

평균대 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 기술의 운동역학적 분석

김규완¹ · 류 영¹ · 전경규²

¹인천대학교 예술체육대학 체육학과 · ²인천대학교 예술체육대학 스포츠과학연구소

A Kinetics Analysis of Tucked Backward Salto on the Balance Beam

Kew-Wan Kim¹ · Young Ryu¹ · Kyoung-Kyu Jeon²

¹Department of Physical Education, College of Arts and Physical Education, University of Incheon, Incheon, Korea

²Sport Science Institute, College of Arts and Physical Education, University of Incheon, Incheon, Korea

Received 31 October 2012; Received in revised form 30 December 2012; Accepted 29 December 2012

ABSTRACT

This study was to perform the kinetic analysis of tucked backward salto on the balance beam. Eight women's gymnastics players(age: 15.88±2.45 yrs, career: 6.38±0.52 yrs, height: 152.38±7.35 cm, weight: 44.25±7.54 kg) of the I-region participated in this study. The kinematic variables were analyzed response time of motion, angle, velocity, acceleration and the kinetic variables were analyzed ground reaction force(GRF) of motion. For measure and analysis of kinematic and kinetic variables of this study, used to synchronized to 6 Eagle camera and 1 force plate, used to the Cortex(Ver. 1.0) for analyzed of variables. The results were as follows; To the kinematic variables of tucked backward salto on the balance beam, a time appeared longer landing than air rotation, changes of angle regulated segment of body smaller moment of inertia when air rotation, larger moment of inertia when releasing and landing. A velocity appeared fast motion when releasing and air rotation of body, but appeared more decelerations from landing and acceleration showed to be tended to velocity. A GRF appears jump more than twice the weight at the moment that showed the power of motion to all subject.

Keywords : Balance Beam, Tucked Backward Salto, Kinetic Analysis

I. 서 론

기계체조의 여자 종목은 도마와 이단평행봉, 평균대 그리고 마루운동 4종목으로 분류되어 있으며(Federation Internationale de Gymnastique(FIG), 2011), 각 종목에서의 공중돌기 기술은 서로 다른 형태로 구성되어 있다. 공중돌기 기술수행 시 몸의 구부림 정도와 동작의 정확도 그리고 신체의 투사높이 등이 경기력의 결정에 중요하게 작용한다(Park, 2008).

이 중 여자 종목 중 평균대 운동은 신체의 평형성, 조정력, 유연성, 민첩성 등의 능력을 길러주는 운동이지만(Yoon, Ryu,

Kim & Kim, 2000), 높이 1.25 m, 길이 5 m, 너비 0.1 m의 좁은 지지면 위에서 균형을 유지하며 동적으로 움직이는 운동을 안정적으로 수행해야 하기 때문에 실수율이 매우 높은 종목이다. 최근 개정된 평균대 종목의 연기구성의 필수 그룹 요구 조건(ECR-element group requirements)에서는 립(leap)과 턴(turn), 앞 또는 옆 회전 아크로(acro forward-side), 뒤 회전 아크로(acro backward) 그리고 내리기(dismounts)의 다섯 가지 요소를 포함시켜 구성하도록 규정하고 있다(FIG, 2011).

특히, 뒤 회전 아크로 동작은 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기와 제자리 무릎 펴 뒤공중돌기 그리고 제자리 몸펴 뒤공중돌기 등의 단일 기술과 손짚고 뒤돌아 무릎 구부려 뒤공중돌기와 손짚고 뒤돌아 몸펴 뒤공중돌기 그리고 손짚고 뒤돌아 몸펴 뒤공중돌기를 2번 수행하는 연속적인 기술 형태를 가지고 있다. 연속 동작의 경우에는 손짚고 뒤돌기 시 속도와 힘을 이용하여 뒤공중돌기를 수행하지만 제자리 공중돌기는 지면반력을 이용

Corresponding Author : Young Ryu
Department of Physical Education, College of Arts and Physical Education, University of Incheon, Incheon, Korea, 12-1 Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon, Korea
Tel : +82-32-835-4666 / Fax : +82-32-835-0788
E-mail : gym04@hanmail.net

하여 도약 시 얻은 신체중심의 높이와 신체의 각 분절들의 관성모멘트를 줄이거나 각속도를 증가시키고, 회전속도를 조절하여 안전하게 착지를 수행해야 한다. 지면에서의 뒤공중돌기 기술은 운동역학적 수직높이는 높게 하고 회전속도는 빠르게 하는 것이 비행 거리를 감소시켜 성공적으로 수행할 수 있으며, 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 기술은 수평이동거리를 감소시키고 수직높이를 증가시키는 것이 성공적인 기술수행을 위해 가장 중요하다 보고하였다(Kim & Jin, 1995).

