

Analysis of Kinematic Factors according to Success or Failure of Forward Roll and Receive a Ball with Legs in Rhythmic Gymnastics

리듬체조 앞 구르며 볼 받기 동작의 성패에 따른 운동학적 요인분석

Joo Young Kim¹, Suk Hoon Yoon²

¹RG Performance Development Committee, Seoul, South Korea

²Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 19 September 2024

Revised : 07 October 2024

Accepted : 08 October 2024

Objective: The purpose of this study is to analyze the kinematic variables according to the success and failure of the forward rolling ball receiving movement that determines the victory or defeat of the rhythmic gymnastics ball game and provide these results to the rhythmic gymnastics game site to help improve rhythmic gymnastics performance.

Method: Thirteen national leveled rhythmic gymnasts were recruited in this study (age: 16 ± 2.76 year, height: 159.42 ± 6.39 cm, mass: 42.17 ± 7.59 kg, Career: 7.92 ± 2.81 year). A 3-dimensional motion analysis with 8 Simi markerless cameras with sampling rate 100 Hz was performed. After experiment set-up, each participant performed the 'Forward roll and receive a ball with legs' motion with their own ball. Three successful and three failed trials were collected from each participant and average of each was used for analysis. Independent *t*-test was used for statistical verification between the trials. The significant level was set at $\alpha=.05$.

Results: In this study successful trial was revealed a significantly longer time than failed one in P5 and entire movement ($p<.05$). In P4, CoM of successful trial was significantly located backward and downward compared to the failed one. For A-P and vertical CoM velocity, there was a statistically significant difference between the successful and failed trials at P4 and P5 ($p<.05$). Lastly, the ball and CoM displacement during movement showed a significant difference in A-P direction between successful and failed trials at E4 and E5, and a difference in vertical displacement at E6 ($p<.05$).

Conclusion: In order to perform a successful Forward Roll and Receive a Ball with Legs, it is necessary to maintain a short distance between the ball and CoM in both A-P and vertical direction from the hand touch to the finishing point. In addition, it is believed that a successful the movement will be possible if the player moves his/her CoM forward of the ball when catching the ball.

Keywords: Rhythmic gymnast, Ball, Apparatus difficulty

Corresponding Author

Suk Hoon Yoon

Department of Community Sport,
College of Health and Human
Development, Korea National
Sport University, 1230 Yangjae-
daero, Songpa-gu, Seoul, 05541,
South Korea

Email : sxy134@knsu.ac.kr

INTRODUCTION

리듬체조경기는 1984년 LA 대회부터 올림픽 정식종목으로 도입되었으며, 정해진 시간에 곤봉이나 리본 등 다양한 수구들의 사용을 통하여 인간의 아름다움을 극대화하여 표현하는 예술성도 평가하는 스포츠로 알려져 있다(Kim, 2017). 그러나 리듬체조는 올림픽 도입 시부터 아름답게 보여주는 정적 평가만을 과도하게 강조하여 왔기 때문에 스포츠 정체성의 논란을 받아왔으며, 최근 세계체조연맹은 이러한 논란을 해소하기 위하여 경기규칙 개정을 통해 수구사용을 통한 신체의 역동적인 동작에 높은 점수를 부여하기 시작하였다. 따라서 선수들은 경기력 향상을 위하여 시합 중 던지고 받는 리스크와 수구난도의 비중을 높이고 있으며, 리듬체조 훈련에서도 이러한 동작의 시도를 강조하고 있는 추세이다(Federation Internationale de Gymnastique [FIG], 2022).

올림픽에서 리듬체조경기는 개인경기와 단체경기로 나누어지며 개인경기의 경우 곤봉(Clubs), 볼(Ball), 리본(Ribbon), 그리고 후프(Hoop) 종목으로 수행된다(FIG, 2022). 이러한 리듬체조경기는 6명의 심판들이 평가한 실시점수와 난도점수를 합산하여 각 종목들의 등위를 가리는데, 실시점수는 동작의 정확성 및 배경 음악과의 조화 그리고 표정연기 등이 주관적으로 평가되는 반면, 난도점수는 댄스스텝(Dance Step Combination), 신체난도(Body Difficulty), 수구난도(Apparatus Difficulty) 및 리스크(Risk)의 4가지 구체적인 평가항목을 정량화(난도적용)하여 평가된다(FIG, 2022). 이러한 난도의 평가항목 중 수구난도와 리스크는 댄스스텝과 신체난도와 다르게 시도의 제한이 없는 특징을 가지고 있기 때문에 선수들의 등위에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 요소이다. 즉, 댄스스텝 항목은 8초 동안 수행된 1번만의 수행이 평가되며 신체난도는 9개의 몸동작만이 평가되는 반면 수구와 신체동작과의 조화를 평가하는 수구난도와 리스크는 시도의 제한이 없이 평가된다.

