

Table 3. Required time for each section (unit: sec)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	t (p)
P1	0.93±0.30	0.98±0.37	-1.50 (p=.17)
P2	0.20±0.20	0.19±0.02	2.21 (p=.05)
P3	0.17±0.01	0.17±0.01	-1.00 (p=.34)
P4	0.18±0.02	0.18±0.01	-0.80 (p=.44)
P5	1.10±0.28	2.47±0.51	**-8.59 (p=.01)***
Total time	2.58±0.46	4.00±0.55	**-9.18 (p=.01)***

*p<.05

Table 4. Maximum value of left and right (x-axis) speed of the center of gravity in the section (unit: m/s)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	t (p)
P1	0.10±0.06	0.09±0.03	0.18 (p=.86)
P2	0.18±0.06	0.19±0.04	-0.37 (p=.72)
P3	0.11±0.08	0.12±0.05	-0.40 (p=.70)
P4	-0.04±0.07	-0.03±0.02	-0.54 (p=.61)
P5	0.08±0.03	0.10±0.02	**-2.42 (p=.04)***

*p<.05, Right: +, Left: –

Table 5. Minimum value of velocity before and after the center of gravity (y-axis) in the section (unit: m/s)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	t (p)
P1	0.21±0.19	0.19±0.19	1.36 (p=.21)
P2	1.29±0.20	1.31±0.21	-0.51 (p=.62)
P3	1.37±0.20	1.36±0.23	0.14 (p=.89)
P4	1.25±0.18	1.27±0.21	-0.53 (p=.61)
P5	0.13±0.19	-0.15±0.10	**3.57 (p=.01)***

*p<.05, Anterior: +, Posterior: –

Table 6. Minimum value of vertical (z-axis) velocity of the center of gravity in the section (unit: m/s)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	t (p)
P1	-1.54±0.12	-1.52±0.15	-1.06 (p=.32)
P2	-0.43±0.17	-0.28±0.12	**-3.36 (p=.01)***
P3	-0.26±0.18	-0.22±0.15	-1.37 (p=.20)
P4	-1.67±0.17	-1.65±0.13	-1.40 (p=.19)
P5	-1.40±0.19	-1.38±0.21	-0.54 (p=.60)

*p<.05, Superior: +, Inferior: –

구간 별 왼쪽 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절 각과 각속도를 살펴보면 최대 엉덩관절 각이 P5 구간에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며(p<.05, Figure 3, Table 7), 최대 발목 및 무릎관절 각속도는 각 P2 구간(p<.05, Figure 5, Table 9)과 P4 구간(p<.05, Figure 4, 6, Table 8, 10)에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

Table 7. Maximum angle of left hip joint by section (unit: deg)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	t (p)
P1	108.29±5.84	110.51±4.82	-1.98 (p=.08)
P2	146.84±7.52	144.11±9.16	1.34 (p=.21)
P3	151.03±9.37	149.38±11.21	1.21 (p=.26)
P4	39.13±28.94	35.74±26.31	1.03 (p=.33)
P5	38.58±9.73	48.37±12.25	**-3.11 (p=.01)***

*p<.05, Flexion: +, Extension: –

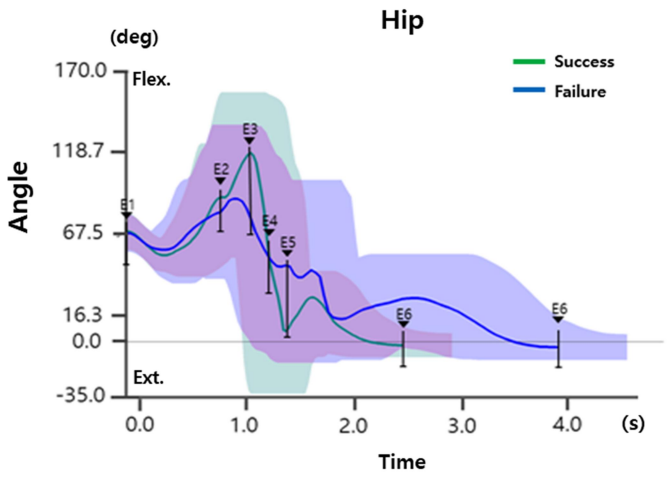

Figure 3. Hip angle.