마루운동에서 뒤공중돌기의 경우 Kwon(2011)은 국가대표선수들의 뒤 공중돌기 시 tucked, piked, stretched 착지동작의 분석에서 충분한 체공시간은 성공적인 착지동작을 수행하는데 있어 매우 중요하다고 밝혔고, Chung(2007)은 마루운동 제자리 뒤공중돌기 기술을 운동학적으로 분석하여 실패 시 보다 성공 시기에 신체의 투사 높이가 높고, 속도가 빠르게 나타나 안정된 착지를 하였다고 보고하였다. Han(2004)은 뒤 공중돌기 유형별 착지동작의 성공요인을 분석한 연구에서는 공중국면 시 신체의 관성모멘트를 줄여 회전속도를 증가시켜야 하고, 착지국면 시에는 신체의 관성모멘트를 증가시켜 회전 속도를 감소시켜야 하는 것으로 나타났다. 평균대와 관련된 선행연구 중 오르기 동작을 도움줄고 폼퍼 뒤공중돌기로 수행한 여러 연구의 결과 뒤공중돌기 시 회전속도를 증가시켜 비행거리는 짧게 해야 하며, 뒤공중돌기 기술에서 가장 중요한 것은 수평이동거리 보다 수직높이로 의해 이에 성공적인 착지를 할 수 있다고 보고하였다(Lee & Kim, 2002; Choi, 1992; Kwon, Fortney, & Shin, 1990; Elliott, & Mitchell, 1991). 지금까지의 선행연구들은 기본 동작인 뒤공중돌기 기술을 정확하고 안정적으로 수행하기 위한 정보를 제공하기 위하여 평지에서 대부분 이루어져 실제 평균대에서의 기술 수행 능력을 향상 시키는데 크게 도움이 되지 않았다. 또한, 선행연구에서 분석된 요인들이 운동학적 분석에 그치고 있어 평균대 위에서의 뒤공중돌기와 관련된 정보가 상당히 미흡한 실정이다. 따라서 이 연구는 여자체조 평균대 종목의 기본 기술 중 하나인 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 동작에 대한 선행연구들의 미흡한 부분을 보완하고자 실제 경기 상황과 유사한 0.7 m 높이의 평균대 위에서 운동역학적 방법으로 실시하였다. 이러한 과학적 연구를 통해 동작 수행의 안정성 확보와 기술수준의 신장과 함께 선수들의 경기력을 향상시키고, 평균대 종목 수행에 있어 과학적이고 구체적인 정보를 제공하는 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

이 연구의 대상은 I지역 여자체조 대표선수 중 전국규모의 경기에서 입상경력이 있는 선수 8명을 목적표집 방법으로 선정하였다. 측정 전 대상자들에게 연구의 목적과 방법에 대해 설명하였으며 참여 동의서를 받고 연구를 실시하였다. 연구에 참여한 대상자는 평균 연령은 15.88 ± 2.45 yrs, 선수경력 6.38 ± 0.52 yrs, 신장 152.38 ± 7.35 cm, 체중 44.25 ± 7.54 kg으로 나타났다.

2. 실험 장비

이 연구에서는 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 동작을 분석하기 위해 평균대(Spieth, Sweden)와 동작분석 카메라(6 Eagle camera, Motion Analysis Corp., USA), 반사 마커 (9.5mm, Motion Analysis Corp., USA) 그리고 지면반력기 (OR6-5-2000, AMTI Inc., USA)를 사용하였다. 촬영한 동작의 분석을 위한 프로그램은 Cortex (Ver. 1.0, Motion Analysis Corp., USA)를 사용하였으며, 이때 카메라의 샘플링 비율은 120 frames/sec로 설정하였다.

3. 실험 절차

실험 전 운동역학적 요인에 관한 자료를 획득하기 위해 평균대와 지면반력기의 높이를 일치시키기 위하여 0.62 m의 상자를 제작하여 사용하였다. 높이 1.25 m, 길이 5 m, 너비 0.1 m의 평균대 2대를 0.7 m로 낮추어서 지면반력기 사이에 설치하였고, 실험 중 피험자들의 낙상으로 인한 부상을 막기 위해 평균대 밑으로 고무매트를 약 0.35 m 높이로 하여 설치하였다. 카메라는 측정 장소의 앞·뒤쪽으로 3대씩 고정시켜 동작이 이루어지는 모든 면을 충분히 촬영할 수 있도록 설치하였다. 카메라를 통해 얻은 각 관절점의 좌표는 Cortex 프로그램을 이용하여 운동학적 및 역학적 변인들을 분석하였고, 분석구간의 정확한 좌표설정을 위해 Calibration을 실시하였다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 동작의 영상자료 수집을 위한 실험장비의 배치는 <Figure 1>과 같다.



Figure 1. Balance beam arrangement

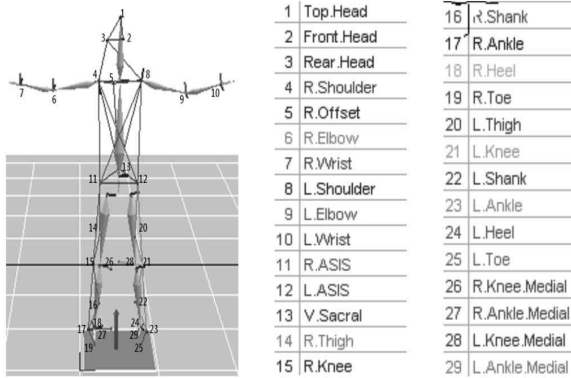


Figure 2. Markers Position

실험 전에 각각의 카메라와 지면반력기 간의 동조는 A/D 컨버터(NI-USB 6218, National Instruments, Hungary)를 활용하여 통제하였다. 정확한 분석을 위해 모든 피험자들에게 피부에 밀착된 타이즈를 입고 <Figure 2>와 같이 인체관절 중심의 좌표화를 위해 반사마커 29개를 부착하여 정적자세를 촬영하였다. 실제 동적자세인 뒤공중돌기 기술 수행 시에는 좌우 인쪽의 무릎과 발목에 부착된 4개의 마커를 제거하고 총 25개의 반사마커를 활용하여 촬영 및 분석에 사용하였다. 측정 전 동작을 충분히 연습한 후 실제 경기 때와 같이 평균대 위에서 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기를 수행하였다. 국내 심판자격이 있는 여자심판과 코치가 흔들림 없이 성공적으로 착지한 동작을 성공한 동작으로 선정하였고, 이를 분석에 사용하였다.

4. 자료 분석

1) 분석 요인

(1) 시간요인

시간요인은 지면의 지지 반응시간과 각 국면별 소요시간을 산출하였다.

(2) 각도요인

각도요인은 지지하는 양쪽 다리의 골반각, 엉덩각, 무릎각 및 발목각을 산출하였다. 이를 위해 골반각과 무릎각은 두 분

절이 이루는 상대각으로 정의하였고, 엉덩각은 수직축과 몸통이 이루는 절대각, 발목각은 디딤발의 분절중심점과 신체중심점을 잇는 벡터와 수직축과 이루는 절대각으로 산출하였다.

