



마루운동 제자리 뒤공중돌기 동작의 운동학적 분석

Kinematical Analysis of the Back Somersault in Floor Exercise

정남주*(호남대학교)

Chung, Nam-Ju* (Honam University)

ABSTRACT

N. J. CHUNG, Kinematical Analysis of the Back Somersault in Floor Exercise. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 17, No. 2, pp. 157-166, 2007. This study was to compare the major kinematic factors between the success and failure group on performing the back somersault motion in floor exercise. Three gymnasts (height : 167.3 ± 2.88 cm, age : 22.0 ± 1.0 years, body weight : 64.4 ± 2.3 kg) were participated in this study. The kinematic data was recorded at 60Hz with four digital video camera. Two successful motions and failure motions for each subject were selected for three dimensional analysis.

1. Success Trail

It was appear that success trail was larger than failure group in projection velocity, but success trail was smaller than failure trail in projection angle. Also it was appear that success trail was longer than failure group in the time required. Hand segment velocity and maximum velocity in success trail were larger than those in failure trail, and this result was increasing the projection velocity and finally increasing the vertical height of center of mass. At the take-off(event 2), flexion amount of hip and knee joint angle was contributed to the optimal condition for the take-off and at the peak point, hip and knee joint angle was maximum flexed for reducing the moment of inertia. Also in this point, upper extremities of success trail extended more than those of failure trail. in this base, success trail in upward phase(p3)

2. Failure Trail

It was appear that failure trail was smaller than success trail in projection velocity, but failure trail was larger than success trail in projection angle. Also it was appear that failure trail was more short than success trail in the time required. Hand segment velocity and maximum velocity in failure trail were smaller than those in success trail, and this result was reducing the projection velocity and finally reducing the vertical high of center of mass. At the take-off(event 2), flexion amount of hip and knee joint angle wasn't contributed to the optimal condition for the take-off and at the peak point, hip and knee joint angle wasn't maximum flexed for reducing the moment of inertia. Also in this point, upper extremities of failure trail didn't extended more than those of success trail.

KEYWORDS : BACK SOMERSAULT, ANGULAR MOMENTUM

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

역학적 관점에서의 기계체조 동작을 살펴보면, 성공적인 동작수행을 위한 기술의 개발과 운동상해 예방을 위한 정확하고 효율적인 운동학적 및 운동역학적 기초 데이터의 제공이 요구되어진다. 기계체조 종목 중 마루 운동은 고난위도 연기는 물론 기초적 연기 동작을 계속하여 수행하여야 한다. 고난위도의 연기를 구성하기 전 잔여 동작을 이용해 호흡을 조절하고 최대한의 휴식과 에너지를 보충하여 다음동작을 준비하게 된다. 이때 주로 사용되는 연기들은 손 짚고 앞돌기, 손 짚고 뒤돌기, 뒤공중돌기, 날아구르기 등이다.

마루운동의 뒤공중돌기(back somersault) 동작은 제자리에서 공중으로 몸을 투사시켜 뒤로 1회전 후 다리로 착지하는 기술이다. 제자리에서 실시하게 될 때 뒤공중돌기는 준비자세에서 팔의 움직임을 크게하여 발로 지면을 이지한 다음 다시 발로 지면에 착지하게 된다. 마루운동 연기 시 이 동작은 도움짚기, 손 짚고 뒤돌기 등의 동작과도 연결하여 주로 사용된다. 마루운동 연기 구성에 기초가 되는 뒤공중돌기 기술은 무릎을 굽히는 형(tucked), 무릎을 펴서 몸을 앞으로 접는 형(piked), 몸 전체를 펴는 형(laid out)의 세가지 자세가 있다.

마루운동 연기의 기초가 되는 뒤공중돌기 동작은 다른 종목에 응용이 가능하고 연결동작에 자주 사용되기 때문에 연구에 자주 등장하고 있으며 도마, 평행봉, 이단평행봉, 철봉 등 착지 동작에서 응용기술로 자주 연구되고 있다. Payne 등(1976)은 손 짚고 뒤돌기 동작과 뒤공중돌기 동작간의 도약 시 운동역학적 차이점을 비교분석하였다. 이 연구에서 뒤 공중돌기 동작이 손 짚고 뒤돌기 동작 보다 이 위로 상승시키는 수직 힘(추진력)이 우수하며 비행시간이 거의 2배에 이른다고 하였다. Nicol 등(1990)은 뒤공중돌기와 손 짚고 뒤돌기 동작의 분석에서 발목관절, 무릎관절, 고관절의 각 운동량과 역학적 파워요구량을 분석하여 상해를 방지하기 위한 효율적인 하지관절의 조절을 제시하였다. 김상복 등(1995)은 뒤공중돌기 동작의 분석을 통해 각 구간