Table 8. Maximum angular velocity of the left ankle joint by section (unit: deg/s)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	*t* (*p*)
P1	295.56±81.10	295.56±82.01	0.00 (*p*=1.00)
P2	88.36±37.20	89.80±39.52	-0.38 (*p*=.72)
P3	146.32±65.77	150.26±74.50	-0.26 (*p*=.80)
P4	91.38±35.86	135.79±63.75	**-2.45 (*p*=.04)***
P5	221.10±110.54	205.89±52.92	0.63 (*p*=.55)

*p<.05, Dorsi flexion: +, Plantar flexion: –

Table 9. Maximum angular velocity of the left knee joint by section (unit: deg/s)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	*t* (*p*)
P1	400.97±67.75	392.09±54.64	-1.32 (*p*=.22)
P2	-23.08±45.17	-45.28±48.43	**-2.29 (*p*=.05)***
P3	141.40±61.13	160.02±68.93	0.85 (*p*=.42)
P4	165.31±59.86	167.04±54.45	0.20 (*p*=.84)
P5	118.29±60.96	120.39±38.09	0.13 (*p*=.90)

*p<.05, Flexion: +, Extension: –

Table 10. Maximum angular velocity of the left hip joint per section (unit: deg/s)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	*t* (*p*)
P1	273.12±51.09	271.91±38.33	0.13 (*p*=.90)
P2	223.04±60.46	208.96±42.21	0.90 (*p*=.39)
P3	125.52±117.35	138.94±104.82	-0.65 (*p*=.53)
P4	267.93±74.85	326.87±81.22	**-2.44 (*p*=.04)***
P5	530.84±68.26	544.73±59.39	-0.77 (*p*=.46)

*p<.05, Flexion: +, Extension: –

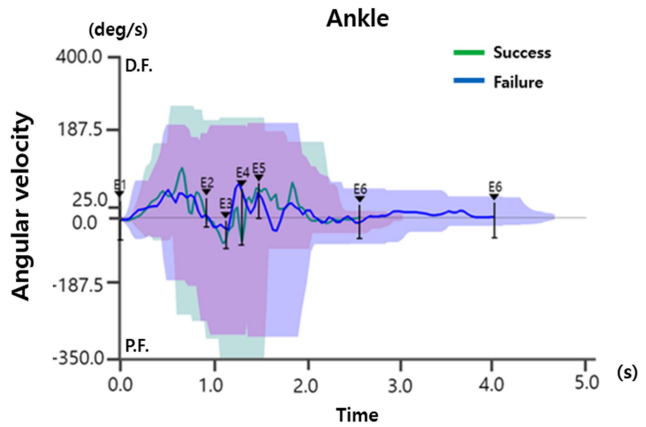

Figure 4. Angular velocity of the ankle joint.

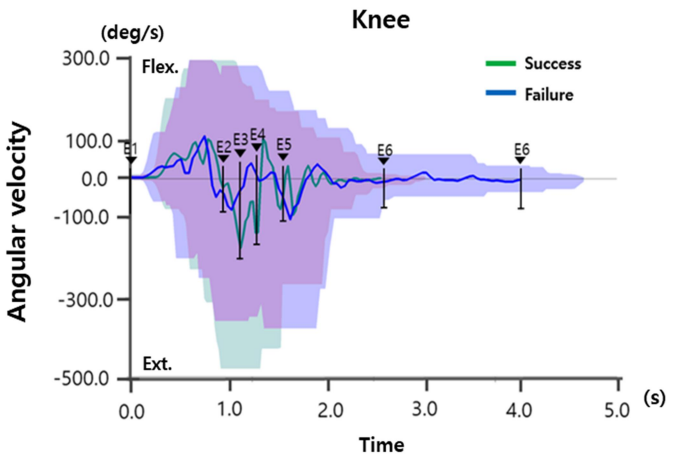

Figure 5. Angular velocity of the knee joint.

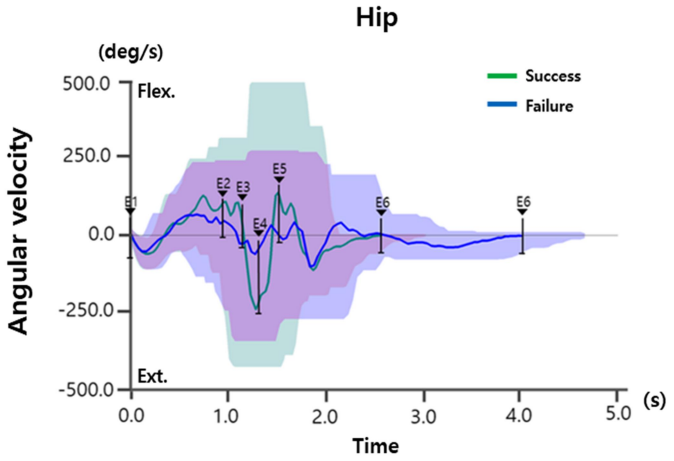

Figure 6. Angular velocity of the hip joint.