(3) 속도요인

속도요인은 몸통, 골반, 무릎 및 발목의 인체 관절점의 3차원 좌표를 이용하여 각 국면별 신체중심의 수평 및 수직속도를 산출하였다.

(4) 가속도요인

가속도요인은 몸통, 골반, 무릎 및 발목의 인체 관절점의 3차원 좌표를 이용하여 각 국면별 신체중심의 수평 및 수직속도를 산출하였다.

(5) 지면반력

지면반력 요인은 지면반력기 위에 스탠스 자세에서 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 동작 시 지면에 가해지는 수직 최대지면반력(Fz) 값을 분석하였다. 한편 자료의 처리에서 지면반력 값은 각 선수들의 체중 값으로 나누어 표준화 하였다.

2) Event

- Event1 : 지면반력기 위에서 들어 올린 팔을 내리는 시점
- Event2 : 두 무릎을 최대한 구부러 앉은 시점
- Event3 : 지면반력기 위에서 두 발이 떨어지는 시점
- Event4 : 공중에서 엉덩이와 머리가 수평이 되는 시점
- Event5 : 두 발이 평균대에 닿아 착지하는 시점

3) Phase

- Phase1 : 팔을 내리는 시점부터 두 무릎을 최대한 구부러 앉은 시점까지
- Phase2 : 구부러 앉은 시점부터 지면반력기에서 두 발이 떨어지는 시점까지
- Phase3 : 지면반력기에서 두 발이 떨어지는 시점부터 공중에서 엉덩이와 머리가 수평이 되는 시점까지
- Phase4 : 엉덩이와 머리가 수평이 되는 시점부터 두 발이 평균대에 닿아 착지하는 시점까지

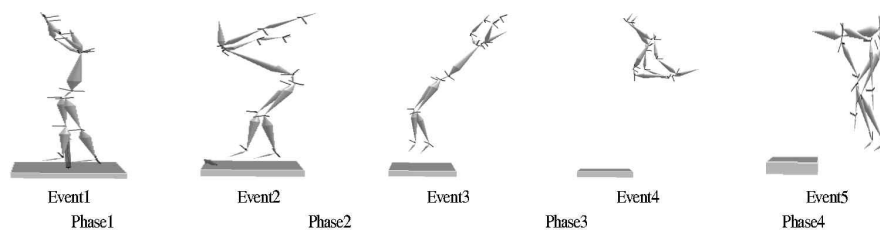


Figure 3. Phases and Events

이 연구의 주요 분석 구간은 <Figure 3>과 같이 5개의 Event와 4개의 Phase으로 동작을 하기위해 발을 딛고 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 후 착지하는 동작까지이며 세부적인 설정은 다음과 같다.

5. 통계 처리

이 연구에서 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 동작 수행에 대한 운동학적 및 운동역학적 요인 값을 구하였다. 구체적으로 동작 시의 시간요인, 각도요인, 속도요인, 가속도요인 및 지면반력 등에 관한 자료를 Windows용 통계분석 프로그램인 PASW(Ver. 18.0, SPSS Inc., USA)를 이용하여 각 변인의 평균 및 표준편차를 Event와 Phase별로 산출하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 소요시간

평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기의 전체 소요 시간은 <Table 1>과 <Figure 4>와 같다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 수행시간을 Phase별로 살펴보면 Phase1에서 평균 0.88±0.20 sec, Phase2에서 평균 0.21±0.07 sec, Phase3에서 평균 0.23±0.04 sec, Phase4에서 평균 0.34±0.02 sec으로 나타났고, Total은 평균 1.66±0.20 sec로 나타났다.

Table 1. Time facto (unit: sec)

| | Phase1 | Phase2 | Phase3 | Phase4 | Total |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Time | 0.88 ±0.20 | 0.21 ±0.07 | 0.23 ±0.04 | 0.34 ±0.02 | 1.66 ±0.20 |

Values are *M*±*SD*

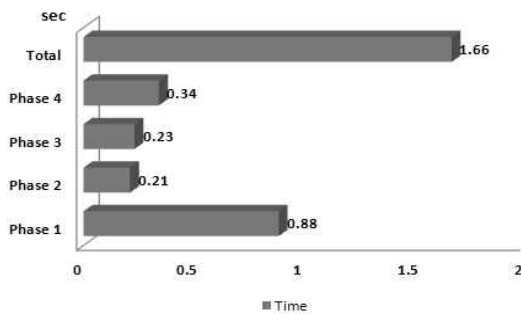


Figure 4. Time factor

2. 각도요인

본 실험의 X축을 전후로 봤을 때 진행방향을 음의 값(-), 진

Table 2. Pelvic and Hip angle (unit: deg)

| | Phase1 | Phase2 | Phase3 | Phase4 | Total |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Pelvis | -90.25 ±4.71 | -90.43 ±4.05 | -89.75 ±7.57 | 88.57 ±5.42 | -91.03 ±4.88 |
| Hip | -4.05 ±4.33 | 0.79 ±5.21 | 0.93 ±3.53 | 1.14 ±3.57 | -5.14 ±4.54 |