별 동작시간을 힘 생성구간, 준비구간, 비행구간으로 구분하여 분석하였다. 김주선 등(1996)은 체조경기 중 제자리 손 짚고 뒤돌기(flic-flac)동작의 운동역학적 분석을 통해 각운동량은 도약이전에 대부분 발생하며 동작 시 전체 각운동량에 제일 크게 기여하는 분절은 상지분절이라고 하였다. 또한 제자리 손 짚고 뒤돌기 동작 순간 지면반력은 몸무게의 약 2배정도의 힘이 발생하는 것으로 보고하였다. 강상학(1999)은 체조 겹들어 뒤 공중돌기 동작을 백헨드 구간, 도약구간, 체공구간, 착지구간으로 정리하여 운동학적 변인들을 살펴보았다. 이외에도 마루운동에서의 앞공중돌기에 대한 운동역학적 분석(김영란 등, 1993)이 시도되었고, 도마종목에서 뒤 공중 돌아내리기 동작의 운동학적 특성비교(류지선 & 한충식, 1994), 이단평행봉 뒤 공중돌아 내리기 동작의 운동학적 분석(조태호 & 주영삼, 1995), 평행봉의 뒤공중돌아 물구나무서기 동작분석(이용식 & 이정식, 1995), 철봉 뒤회돌기 유형에 따라 내리기 동작의 운동학적 특성(한운수, 1997), 평균대 오르기 과정의 운동역학적 변인이 공중돌기 국면에 미치는 영향(김영란, 2001) 등이 뒤공중돌기의 응용기술로 연구되어왔다.

체조 마루운동의 기초 기술 중의 하나인 뒤공중돌기 동작은 서두에서도 밝혔듯이 여러 기술로의 파급효과가 있으며 또한 평행봉, 철봉, 링, 안마, 도마 등의 내리기 및 착지 동작으로의 기술적 전이가 매우 높은 동작이다. 또한, 뒤공중돌기 동작은 회전계 운동의 기본을 이루는 기술로 교육현장에서도 널리 지도되고 있다. 따라서 본 연구는 체조 마루운동의 기본 기술 중 하나인 뒤공중돌기 동작을 수행하는데 요구되는 핵심 변인을 제시하고 성공시기와 실패시기의 운동학적 특성을 비교분석함으로써 마루운동 수행 및 지도에 도움을 주고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상자 및 실험방법

본 연구의 대상자는 2007년 현재 대한체조협회에 선수등록이 되어있는 상비군의 남자체조선수 3명(신장 :



그림 1. 마커 부착

167.3±2.4cm, 나이 : 22.0±1.0yr., 체중 : 64.4±2.3kg)을 대상으로 실시하였다. 이들은 모두 초등학교 때부터 체조에 입문하여 실험동작인 뒤통중돌기동작을 무리 없이 수행할 수 있는 선수들이었다. 본 연구를 위해 Digital video camcorder를 동작이 수행되는 전측면에 2대 후측면 상단에 2대 총 4대를 설치하였으며 각 카메라의 상단에 비디오 라이트(light)를 설치하였다. 공간좌표설정을 위해 통제점의 좌표를 미리 알 수 있는 통제점틀을 높이 2m 폭 1m 길이 2m로 조립하여 녹화한 다음 제거하였고 카메라의 동요없이 실험이 끝날 때까지 녹화를 진행하였다. 연구대상자들은 상의를 탈의하고 하의는 반타이즈를 착용한 다음 인체관절과 분절에 총 32개의 마커를 부착하였다<그림 1>.

마커를 부착한 이후 충분한 연습동작을 실시하였다. 연구대상자가 실시하는 뒤통중돌기 동작을 국제심판이 직접 관찰하도록 하여 이지에서 착지까지 정확한 동작과 착지이후 발의 움직임이 없는 동작을 성공시기동작으로, 이지에서 착지까지 불완전한 동작과 착지이후 발이 움직이는 동작을 실패시기동작으로 구분하였다. 각 대상자 별로 4개의 동작을 선정하였는데 기술적 완성도가 높은 성공동작 2개와 기술적 완성도가 낮은 실패동작 2개를 선정하여 분석하였고 각 개인별 평균값을 제시한 후 다시 집단별로 평균 및 표준편차를 제시하였다.

2. 자료처리방법

4대의 카메라로부터 얻은 각각의 2차원좌표는 3차 스

플라인 함수에 의한 보간법을 이용하여 동조하였다. 3차 원좌표계산은 Abdel-Azziz와 Karara (1971)가 개발한 직접선형변환법(Direct Linear Transformation)을 사용하였다. 디지털이징에서 발생하는 노이즈에 의한 오차는 Butterworth Low-Pass를 이용하여 스무딩(smoothing)하였으며 이때 차단주파수는 8.0Hz로 하였다. 상체에 11개 하지에 21개의 반사마커를 부착하여 인체의 관절중심점을 계산하였다. 좌우고관절은 Tylkowsky 방식(Tylkowsy, Simon & Mansour, 1982)을 이용하여 계산하였으며 좌우 무릎관절과 발목관절 중심점은 Midpoint(임비오 등, 2007) 방식을 이용하여 계산하였다. 관절중심점을 계산한 후 인체를 총 15개의 분절로 분류하였으며 인체 분절 모수치(Body segment parameter)는 Zatsiorsky, Selnyanov & Chugunova(1990)의 해부학적 측정계수들을 이용하여 얻었다.