마지막으로 구간 별 근 활성도를 살펴보면, 왼쪽 넙다리곧은근, 내측 장딴지근의 근 활성도에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았지만(p<.05, Table 11, 13), 왼쪽 넙다리두갈래근의 근 활성도는 P5 구간에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p<.05, Table 12).

Table 11. Muscle activity of the left rectus femoris by section (unit: MVIC %)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	*t* (*p*)
P1	84.73±61.74	89.64±66.21	-1.07 (*p*=.31)
P2	138.55±80.39	122.18±52.97	1.20 (*p*=.26)
P3	163.23±58.08	169.73±92.24	-0.36 (*p*=.73)
P4	95.84±31.51	113.84±54.38	-1.25 (*p*=.24)
P5	44.42±21.95	43.36±24.98	0.19 (*p*=.85)

Table 12. Muscle activity of the left biceps femoris by section
(unit: MVIC %)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	*t* (*p*)
P1	7.13±3.88	6.83±3.58	0.95 (*p*=.37)
P2	19.94±12.86	19.74±12.29	0.05 (*p*=.96)
P3	31.67±16.06	31.03±19.10	0.27 (*p*=.79)
P4	27.50±16.78	32.03±23.50	-1.24 (*p*=.25)
P5	39.36±11.24	31.94±8.62	**5.23 (*p*=.01)***

*$p<.05$

Table 13. Muscle activity of the left calf muscle by region
(unit: MVIC %)

	Success (M ± SD)	Failure (M ± SD)	*t* (*p*)
P1	30.32±35.07	31.42±31.14	-0.25 (*p*=.81)
P2	100.69±68.49	86.00±52.73	1.05 (*p*=.32)
P3	160.37±66.73	166.28±73.91	-0.42 (*p*=.68)
P4	55.41±52.89	70.81±45.83	-1.04 (*p*=.33)
P5	93.52±48.19	97.17±33.54	-0.23 (*p*=.82)

DISCUSSION

본 연구는 평균대에서 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작의 성패에 따른 차이를 분석하여 기술의 정확한 수행과 실제 경기에서 성공 확률을 높이고자 동작 시 각 구간별 소요시간과 신체 무게중심 속도, 하지의 관절 각도 및 각속도, 근 활성도를 분석하였다.

한발 몸 펴 옆 공중돌기의 성패 동작의 구간 별 소요시간과 총 소요시간을 살펴보면, 착지 구간인 Phase 5(성공: 1.10±0.28초, 실패: 2.47±0.51초)와 총 소요시간(성공: 2.58±0.46초, 실패: 4.00±0.55초)에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 또한, 착지 구간인 Phase 5 구간에서 동작 실패 시 소요시간이 길게 나타났으며, 이 결과는 여자 기계체조 중고등학생 6명을 대상으로 한발 백핸드 동작을 성패에 대해 분석한 Sin (2016)의 연구결과와 비슷하게 나온 것으로 나타났다. 동작 실패 시 불안전한 착지 자세로 인해 완전한 동작을 이루지 못하고 중심을 잡아 착지 자세를 취하려고 소요시간이 더 길어진 것으로 볼 수 있으며, Phase 5 구간의 결과로 인해 성공 동작보다 실패 동작의 총 소요시간이 더 길어진 것으로 판단된다.