Values are *M*±*SD*

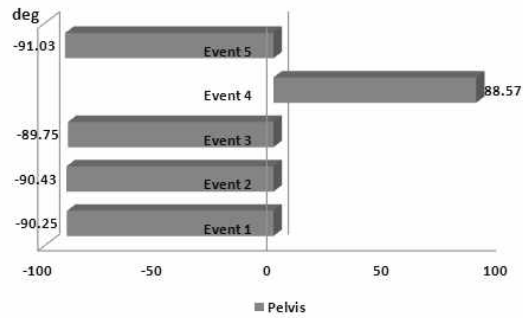


Figure 5. Pelvis angle

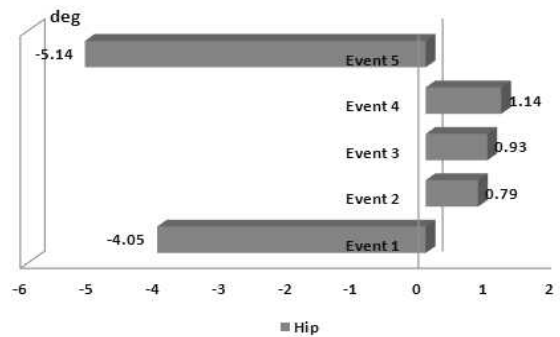


Figure 6. Hip angle

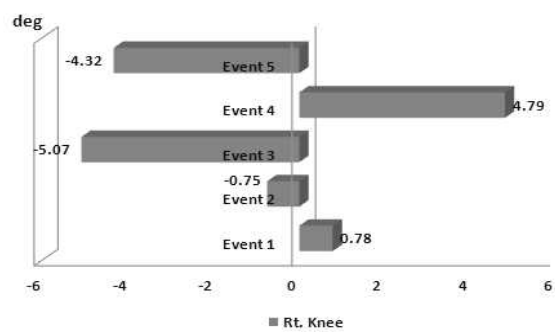


Figure 7. Right Knee

행반대 방향을 양의 값(+)으로 나타내고 있으며, 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기의 각도요인은 <Table 2, 3>과 <Figure 5, 6, 7, 8, 9, 10>과 같다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 골반각을 Event 별로 살펴보면 E1에서 평균 -90.25±4.71 deg, E2에서 평균 -90.43±4.05 deg, E3에서 평균 -89.75±7.57 deg, E4에서 평균 88.57±5.42 deg, E5에서 평균 -91.03±4.88 deg로 나타났다.

Table 3. Knee and Ankle angle

(unit: deg)

| | Event1 | | Event2 | | Event3 | | Event4 | | Event5 | |
|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| | Right | Left | Right | Left | Right | Left | Right | Left | Right | Left |
| Knee | 0.78 ±5.34 | -1.50 ±5.62 | -0.75 ±3.51 | 2.87 ±6.45 | -5.07 ±5.68 | 7.87 ±4.05 | 4.79 ±4.76 | -9.93 ±3.56 | -4.32 ±4.52 | 3.58 ±3.12 |
| Ankle | 16.62 ±4.705 | -9.09 ±2.81 | 12.37 ±6.41 | -7.18 ±4.71 | 22.03 ±5.25 | -15.61 ±3.67 | 17.78 ±8.48 | -10.16 ±5.18 | 2.49 ±9.98 | 4.93 ±8.33 |

Values are M±SD

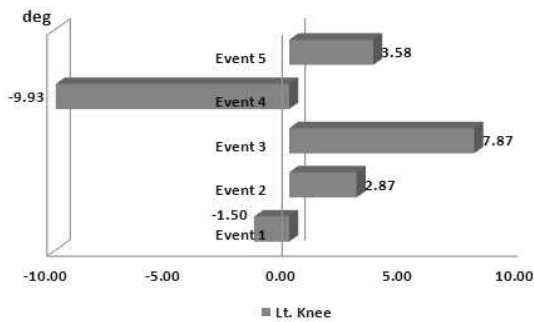


Figure 8. Left Knee

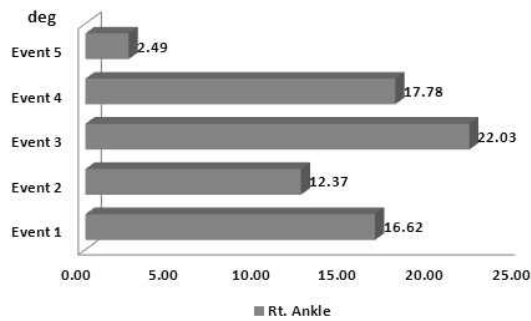


Figure 9. Right Ankle

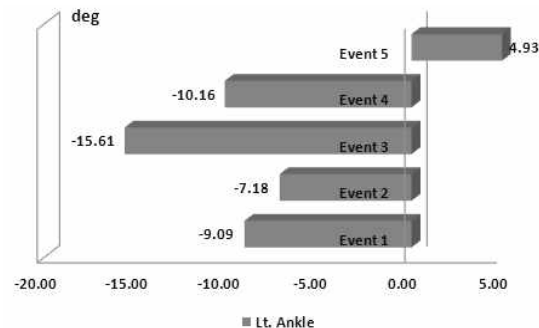


Figure 10. Left Ankle

또한, 엉덩각을 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 -4.05±4.33 deg, E2에서 평균 0.79±5.21 deg, E3에서 평균 0.93±3.53 deg, E4

에서 평균 1.14±3.57 deg, E5에서 평균 -5.14±4.54 deg로 나타났다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 양쪽의 무릎각을 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 Right 0.78±5.34 deg, Left -1.50±5.62 deg, E2에서 평균 Right -0.75±3.51 deg, Left 2.87±6.45 deg, E3에서 평균 Right -5.07±5.68 deg, Left 7.87±4.05 deg, E4에서 평균 Right 4.79±4.76 deg, Left -9.93±3.56 deg, E5에서 평균 Right -4.32±4.52 deg, Left 3.58±3.12 deg로 나타났다.

3. 속도요인

평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기의 속도요인은 <Table 4, 5>와 <Figure 11, 12, 13, 14, 15, 16>과 같다.