3. 분석변인 및 통계처리방법

본 연구에서는 동작 수행시간과 인체중심 및 분절의 속도, 분절의 상대각도와 각운동량을 살펴보았다. 인체가 움직일때는 여러 분절들이 회전을 하게되며 이때 각 분절은 분절의 질량중심에 대해 그리고 전신 질량중심에 대해 각운동량을 가지게 된다. 분절 자체의 질량중심에 대한 각운동량을 분절의 자전적 각운동량(local angular momentum)이라하고, 전신의 질량중심에 대한 분절의 각운동량을 분절의 공전적 각운동량(remote angular momentum)이라 한다. 분절의 전체 각운동량은 자전적 요인과 공전적 요인을 합한 것과 같다.

$$H_{total} = H_{local} + H_{remote}$$

분절의 전체각운동량을 계산할 때 각 분절의 자전적 요인과 공전적 요인을 표현하면 다음과 같다.

$$H_{total} = \sum_{i=1}^n H_{local} + \sum_{i=1}^n H_{remote}$$

(여기서 i는 각 분절을 n은 분절의 전체 수를 의미함)

자전적 각운동량은 다음과 같다.

$$H_{local} = I_{cm} \omega$$

(I_{cm} 분절의 질량중심을 통과하는 축에 대한 관성모멘트, ω 분절 각속도)

공전적 각운동량은 다음과 같다.

$$H_{remote} = md\omega'^2$$

(m 은 분절의 질량, d 는 분절의 질량중심에서 전신의 질량중심까지의 거리, ω' 는 전신질량중심을 통과하는 축에 대한 분절의 각속도)

뒤공중돌기 동작에 대한 성공시기와 실패시기의 동작 간에 역학적 변인의 차이를 살펴보기 위해 독립 t-검증을 실시하였다. 이때 유의수준은 $p=.05$ 에서 살펴보았다.

4. 분석국면구분

- 1) 제1구간(p1-준비구간) : 제자리 뒤공중돌기 준비 자세(e1)에서 어깨관절이 최대 과신전된 국면(e2)
- 2) 제2구간(p2-도약구간) : 어깨관절의 최대 과신전 상태에서 발이 지면에서 이지하는 국면(e3)
- 3) 제3구간(p3-상승구간) : 이지국면에서 인체중심이 최대 높이에 도달하는 국면(e4)
- 4) 제4구간(p4-하강구간) : 최대 높이에 도달한 국면에서 발이 지면에 착지하는 국면(e5)

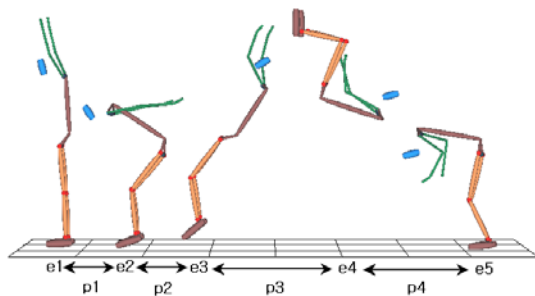


그림 2. 분석 국면 구분

III. 결과 및 논의

1. 투사변인

뒤공중돌기 동작은 인체를 공중에 띄어 기술을 수행한다. 인체가 공중에 투사되면 투사체로 간주할 수 있다. 제자리 뒤공중돌기 수행 시 투사변인 즉, 투사속도(인체중심속도), 투사각도(인체중심속도벡터와 -y축사이의 각도), 투사높이(직립자세에서 인체중심높이-투사순간 인체중심높이)와 착지높이(직립자세에서 인체중심높이-착지순간 인체중심높이)를 살펴보았으며 그 결과는 <표 1>과 같다.

위의 결과에서 성공시기의 투사변인을 살펴보면 투사속도는 $2.60 \pm 0.00 \text{ m/s}$, 투사각도는 $114.77 \pm 2.99 \text{ deg}$, 투사높이는 $0.60 \pm 0.40 \text{ cm}$, 착지높이는 $26.53 \pm 1.60 \text{ cm}$ 를 보였다. 그리고 실패시기의 투사변인을 살펴보면 투사속도는 $2.43 \pm 0.15 \text{ m/s}$, 투사각도는 $118.47 \pm 2.05 \text{ deg}$, 투사높이는 $1.60 \pm 0.66 \text{ cm}$, 착지높이는 $26.97 \pm 0.80 \text{ cm}$ 를 보였다. 투사속도는 성공시기가 더 크게 나타났으며 투사각도는 실패시기가 더 크게 나타났다. 그리고 투사높이와 착지높이 모두 두 시기에서 비슷한 결과를 보여주었다. 투사체의 투사속도는 투사순간 궤적(trajjectory)의 거리와 높이를 결정하는 주요인이 되며 투사각도는 비행체의 투사 궤적을 결정한다(Hamill, 2003). 성공시기의 투사각도가 실패집단의 투사각도 보다 작고 투사속도를 크게 함으로써 인체중심의 최고높이를 상승시키는 주요인이 되고 있다. 투사체 변인 중에서 투사속도가 두 시기 간에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다 ($p < .01$).