본 연구결과에서 성공적인 동작의 경우 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작 중 도약 구간인 다리를 차는 Phase 2 구간에서 상하(z축)의 신체 무게중심이 빠르게 하강하여 도약을 수행하는 것으로 나타났다. 여자 체조선수 3명을 대상으로 마루운동에서 한발 몸 펴 앞 공중돌기 동작을 분석한 An, Kim, Park & Kim (2000)의 연구결과 무릎의 반작용력을 이용해 상체를 더 빠르게 하강시켜야 한다고 보고하였으며, 한발 몸 펴 앞 공중돌기를 분석한 Lee (1989)도 마찬가지로 공중에서 회전을 할 때 앞으로 밀리지 않게 하기 위해 상체를 숙일 때 빠른 속도로 하강시켜야 한다고 보고하였다. 본 연구의 결과에서도 Lee (1989)와 An et al. (2000)의 연구결과와 같이 동작 성공 시 실패 시에 비해 신체 무게중심의 하강 속도가 더 빨랐으며 이는 상체를 더 빠르게 하강시키는 속도로 충분한 도약 높이를 얻은 후 빠르게 공중 자세를 만들어 주기 위해 나온 결과라고 판단된다. 또한, 수직 점프를 분석한 Kang (2013)과 제자리 멀리뛰기를 분석한 Lee (2018)의 연구결과를 보았을 때 도약을 하기 전 단계에서 동작 성공 시 무릎관절 각속도와 엉덩관절 각속도가 빠르게 나타났지만 본 연구에서는 동작 실패 시 무릎관절 각속도에서 빠르게 나타났으며, 이 결과는 다리를 차는 구간에서 지지하고 있는 다리를 충분히 눌러준 후 무릎관절을 빠르게 신전시켜 반대쪽 다리를 차야 하지만 동작 실패 시 지지하고 있는 다리를 충분히 누르지 않고 무릎관절을 빠르게 신전시켜 나온 결과라고 판단된다. 또한, 본 연구결과에서 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작 실패 시 도약 후 공중에서 평균대에 한발 착지를 하는 구간인 Phase 4 구간에서는 발목관절과 엉덩관절의 각속도가 더 빠르게 굴곡되는 것으로 나타났다. 공중에서 평균대에 한발 착지를 하는 구간인 Phase 4 구간에서 발목관절 각속도와 엉덩관절 각속도에서 빠르게 굴곡되는 자세가 나오면서 Phase 5 구간에도 영향을 미쳐 엉덩관절 각이 굴곡이 된 것으로 생각되며, 마지막 착지 구간에서 엉덩관절이 굴곡되는 자세로 착지가 되면서 착지 자세가 안정적이지 않아 성공적인 착지 자세가 나올 수 없게 된 것으로 판단된다. 또한, 마지막 착지 구간인 Phase 5 구간에서는 동작 실패 시 성공 시에 비해 신체 무게중심의 속도가 좌우, 전후에서 빠르게 움직이는 결과가 나타났다. So, Kim & Kim (2008)과 Sin (2016)의 연구결과에서는 평균대에서 백핸드 수완 동작의 성공과 실패를 분석한 결과 마지막 착지 구간에서 착지를 할 때 밸런스가 무너지는 결과가 나왔으며, 본 연구와 일치하는 것으로 나타났다. 이 결과는 동작 실패 시 마지막 착지 구간에서 밸런스가 무너져 성공적인 착지 동작이 나오지 않아 착지를 하기 위해 좌우와 전후로 크게 움직임을 나타낸 것으로 판단된다. 도약을 하기 전 평균대에 디디는 지지 발의 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 내측 장딴지근의 근 활성도를 비교 분석한 결과를 보면, 마지막 착지 구간인 Phase 5 구간의 넙다리두갈래근 근 활성도에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 동작 실패 시 넙다리두갈래근의 근 활성도가 움직임으로 인해(31.94%)로 나타났으며 동작 성공 시(39.36%)로 안정적이고 흔들림 없는 성공적인 착지를 하기 위해서는 넙다리두갈래근의 근 활성도를 크게 하여 착지를 해야 한다고 판단된다.

위 내용을 종합하면, 동작을 성공하기 위해 신체 무게중심의 속도를 빠르게 하강한 후 도약을 수행해야 충분한 도약 높이를 얻어 공중 자세를 빠르게 취할 수 있으며, 공중에서 한발 착지를 할 때 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절을 크게 굴곡시키지 않아야 신체가 평균대 위를 벗어나지 않고 동작을 수행할 수 있다. 또한, 마지막 착지하는 발인 넙다리두갈래근 근 활성도의 힘을 더 크게 쓰면서 착지준비를 해야 흔들림 없는 착지 동작을 수행할 수 있다고 판단된다.

CONCLUSION

본 연구는 평균대 위에서 수행되는 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작을 운동학적 요인 및 근 활성도 분석을 통해 성공 동작과 실패 동작의 요인을 비교 분석하여 기술의 정확한 수행과 성공 확률을 높이며, 부

상위험을 최소화하는데 기여하고자 하였다.