평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 골반속도를 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 0.02±0.03 m/sec, E2에서 평균 0.30±0.10 m/sec, E3에서 평균 -0.16±0.16 m/sec, E4에서 평균 -0.16±0.25 m/sec, E5에서 평균 1.77±0.58 m/sec로 나타났다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 엉덩속도를 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 0.06±0.43 m/sec, E2에서 평균 0.09±0.11 m/sec, E3에서 평균 -0.36±0.24 m/sec, E4에서 평균 0.63±0.27 m/sec, E5에서 평균 1.34±0.37 m/sec로 나타났다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 양 무릎 속도를 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 Right -0.01±0.05 m/sec, Left -0.01±0.04 m/sec, E2에서 평균 Right -0.03±0.10 m/sec, Left 0.08±0.10 m/sec, E3에서 평균 Right -0.14±0.31 m/sec, Left -0.15±0.31 m/sec, E4에서 평균 Right 4.71±0.70 m/sec, Left 4.86±0.70 m/sec, E5에서 평균 Right -0.77±0.45 m/sec, Left -0.61±0.31 m/sec로 나타났다.

Table 4. Pelvic and Hip velocity

(unit: m/sec)

| Variable | Event1 | Event2 | Event3 | Event4 | Event5 |
|----------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| Pelvis | 0.02 ±0.03 | 0.30 ±0.10 | -0.16 ±0.16 | -0.16 ±0.25 | 1.77 ±0.58 |
| Hip | 0.06 ±0.43 | 0.09 ±0.11 | -0.36 ±0.24 | 0.63 ±0.27 | 1.34 ±0.37 |

Values are M±SD

Table 5. Knee and Ankle velocity

(unit: deg)

| | Event1 | | Event2 | | Event3 | | Event4 | | Event5 | |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | Right | Left | Right | Left | Right | Left | Right | Left | Right | Left |
| Knee | -0.1±0.05 | -0.1±0.04 | -0.03±0.10 | .08±0.10 | -0.14±0.31 | -0.15±0.31 | 4.71±0.70 | 4.86±0.70 | -0.77±0.45 | -0.61±0.31 |
| Ankle | -0.02±0.03 | -0.04±0.04 | -0.01±0.01 | -0.02±0.02 | -0.58±0.40 | -0.21±0.33 | 4.06±2.03 | 4.07±2.00 | -0.17±0.21 | -0.13±0.17 |

Values are M±SD

4. 가속도요인

평균대 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기의 가속도요인은 <Table 6, 7>과 <Figure 17, 18, 19, 20, 21, 22>와 같다.

평균대 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 시 골반가속도를 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 0.42±0.50 m/sec², E2에서 평균 0.17±6.75 m/sec², E3에서 평균 26.18±11.38 m/sec², E4에서

Table 6. Pelvis and Hip acceleration

(unit: m/sec²)

| | Event1 | Event2 | Event3 | Event4 | Event5 |
|--------|---------------|---------------|-----------------|----------------|------------------|
| Pelvis | 0.42 ±0.50 | 0.17 ±6.75 | 26.18 ±11.38 | -1.61 ±7.17 | -22.23 ±11.87 |
| Hip | 0.29 ±0.44 | 1.21 ±5.37 | 32.47 ±4.44 | 1.08 ±5.52 | -16.43 ±7.78 |

Values are M±SD

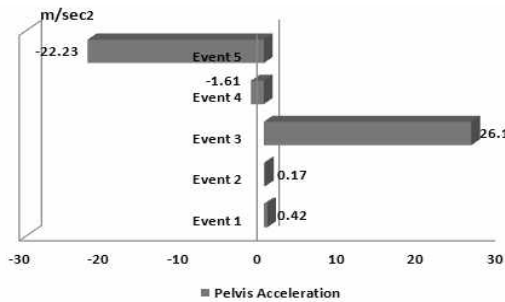


Figure 17. Pelvis Acceleration

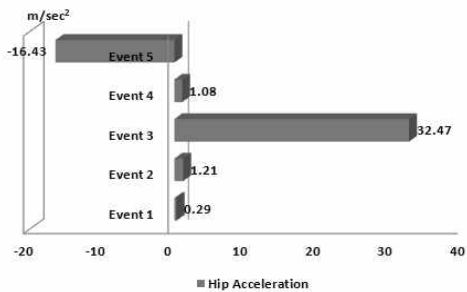


Figure 18. Hip Acceleration

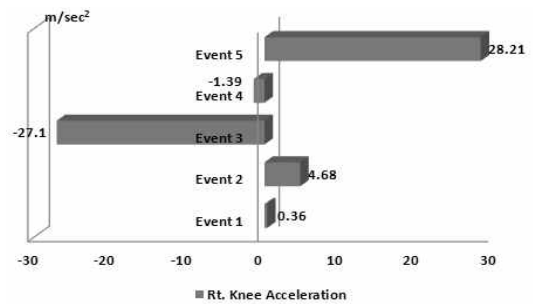


Figure 19. Right Knee acceleration

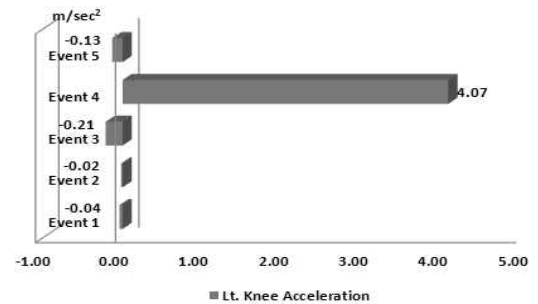


Figure 20. Left Knee acceleration

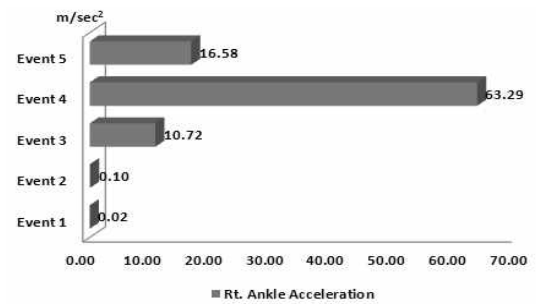


Figure 21. Right Ankle acceleration

평균 -1.61±7.17 m/sec², E5에서 평균 -22.23±11.87 m/sec²로 나타났다. 한편 평균대 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 시 엉덩가속도를 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 0.29±0.44 m/sec², E2에서 평균 1.21±5.37 m/sec², E3에서 평균 32.47±4.44 m/sec², E4에서 평균 1.08±5.52 m/sec², E5에서 평균 -16.43±7.78 m/sec²로 나