표 1. 투사변인

시기 \ 변인	투사속도 (m/s)	투사각도 (deg.)	투사높이 (cm)	착지높이 (cm)	
성공	M	2.60	114.77	0.60	26.53
	SD	0.00	2.99	0.40	1.60
실패	M	2.43	118.47	1.60	26.97
	SD	0.15	2.05	0.66	0.80
t-value	5.000	-1.767	-2.255	-.419	
p	.007	.152	.087	.697	

표 2. 소요시간 (단위 : sec.)

시기	변인	변인			
		p1	p2	p3	p4
성공	M	1.11	0.39	0.27	0.38
	SD	0.08	0.01	0.02	0.01
실패	M	0.84	0.38	0.26	0.35
	SD	0.06	0.01	0.02	0.02
t-value		4.571	1.342	.671	1.835
p		.010	.251	.539	.140

2. 동작소요시간

제자리 뒤공중돌기 동작 시 성공시기와 실패시기의 소요시간에 대한 결과는 <표 2>와 같다.

위의 결과에 의하면 p1~p4구간의 소요시간은 성공시기에서 근소하게 큰 것으로 나타났다. 특히 준비구간인 p1에서 성공시기의 소요시간이 다소 길었고, 인체중심이 최고점인 지점에서 착지하는 구간까지인 p4에서 성공시기의 소요시간이 다소 길게 나타났는데 이는 체공시간이 길게 나타났음을 보여주고 있다. 소요시간 중 p1에서 성공과 실패시기 간에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<.01).

3. 인체중심변위

뒤공중돌기 동작에서 인체중심궤적은 시상면(sagittal plane)에서 살펴보는 것이 용이하다. 구간별 인체중심변위에 대한 결과는 <표 3>, <그림 3>와 같다.

시상면에서의 인체중심변위를 살펴보면 p1구간에서 y축은 비슷한 결과를 보이고 있으나 z축은 성공시기가 크게 나타났다. p2와 p3, 그리고 p4구간에서 y축은 실패시기가 근소하게 크게 나타났고 z축은 성공시기가 더 크게 나타났다. 전반적으로 성공시기는 z축 즉, 상하이동이 크게 나타난 반면 실패시기는 y축 즉, 후방으로의 이동이 크게 나타났다. 구간별 인체중심변위에 대한 두시기 간의 차이를 검증한 결과 p1의 z축 변위에서 유의한 차이를 보이고 있었다(p<.05). 그러나 뒤공중돌기의 인체중심궤적을 그림 3에서 살펴보면 성공시기(S-G)는 후방으로 많은 이동을 보이기보다는 상하이동을 크게하여 높은 체공을 얻고 이를 바탕으로 기술의 완성도를 높이는 것으로 나타났다. 실패시기(F-G)

표 3. 시상면의 구간별 인체중심변위 (단위 : cm)

시기	변인	변인							
		p1		p2		p3		p4	
		y	z	y	z	y	z	y	z
성공	M	5.4	-21.9	20.6	21.4	21.7	39.1	29.8	-65.0
	SD	1.95	1.50	3.74	0.23	3.80	3.56	5.65	2.80
실패	M	5.0	-16.9	22.7	15.6	27.8	34.4	36.5	-60.1
	SD	2.17	1.57	1.01	3.75	0.95	1.80	1.27	4.37
t-value		.258	-4.016	-.955	2.671	-2.667	2.014	-2.014	-1.625
p		.809	.016	.394	.056	.056	.114	.114	.180

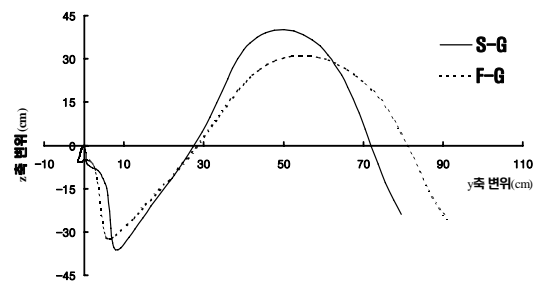


그림 3. 성공시기(S-G)와 실패시기(F-G)의 인체중심 시상면 변위

에서는 후방으로의 이동이 크고 상하이동이 작아 체공 높이가 크지 않음으로 인해 실패의 원인을 제공하는 것으로 나타났다.

4. 손 분절 속도

제자리 뒤공중돌기 동작에서 상지의 움직임은 동작의 패턴과 운동량을 촉진하며 제어하는 역할을 하기 때문에 매우 중요한 역할을 한다. 손 분절의 구간별 및 최대속도에 대한 결과는 <표 4>와 같다.