평균대에서 한발 몸 펴 옆 공중돌기 동작을 수행할 때 성공적이고 안정적인 착지를 하기 위해서는 도약을 하기 전 신체를 빠른 속도로 하강하여 지지하는 다리를 힘껏 눌러주며 도약을 수행해 빠르게 공중 자세를 만들 수 있도록 해야 하고 한발 착지를 하는 구간에서 크게 굴곡시키지 않은 자세를 취해야 하며, 마지막 착지 구간에서 넙다리두갈래근의 근 활성도를 크게 활성화시켜야 성공적이고 안정적인 착지 동작을 할 수 있는 것으로 나타났다. 추후 경기력 향상을 위해 경기 상황에서 기술의 완성도가 높은 우수선수들을 중심으로 분석이 요구되며, 평균대 종목의 다양한 기술과 점프, 턴 등에 대한 운동학적 및 운동역학적 분석을 통한 지속적인 연구의 필요성이 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is part of a master's thesis of Choong Min Jung.

REFERENCES

Aleksić-Veljković, A., Marković, K. Ž. & Milčić, L. (2019). The relationship between chosen kinematic parameters of the aerial cartwheel on the balance beam during skill learning. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, *11*(1), 18-23.

An, W. S., Kim, Y. G., Park, H. C. & Kim, H. Y. (2000). Kinematics analysis of the free workover forward stretched motion. *Korean Society of Sport Biomechanics*, *10*(1), 271-285.

Fédération Internationale de gymnastique. (2017). *Code of points Women's Artistic Gymnastics 2017-2020*. Retrieved from https://www.gymnastics.sport/publicdir/rules/files/en_WAG%20CoP%202017-2020.pdf.

Jung, S. W. & Pyo, N. S. (2009). The Effects of Gymnastics Self-Management on Self-Confidence. *Korean Journal of Sport Psychology*, *20*(4), 229-242.

Kang, S. W. (2013). *The Biomechanical Comparative Analysis of Skilled and Unskilled Male High School Students Between the Vertical Jump Gesture* [Unpublished Master's thesis]. The Graduate School Korea National University of Education.

Kendall, F. P., McCreary, E. K., Provance, P. G., Rodgers, M. & Romani, W. A. (2005). *Muscles: Testing and function, with posture and pain (Kendall, Muscles)*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Lee, C. S. (2018). *The Kinematics Comparison Analysis of Standing Long Jump Between the skilled and unskilled Female High School Students* [Unpublished Master's thesis]. The Graduate School Korea National University of Education.

Lee, G. J. & Kim, Y. R. (2002). A Study on the Reaction Force of Take - off Phase during Balance Beam Mounts Motion. *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women*, *16*(1), 49-55.

Lee, H. O. (1989). *Kinematic analysis of the movement of aerial walk-over forward on the balance beam* [Unpublished Master's thesis]. The Graduate School Ewha Womans University.

Min, A. Y., Yun, C. S. & Lee, J. H. (2011). Comparison of the Kinematic Factors between Skill Levels for Cross Jump in Balance Beam, *The Korean Journal of Sport*, *9*(4), 205-219.

Park, S. H. (2016). *The Relationship Among Athletic Stress, Stress Coping, And Dropout Intention in Artistic Gymnastic Players* [Unpublished Master's thesis]. The Graduate School Dankook University.

SENIAM Recommendation-Sensor Locations. Sensor Locations. Retrieved from http://www.seniam.org.

Sin, J. M. (2016). *Kinematic Factors of Acro Motion on Balance Beam in the Gymnasts* [Unpublished Master's thesis]. The Graduate School Kangwon National University.

So, J. M., Kim, Y. J. & Kim, Y. S. (2008). Examination of the Flick-Flack Salto Backward Stretched of Success and Fall Occurs on the Balance Beam. *Korean Society of Sport Biomechanics*, *18*(1), 137-146.

Yeo, H. C. & Jang, J. K. (2008). Kinetic Analysis of the Salto Side-Ward Tucked on the Balance Beam. *Korean Society of Sport Biomechanics*, *18*(3), 61-69.

Yu, J. W. (2015). *Analysis of the Sports Injury Status and Cause of Gymnasts* [Unpublished Master's thesis]. The Graduate School Chonnam National University.

Yun, H. J., Ryu, J. S., Kim, D. M. & Kim, Y. R. (2000). The Kinematic Analysis of Forward Somersault on Balance Beam. *Korean Society of Sport Biomechanics*, *9*(2), 291-305.