Table 7. Knee and Ankle acceleration

(unit: deg)

| | Event1 | | Event2 | | Event3 | | Event4 | | Event5 | |
|-------|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | Right | Left | Right | Left | Right | Left | Right | Left | Right | Left |
| Knee | 0.36 ±0.26 | -0.04 ±0.04 | 4.68 ±2.80 | -0.02 ±0.02 | -27.10 ±8.75 | -0.21 ±0.33 | -1.39 ±20.21 | 4.07 ±2.00 | 28.21 ±6.06 | -0.13 ±0.17 |
| Ankle | 0.02 ±0.26 | 0.02 ±0.06 | 0.10 ±0.69 | 0.07 ±0.65 | 10.72 ±10.59 | 19.30 ±10.38 | 63.29 ±14.67 | 65.62 ±15.36 | 16.58 ±9.44 | 1.66 ±9.96 |

Values are M±SD

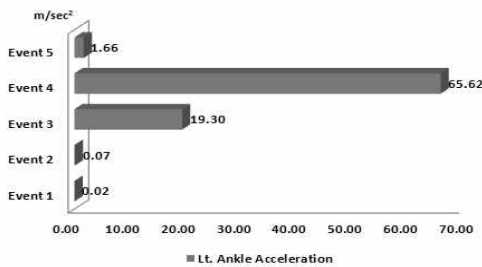


Figure 22. Left Ankle acceleration

타났다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 양 무릎 가속도를 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 Right 0.36±0.26 m/sec², E5에서 평균 Right 28.21±6.06 m/sec², Left -0.13±0.17 m/sec²로 나타났다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 양 발목 가속도를 Event별로 살펴보면 E1에서 평균 Right 0.02±0.26 m/sec², Left 0.02±0.06 m/sec², E2에서 평균 Right 0.10±0.69 m/sec², Left 0.07±0.65 m/sec², E3에서 평균 Right 10.72±10.59 m/sec², Left 19.30±10.38 m/sec², E4에서 평균 Right 63.29±15.36 m/sec², Left 65.62±15.36 m/sec², E5에서 평균 Right 16.58±9.44 m/sec², Left 1.66±9.96 m/sec²로 나타났다.

5. 지면반력요인

평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기의 지면반력요인은 <Table 8>과 <Figure 23>과 같다.

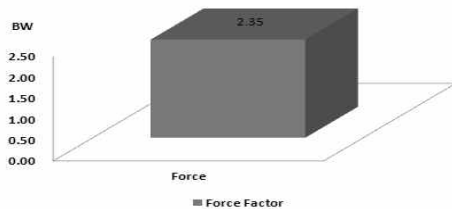


Figure 23. Forces factor

Table 8. Forces factor

(unit: BW)

| | |
|--------|-----------|
| Forces | 2.35±0.61 |
|--------|-----------|

Values are M±SD

IV. 논의

공중돌기 동작의 안정된 연기를 위해서는 도약을 통한 충분한 체공시간을 확보하는 것이 필요하며, 이는 도약 시 신체중심의 수직속도와 신체중심의 높이에 의해 결정된다(Yoon & Min, 2011). 안정적인 공중돌기 동작과 관련하여 주요 관절의 운동학적 분석은 이루어졌으나, 종목의 중요성에도 불구하고 평균대 위에서 동작의 기술을 분석하는 연구는 미흡하였다. 특히 충분한 체공시간으로 안정된 동작과 착지에 이르는 기술수행과 관련된 운동역학적 연구는 상당히 부족하다. 평균대 종목의 운동학적 및 운동역학적 분석을 활용한 본 연구의 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 수행 시 전체 소요시간을 보았을 때 P1이 가장 길게 소요됐고, P4, P3, P2 순으로 나타났다. 이러한 결과는 매트가 아닌 평균대 위에서 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기를 수행하기 때문에 몸의 흔들림을 최소화 줄이기 위해서 준비과정이 길게 이루어진 것으로 사료된다. 또한 P3는 P2에서 지면반력의 힘을 이용하여 신체중심을 높게 투사시켜 체공시간이 길게 나타난 것으로 판단된다. Chung (2007)은 상비군 남자 체조선수 3명을 선정하여 마루운동 제자리 뒤공중돌기 동작의 수행시간을 연구한 결과 성공 시 실패 시 보다 준비구간과 체공구간의 시간이 길게 나타내며 유의한 차이가 났다고 보고하였다. Kim & Jin(1995)은 경력 5~6년 고등학교 체조선수 5명을 선정하여 뒤공중돌기 동작의 수행시간을 연구하였다. 그 결과 비행구간이 전체동작 수행시간의 43 %, 준비구간은 전체동작 수행시간의 41.2 %를 보이며 전체소요시간의 대부분을 차지한 것으로 나타났다. 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기에 대한 준비과정에 대해 Kim & Jin(1995)의 연구에서는 공중구간이 전체소요시간 중에 가장 길게 소요된 국면으로 차이를 보였다. 이러한 결과는 앞에서 설명 하였듯이 매트가 아닌 평균대 위에서 실험동작을 수행하였기 때문에 경기상황과 유사했음으로 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 연구대상자들은 준비과정에서 더욱 신중함을 보여준 것으로 사료된다. 한편 평균대 제자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 시 P2는 신체중심을 높게 투사시키기 위해 쪼그려 앉은 자세에서 빠르게 지면을 밀고 일어났기

때문에 동작 수행 시 가장 짧은 소요시간의 구간으로 나타났다. 이러한 본 연구의 결과는 Chung(2007)과 Kim & Jin(1995)의 연구와 같이 지면에서 발이 떨어져 신체중심을 공중으로 투사시키는 힘의 생성구간이 가장 짧게 소요되는 연구결과와 일치하는 것으로 생각되었다.