위의 결과에서 손 분절의 속도는 합성속도를 의미한다. 전체구간에서 성공시기의 손 속도가 더 크게 나타나고 있다. 최대속도는 두 시기 모두 p2구간에서 나타났으며 성공시기는 13.73m/s, 실패시기는 12.93m/s를 보여 성공시기의 최대속도가 실패시기에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 손 분절 속도에서 두 시기 간에 차이를 검증한 결과 p2구간, 즉 어깨관절의 최대 과신전 상태에서 발이 지면을 이지하는 구간까지에서 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있었다(p<.05). 또한, 이 구간에서 최대속도가 발생하는데 두 시기 간에 역시 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<.05). 인체를 공중으

표 4. 손 분절의 속도 및 최대속도 (단위 : m/s)

시기	변인	(단위 : m/s)				
		p1	p2	최대	p3	p4
성공	M	1.00	5.43	13.73	-3.53	1.30
	SD	0.36	0.71	0.51	0.83	0.87
실패	M	0.50	4.33	12.93	-3.30	0.97
	SD	0.61	0.23	0.06	0.96	1.17
t-value		1.225	3.554	2.983	-3.17	.395
p		.288	.013	.025	.767	.713

로 투사시키기 전 손분절을 비롯한 상지분절의 움직임이 빨라진다는 것을 알 수 있다. 이는 곧 최대의 운동량을 확보하기 위한 조치로 볼 수 있다(김영란, 2002).

5. 인체자세각

1) 고관절각도

고관절 각도는 고관절에서 어깨관절로 향하는 몸통분절벡터와 고관절에서 무릎관절로 향하는 대퇴분절벡터 사이의 각도로 정해진다. 뒤공중돌기 동작 시 고관절각도는 상체와 하체의 움직임 사이의 관계를 살펴볼 수 있다. 국면별 고관절각도에 대한 결과는 <표 5>, <그림 4>와 같다.

위의 결과를 살펴보면 준비자세인 e1에서는 실패시기가 근소하게 더 신전되어 있었으며 도약준비 국면인 e2에서는 성공시기가 80.90±0.62deg를 실패시기에는 86.13±0.65deg를 보여 성공시기가 실패시기에 비해 더 많은 굴곡을 보였다. 그리고 이지국면인 e3에서는 성공시기에서 169.60±4.71deg를 실패시기에는 182.13±3.04deg를 보여 성공시기에 더 많은 굴곡을 유지한 상태에서 공중으로 이지하는 것으로 나타났다. 이는 인체를 공중으로 투사하는 각도가 성공시기에서 더 작음을 보여주는 단서가 되고 있다. 인체중심 최고점(peak) 지점인 e4에서 성공시기의 고관절 각도 70.83±7.90deg를, 실패시기에는 91.80±5.42deg를 보여 성공시기가 실패시기에 비해 더 많은 굴곡을 보이고 있어 공중에서 회전속도를 빠르게 하는데 더 효과적임을 알 수 있다. 착지국면인 e5에서는 성공시기가 실패시기에 비해 더 큰 각도를 보이고 있는데 이는 착지하면서 인체를 똑바로 세워야 기술의 완성도가 높다는 점에서 고관절각도가 커야 한다. 위에서 살펴본 결과 고관절을 중심으로 몸통분절과 대퇴분절

표 5. 고관절각도 (단위 : deg.)

시기	변인	(단위 : deg.)				
		e1	e2	e3	e4	e5
성공	M	188.03	80.90	169.60	70.83	100.10
	SD	0.29	0.62	4.71	7.90	3.93
실패	M	190.57	86.13	182.13	91.80	94.03
	SD	1.80	0.65	3.04	5.42	1.59
t-value		-2.413	-10.051	-3.871	-3.790	2.475
p		.073	.001	.018	.019	.069

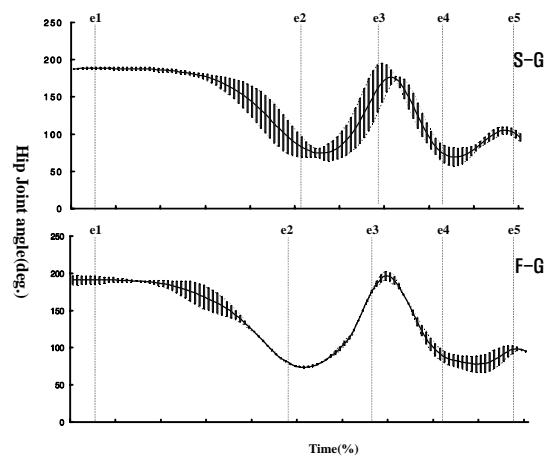


그림 4. 성공시기(S-G)와 실패시기(F-G)의 고관절각도

이 도약국면인 e2와 이지국면인 e3, 최고점인 e4에서 모두 성공시기가 실패시기에 비해 더 많은 굴곡을 보여 동작수행의 완성도를 높이는 것으로 나타났다.

고관절각도에서 통계적 검증을 실시한 결과 어깨가 최대로 과신전된 시점(e2)에서 두시기간에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<.001). 또한, 발이 지면에서 이지하는 시점(e3)과 인체중심이 최대 높이에 도달하는 시점(e4)에서 두시기간에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<.05).