이와 같이 평균대 체자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 동작을 성공적으로 수행하기 위해서는 신체중심을 빠르고 높게 공중으로 투사시켜야 착지 시 공중회전속도를 감속시킬 수 있는 여유를 가질 수 있어 안정된 착지를 할 수 있는 것으로 사료된다. 평균대 체자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 동작은 신체를 적당히 뒤로 젖히는 동작이지만 동시에 신체를 높게 투사시키는 동작이다. E1-E2까지는 상체의 움직임이 위, 아래 및 뒤로 작게 움직이지만 E4에서는 회전력을 증가시키기 위해서 골반을 최대한 굴곡시켜 진행방향으로 많이 흐르지 않게 해야 함으로 골반각이 양의 값으로 나타난 것으로 생각된다.

또한 E5에서 골반각이 다시 음의 값을 나타낸 것은 무릎을 완만히 굴곡시켜 무게중심을 낮추고 숙여진 상체를 적당히 세워 안정된 착지를 해야 함으로 골반을 진행방향으로 움직인 것으로 사료된다. 평균대 체자리 무릎 구부러 뒤공중돌기는 신체를 공중으로 투사시키는 과정에서 보면 신체는 어느 정도 백아치 자세를 이루어야 회전속도를 낼 수 있다. 이렇듯 E3는 허리에서 백아치 자세를 보였기 때문에 엉덩이는 진행반대방향으로 진행했고, E4에서는 동작이 뒤로 흐르기보다 체자리에서 공중돌기가 이루어졌기 때문에 E3와 E4가 양의 값을 나타낸 것으로 사료된다. Kwon(2011)은 국가대표선수 5명을 대상으로 뒤공중돌기 tucked, piked, stretched 착지동작의 비교 연구 중 tucked 동작은 본 연구 동작과 같은 동작이다. Kwon(2011)의 연구결과 골반각은 신체중심이 최고점 시 $88 \pm 18.55 \text{ deg}$ 으로 본 연구와 비슷한 경향을 보였다. 한편 착지 시 골반각은 $119 \pm 2.35 \text{ deg}$ 로 나타났다. 이는 국가대표 선수들이 착지 시 상체를 많이 숙이지 않아도 안정된 착지를 보여준 것으로 사료된다. Han(2004)의 뒤공중돌기 유형에 따른 착지동작의 성공요인 연구에서도 국가대표 기계체조선수 4명을 선정하여 뒤공중돌기를 연구한 결과 최고점 시 골반각은 $85 \pm 16.66 \text{ deg}$ 으로 본 연구와 유사한 경향을 보였다. 또한 본 연구 결과의 무릎과 발목관절의 각도에서와 같이 E2에서 무릎과 발목이 굴곡된 자세에서 중심이 앞으로 많이 치우치지 않게 이상적인 자세를 취한 것을 알 수 있었다.

그러나 E3 굴곡된 무릎과 발목을 신전시켜 신체를 공중으로 투사시키는 과정에서 무릎과 발목이 완전히 신전되지 않았으며, E4에서는 무릎을 굴곡시켜 몸을 최대한 작게 움츠려야 회전속도를 증가시켜 착지 시 여유롭게 몸을 제어해야 하는데 그렇지 못한 것으로 보여졌다.

Han(2004)는 남자국가대표 기계체조선수 4명을 대상으로 뒤공중돌기 유형에 따른 착지동작 분석의 연구결과 공중돌기 후

착지 시 슬관절을 완만하게 굴곡 시켜 신체를 제어시키는 것이 매우 중요하다고 보고하였다. 평균대 체자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 수행 준비과정에서는 한쪽 발을 뒤로 적당히 빼놓고 뒤공중돌기를 수행해야 한다. 하지만 공중돌기 후 다시 평균대 위로 착지할 때는 몸의 중심을 정확히 잡기 위해서 두 발이 동작을 처음 시작할 때 보다는 모아지게 된다. 본 연구도 E1-E4까지는 뒤에 놓여있던 왼쪽 발이 음의 값을 나타냈지만, E5에서는 착지 시 두 발이 중심을 잡기 위해 모아졌기 때문에 양의 값을 나타낸 것으로 생각된다.

속도요인의 변화에 대한 결과는 지면에 힘을 얻기 위해 신체를 움츠리고 있다가 지면에서 발이 떨어질 때 신체중심과 공중회전을 증가시키기 위하여 굴곡된 골반과 엉덩이를 백아치 자세로 취함으로 E3이 빠르게 나타난 것이다. E4에서는 빠른 공중회전을 얻기 위해 신전된 무릎을 굽혀 회전반경을 작게 하였기 때문에 빠르게 나타난 것이다. 또한, E5에서는 회전속도를 감소시켜 안정된 착지를 하기 위해서 골반과 엉덩 속도는 느리게 나타난 것이다. 이는 착지 전에 신체를 제어시켜 시간적 여유를 확보하는데 중요한 것임을 보여주었다.

Kwon(2011)의 국가대표선수 5명을 대상으로 뒤공중돌기 tucked, piked, stretched 동작의 착지 연구를 살펴보면 piked 동작이 1.40 m/sec 로 가장 빠르고, stretched 동작은 1.20 m/sec 로 가장 느리게 나타나 stretched 동작 시 보다 piked 동작 시 백아치 자세를 크게 하여 신체중심이 후방으로 많이 움직였기 때문이라고 밝혔다. 또한, Chung(2007)의 마루운동 체자리 뒤공중돌기 연구 결과에서는 성공시기가 실패시보다 투사속도가 더 크게 나타났다고 보고하며 투사속도는 투사순간 궤적의 거리와 높이를 결정하는 주요인이 된다고 밝혔다.

또한, Takei, Nohara & Kamimura(1992)의 연구와 Han(2007)의 연구를 살펴보면 공중돌기 시 최고점에서는 신체를 최대한 작게 굴곡시켜야 하고, 이후 착지 전에는 고관절의 빠른 신전을 통해서 신체의 회전력을 조절해야 안정된 착지를 할 수 있다고 보고하였다.

즉 신체 각 분절들의 관성모멘트 조절이 공중회전의 증가와 신체를 제어시킨다는 연구결과를 보았을 때 본 실험의 대상자들은 이상적인 공중돌기 자세를 보여준 것으로 판단된다.

지면반력은 신체의 수평속도를 수직속도로 전환시켜 체공높이와 시간을 결정하는 중요한 요소이다. 체자리 무릎 구부러 뒤공중돌기 수행은 지지하는 두 발이 신체를 공중으로 투사시키기 위해서 구부러진 무릎과 웅크린 신체를 신전시키는 동시에 지면을 강하게 눌러 얻은 작용력이다.

본 실험의 대상자 8명 모두 본인 체중의 2배 이상의 큰 힘이 발휘된 것으로 나타났다.

한편 뒤공중돌기 시 체공 시간은 실험자 1은 0.07 sec , 2는 0.06 sec , 3은 0.07 sec , 4는 0.07 sec , 5는 0.06 sec , 6은 0.06 sec ,

7은 0.05 sec, 8은 0.05 sec로 나타났으며, 8명의 체공 시간은 평균 0.07 ± 0.01 sec로 나타났다.

An, Kim, Park & Kim(2000)의 제자리 한발몸펴앞공중돌기를 H대학 여자 체조선수 대상으로 한 연구보고와 Yeo & Chang(2008)의 평균대 옆공중돌기 동작의 연구결과를 살펴보면 신체의 수직위치를 크게 하여 체공 높이를 상승시켜 그에 따른 체공 시간의 증가가 여유 있는 착지를 할 수 있고, 실패 시보다 성공 시 동작에서 인체의 투사높이가 더 높게 나타났다고 보고하였다.

V. 결 론

이 연구의 목적은 평균대에서 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 동작의 수행 시 운동학적 및 운동역학적 변인을 규명함으로써 동작수행의 안정성 확보와 기술수준의 향상으로 경기력을 향상시키기 위해 현장의 과학적인 기초 자료를 제공하는데 있다. 이를 위해 I지역 여자체조 대표선수 8명을 대상으로 선정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 시 소요시간은 공중국면 구간이 길게 나타났으며, 이로 인해 여유 있는 착지가 가능한 것으로 나타났다.
2. 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 시 각도는 공중국면 구간에서 골반 및 무릎 각도를 작게, 투사와 착지 구간에는 골반 및 무릎 각도를 크게 하여 신체의 분절을 조절하는 것으로 나타났다.
3. 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 시 속도와 가속도는 투사와 공중국면 구간에서 수직속도를 증가하기 위해 빠른 속도를 나타냈고, 착지 구간에서는 속도가 감속되는 것으로 나타났다.
4. 제자리 무릎 구부려 뒤공중돌기 시 운동역학적 요인인 지면반력은 도약순간 체중의 약 2배 이상의 힘을 발생하는 것으로 나타났다.

참고문헌

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

- Choi, I. A.(1992). A kinematic analysis of flic flac · flic flac-salto backward stretched motion on balance beam. *Korean Journal of physical Education*, 31(1), 1237-1248.
- Chung, N. J.(2007). Kinematical analysis of the back somersault in floor exercise. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(2), 157-166.
- Elliott, B., & Mitchell, J.(1991). A biomechanical comparison of the yurchenko vault and two associated teaching drills. *International Journal of sport Biomechanics*, 7, 91-107.
- Federation Internationale de Gymnastique(2011). *Main Rules*. Federation Internationale de Gymnastique.
- Han, Y. S.(2004). Analysis of successful landing by type of the salto backward. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(1), 1-12.
- Kim, S. B., & Jin, Y. W.(1995). Mechanical analysis of the backward somersault. *Korean Journal of physical Education*, 34(2), 415-425.
- Kwon, O. S.(2011). The biomechanical comparison of instructional clues backward somersault with tucked, piked, stretched of the national team members. *Korean Journal of physical Education*, 16(1), 211-218.
- 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, 157-175.
- Lee, K. J., & Kim, Y. N.(2002). A study on the reaction force of take-off phase during balance beam mounts motion. *Korean physical Education Association for Girls and Women*, 16(1), 49-55.
- Min, A. Y.(2009). *Kinematics and electromyographic analysis of cross jump motion on balance beam of female national gymnastic athletes*. Non-published doctor thesis. Kyung Hee University. The graduate school of physical education.
- Park, S. S.(2008). Sports science. *Korean Institute of Sport Science*, 105(0), 57-62.
- Ryu, Y., & Kim, K. W.(2011). A biomechanics analysis of free walkover forward motion on balance beam. *Korean Journal of physical Education*, 50(4), 379-388.
- Yeo, H. C., & Chang, J. K.(2008). Kinetic analysis of the salto side-ward tucked on the balance beam. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(3), 61-69.
- Yoon, C. S., & Min, A. Y.(2009). The kinematical analysis of

yurchenko stretched at horse vaulting. *The Korean Society of Sports Science*, 20(1), 1123-1134.

Yoon, H. J., Ryu, J. S., Kim, D. M., & Kim, Y. N.(2000). The kinetic analysis of forward somersault on balance beam. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 9(2), 291-305.

Takei, Y., Nohara, H., & Kamimura, M.(1992). Techniques used by elite gymnasts in the 1992 olympic compulsory dismount from the horizontal bar. *Journal of sport Biomechanics*, 8, 207-232.