2) 무릎관절

무릎관절각도는 무릎관절에서 발목관절로 향하는 하퇴분절벡터와 무릎관절에서 고관절로 향하는 대퇴분절벡터 사이의 각도를 의미한다. 무릎관절각도는 대퇴와 하퇴사이의 굴곡과 신전관계를 통해 하지의 움직임을 살펴보는 데 용이하다. 국면별 무릎관절각도에 대한 결과는 <표 6>, <그림 5>와 같다.

표 6. 국면별 무릎관절각도 (단위 : deg.)

시기	변인	e1	e2	e3	e4	e5
성공	M	177.37	116.80	131.47	73.57	132.83
	SD	2.98	1.75	5.24	2.10	6.57
실패	M	181.67	130.97	133.67	78.30	139.37
	SD	1.20	2.16	5.31	0.92	4.65
t-value		-2.314	-8.829	-.511	-3.574	-1.405
p		.082	.001	.636	.023	.233

표 7. 국면별 어깨관절각도 (단위 : deg.)

시기	변인	e1	e2	e3	e4	e5
성공	M	144.53	-63.83	123.73	18.80	14.80
	SD	3.23	3.69	11.58	6.78	1.80
실패	M	144.07	-52.33	123.83	8.57	1.93
	SD	15.13	6.35	6.42	1.57	1.15
t-value		.052	-2.712	-.013	2.548	10.432
p		.961	.053	.990	.063	.001

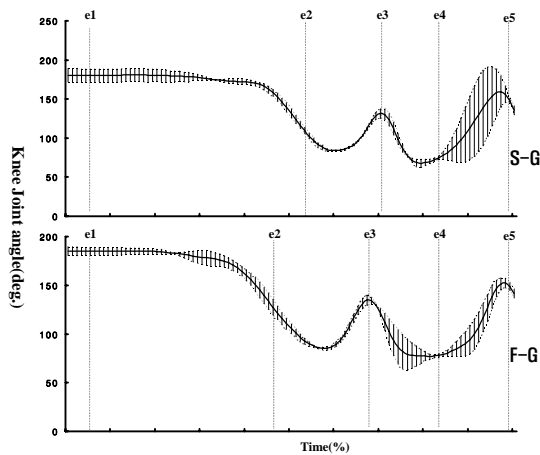


그림 5. 성공시기(S-G)와 실패시기(F-G)의 무릎관절각도

전체국면에서 성공시기가 실패시기에 비해 무릎관절의 각도가 더 작게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 도약구간으로 전환하는 e2국면에서 무릎관절의 각도는 공중으로 인체를 투사시키는데 큰 힘을 제공한다. 이 시점에서 성공시기는 116.80±1.75deg.를, 실패시기는 130.97±2.16deg.를 보여 성공시기의 굴곡각도가 실패시기에 비해 크게 나타나 무릎관절의 각도가 이상적임을 알 수 있다. 그리고 인체중심 최고지점인 e4에서도 성공시기가 73.57±2.10deg.를 실패시기가 78.30±0.92deg.를 보였다. 이는 공중동작 시 관성모멘트를 줄여 회전하려는 경향이 성공시기에서 보다 크다는 것을 보여주고 있다. 무릎관절각도에 대한 통계적 검증을 실시한 결과 어깨관절이 최대로 과신전된 시점인 e2(p<.001)와 인체중심이 최대 높이에 도달하는 시점 e4(p<.05)에서 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.

3) 어깨관절각

뒤공중돌기 동작에서 상지의 움직임은 동작의 균형

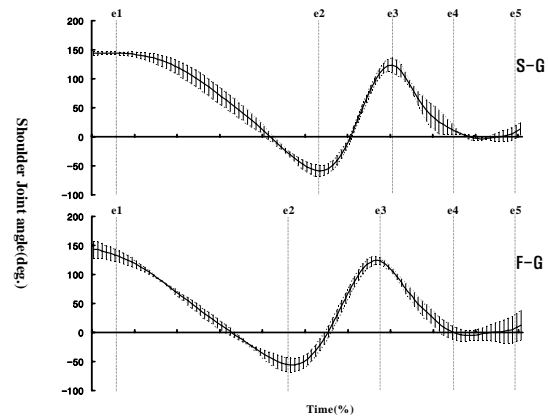


그림 6. 성공시기(S-G)와 실패시기(F-G)의 어깨관절각도

과 운동량을 일으켜 회전성분을 촉진시킨다는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 어깨관절각도는 어깨관절에서 팔꿈치관절로 향하는 상완분절벡터와 어깨관절에서 고관절로 향하는 몸통분절벡터사이의 상대각도를 의미한다. 국면별 어깨관절각도는 <표 7>, <그림 6>과 같다.

위의 결과에서 도약구면인 e2에서는 팔이 후방으로 가장 많이 신전되는 지점이며 이 지점을 기점으로 팔의 움직임이 다시 전방으로 이동하게 되며 이때 팔의 속도가 빨라져 상지의 운동량이 상승하게 된다. 따라서 신전각도가 클수록 운동량이 커지게 됨으로 성공시기의 각도가 보다 효과적이라고 할 수 있다. 체공시 인체중심의 최고점인 e4와 착지국면인 e5사이에서 어깨관절의 각도가 성공시기가 더 크게 나타나는데 이는 착지국면에서 인체중심을 상지로 제어할 수 있다는 점에서 바람직하다고 볼 수 있다. 어깨관절각도에 대한 두 시기 간의 통계적 검증을 실시한 결과 e5에서 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<.001).

표 8. 뒤공중돌기 시 각운동량 (단위 : $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)

시기	sub.	p3			p4		
		x	y	z	x	y	z
성공	M	-3.17	0.58	0.05	-2.25	0.62	0.13
	SD	0.60	0.13	0.04	0.48	0.20	0.10
실패	M	-2.64	0.61	0.06	-1.33	0.45	-0.15
	SD	0.26	0.07	0.04	0.15	0.04	0.07
t-value		-1.384	-.401	-.318	-3.139	1.390	4.530
p		.238	.709	.766	.035	.237	.011

6. 각운동량

인체가 공중돌기와 같은 동작을 수행할 때는 여러 분절들이 함께 회전을 한다. 이때 각 분절은 분절의 질량중심에 대해 그리고 전신 질량중심에 대해 각운동량을 가지게 된다. 제자리 뒤공중돌기 동작 중 공중돌기에 해당되는 상승구간(p3)과 하강구간(p4)의 각운동량을 살펴보았으며 그 결과는 <표 8>과 같다.

위의 결과에서 두시기 모두 x축을 중심으로 회전하는 운동량이 p3와 p4구간에서 크게 나타나고 있으며 p4보다는 p3구간에서 보다 크게 나타나고 있다. 이는 최고점에 도달하는 구간(p3)에서 인체의 회전이 거의 완성되고 하강구간(p4)에서는 인체관절을 신전시켜 관성모멘트를 증가시킨다. p3와 p4구간에서 x축 성분의 각운동량은 성공시기가 실패시기에 비해 더 크게 나타나고 있으나 y축과 z축은 개인간 편차가 있으나 성공시기에 비해 실패시기의 각운동량이 다소 크게 나타나고 있다. p4구간에서 z축의 각운동량은 성공시기와 실패시기 간에 모두 0에 근접하는 각운동량을 보여주고 있다. 결국, 뒤공중돌기 동작에서 회전운동을 강화시키는 성분은 x축을 중심으로 하는 각운동량이라는 것을 보여주고 있고 두 시기 중 성공시기의 각운동량이 크게 나타나 실패시기에 비해 회전운동을 용이하게 전개할 수 있음을 보여주고 있다.

IV. 결론

본 연구는 체조 마루운동의 기본 기술 중 하나인 뒤공중돌기 동작을 수행하는데 요구되는 핵심 변인을 제

시하고 성공시기와 실패시기의 운동학적 차이점을 비교분석함으로써 마루운동 수행 및 지도에 도움을 주고자 실시하였다. 뒤공중돌기 동작에 대한 투사변인, 속도변인, 인체각도변인, 각운동량을 분석하였으며 분석결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 성공시기

성공시기의 뒤공중돌기 동작은 실패시기에 비해 투사속도는 크고 투사각도는 작게 나타났으며 전체 동작 소요시간이 실패시기에 비해 길게 나타났다. 각 구간에서 손분절의 속도와 최대속도가 실패시기에 비해 높게 나타나 투사속도를 크게 해주고 있었으며 이를 통해 상하 이동변위가 크게 나타났다. 도약국면(e2)에서 고관절각도와 무릎관절각도 변화를 크게하여 도약의 최적조건을 수행하고 있었으며 인체중심이 최고점에 이르는 지점을 기점으로 최대로 굴곡하여 관성모멘트를 줄여 회전속도를 크게 하였다. 또한 도약국면에서 상지분절은 실패시기에 비해 더 크게 신전하여 어깨를 중심으로 상지분절의 각도변화를 크게 함으로써 운동량을 증가시켰다. 이를 바탕으로 뒤공중돌기 상승구간(p3)에서 x축을 중심으로한 각운동량이 크게 나타나 인체의 회전 운동에 기여하는 것으로 나타났다.

2. 실패시기

실패시기의 뒤공중돌기 동작은 성공시기에 비해 투사속도는 작았으나 투사각도가 크게 나타났으며 전체 동작소요시간이 성공시기에 비해 작게 나타났다. 손분절의 속도와 최대속도는 성공시기에 비해 작은 것으로 나타나 인체중심높이가 작아지는 결과를 초래하였으나 투사각도를 크게하여 후방으로의 이동변위를 크게 하였다. 도약국면(e2)에서 고관절각도와 무릎관절각도변화가 성공시기에 비해 작게 나타나 최적도약조건이 이루어지지 않았고 인체중심이 최고점에 이르는 시점에서는 성공시기에 비해 더 큰 각도를 보여 회전속도가 높지 않았다. 또한, 도약국면에서 상지분절은 성공시기에 비해 더 작은 신전을 보임으로 인해 어깨관절을 중심으로 상지분절의 각도변화가 작아 운동량이 크지 않

왔고 이는 뒤공중돌기 상승구간에서 각운동량이 성공 집단에 비해 작게 나타나 인체의 회전 운동에 크게 기여하지 못하였다.

참 고 문 헌

- 강상학(1999). 체조 곁틀어 뒤 공중돌기의 운동학적 분석. **한국체육학회지**, 제 38권, 3호, pp.653~663.
- 김상복, 진영완(1995). 뒤공중돌기 동작의 운동역학적 분석. **한국체육학회지**, 제34권, 제 2호, pp. 415-425.
- 김영란(2002). 지도자를 위한 체조. 서울: 도서출판홍경.
- 김영란, 이연중, 윤희중(1993). 마루운동에서의 앞공중돌기에 대한 운동역학적 분석. 한국체육대학교 부설체육과학연구소논문집, 제12권, 1호, pp. 83~89.
- 김영란(2001). 평균대 오르기 과정의 운동역학적 변인이 공중돌기 국면에 미치는 영향. 한국체육대학교 대학원 박사학위논문.
- 김주선, 유원중, 이기태(1996). 체조 경기 중 제자리 손 짚고 뒤돌기(flic-flac) 동작의 운동역학적 분석. **한국체육학회지**, 제 35권 제 1호, pp.346~353.
- 류지선, 한충식(1994). 뒤 공중 돌아내리기 동작의 운동학적 특성비교. 한국체육대학교부설체육과학 연구소논문집, 제13권, 1호, pp. 143~155.
- 양동영(2003). 농구 자유투 동작시 상지분절의 각운동량 전이 분석. **한국운동역학회지**, 제 13권, 1호, pp.185~204.
- 이순호, 정철정, 신성휴, 강성철(1998). 좌표변환 방법에 의한 분절의 각운동량 방정식 유도. **한국운동역학회지**, 제 8권, 2호, pp.43~56.
- 이용식, 이정식(1995). 평행봉의 뒤공중돌아 물구나무서기 동작분석. **한국체육학회지**, 제 34권 3호, pp.354~362.
- 임비오, 안승현, 이상우, 도인영(2007). 보행시작과 멈추는 거리가 보행변인에 미치는 영향. **한국운동역학회지**, 제 17권 1호, 17~27.
- 조태호, 주영삼(1995). 이단평행봉 뒤 공중돌아 내리기 동작의 운동학적 분석. **체육학논문집**, 제 23집, pp. 317-331.
- 한운수(1997). 철봉 뒤회돌기 유형에 따른 내리기 동작의 운동학적 특성. 한국체육대학교대학원석사 학위논문.
- 황인승, 이성철(1987). 우수체조 선수의 마루운동 시 3차원 각운동량 결정. 연세논총, pp. 299~313.
- Abdel-Aziz, Y. I & Kaararah, M(1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: Proceed -ings of the ASP/UI Symposium on Close Range Photogrammetry. Falls church, VA : *American Society of Photogrammetry*. pp. 1-18.
- Bruggemann Gert-Perter, Cheetham, Phillip J, Alp, Yilmaz, & Arampatais, Diamantis(1994). Approach to a biomechanics profile of dismount and release-release-regrasp skills of the high bar. *Journal of applied biomechanics*, pp. 291-312.
- F. I. G.(2002). *Code of points artistic gymnastics for man*. Switzerland.
- Hamill, J., & Knutzen, K.M.(2003). *Biomechanical Basis of Human Movement*. US : Williams & Wilkins.
- Hay. J. G.(1978). *The Biomechanics of sport techniques*. Englewood Cliffs NJ:Prentice- Hall.
- Kerwin, Davis G, Yeadon, Maurice R, & Harwood, M. J.(1993). High bar release in triple somersault dismount. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, pp. 279-280.
- McNitt-gray, Jill L, Takashi, Yokoi & Carl, Millward(1994). Landing strategies used by gymnasts on different surfaces. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, pp. 237-252.
- Nicol, A.C., & Watkin, J.(1990). Biomechanics analysis of somersault activities. *International Series on*

- Biomechanics*, X-B Vol, 6B. pp.673~677.
- Payne, A.H., & Barker, P.(1976). Comparison of the take-off force in flic flac and the back somersault in gymnastics. *International Series on Biomechanics*, Vol, 1B. pp.314~321.
- Winifred A. W., Eugene W. B., Charles X. W., & Robert W.(1996). Kinematic and Kinetic Analysis of the Over grip Giant Swing on the Uneven Parallel Bars. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 431-448.
- Tylkowsky, C.M., Simon, S.R., & Mansour, J.M.(1982). Internal rotation gait in spastic cerebral palsy in the hip. *Proceedings of the 10th Open Scientific Meeting of the Hip Society*, (Edited by Nelson, J.P.), 89~125. Mosby, St. Louis.
- Zatsiorsky, V.M., Selnyanov, V.N., & Chugunova, L.(1990). In vivo body segment inertia parameters determination using a gammar scanner method. *Biomechanics of human movement ; Application in Rehabilitation, Sports and ergonomics*, pp.187-202. Worthiangton, OH : Bertec corporation.

투 고 일 : 4월 30일
심 사 일 : 5월 14일
심사완료일 : 6월 10일