수구난도는 수구 기초요소와 수구 기준요소로 나뉘어지는데 수구 기초요소는 수구를 몸으로 굴리기, 몸으로 튀기기, 던지거나 받기 등이 대표적이며, 각 수구에 따라 다르게 적용된다. 또한 수구 기준요소는 "손을 사용하지 않는, 시야 밖에서, 신체회전 및 신체난도를 동반한, 다리 사이에서, 수구를 굴리면서" 동작을 수행하는 것이 대표적이며 모든 수구종목에 동일하게 적용된다. 더불어 리듬체조경기의 성패를 결정할 수 있는 높은 난도점수인 0.4점은 수구 기초요소 1개와 기준요소 2개 이상을 충족해야 가능하기 때문에 수구 기초요소와 기준요소에 대한 훈련이 매우 중요한 실정이다(FIG, 2022).

리듬체조경기에서 볼 종목은 다른 수구에 비하여 잡는 위치가 넓기 때문에 일반적으로 손이 작은 동양인들에게 불리하지만 종합성적을 위해서는 선수들이 포기할 수는 없는 필

수종목이다. 볼 경기의 다양한 기술 중 앞 구르며 다리로 볼 받기 동작은 던진 볼을 시야 밖에서, 회전하면서, 손의 도움 없이 받는 동작이기 때문에 난도 0.4의 난도를 충족하고 있는 동작이며, 특히 연기 중 동일한 동작의 반복은 제한하고 있는 규정에도 불구하고, 수구난도에서 실시했던 회전요소는 리스크 난도에서도 한 번 더 실시해도 된다는 규정 때문에 그 활용도가 매우 높은 동작이다(FIG, 2022). 또한 이 동작은 회전 중에 다리로 볼을 잡기 때문에 손으로 잡는 동작에 비하여 심사위원들이 동작의 성공을 쉽게 확인할 수 있어 성공 시 확실한 점수를 받을 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 앞 구르는 회전 중에 보이지 않는 상태에서 다리로 볼을 받기 때문에 선수들의 많은 실수를 동반하게 되는 복합적인 움직임이다.

따라서 이 동작의 성공적인 수행을 위해서는 앞 구르기의 효율성뿐만 아니라 볼의 정확한 낙하 위치 파악, 그리고 볼 받는 자세나 타이밍이 중요하다. 또한 상위성적을 위해서 이 종목을 선택했음에도 불구하고 동작이 원활하게 이루어지지 않으면 수구난도로 인정받을 수 없을 뿐만 아니라 다음 기술을 연결하는데 어려움을 초래할 수 있기 때문에 결과적으로 전체 연기의 획득점수를 떨어뜨리는 결과 초래할 수 있을 것으로 생각된다.

리듬체조 볼 경기 기술에 관한 운동학적 또는 운동역학적으로 분석한 선행연구를 살펴보면, Yi과 Kwon (2005)은 리듬체조 수직 점프 시 슈즈의 깔창 유무에 따른 지면반력 변인과 관절각의 차이를 분석하였는데, 깔창 유무에 따라 지면반력의 유의한 차이가 있고, 체공시간이 길어지면 충격 부하율이 높아지며, 무릎과 발목을 구부려서 충격 흡수에 기여한다고 보고하였다. 또한 Baek (2000)은 리듬체조 Side balance와 Side flexibility 연결동작을 효율적으로 수행하기 위해서는 신체무게중심을 수직으로 상승시키고 오른쪽 발목관절각을 크게 신전하여 발끝 속도를 빠르게 움직여 고관절의 각을 작게 유지할 때 이상적인 동작을 실시할 수 있다고 보고하였으며, Shim (1998)은 이상적인 Stag Ring Leap 동작은 높은 도약을 위해서 마지막 스텝의 원발이 지면에서 떨어질 때 신체무게중심을 높게 유지하고 무릎관절각을 크게 유지하는 것이 중요하며, 발 구름 소요시간을 최소화하는 것이 효과적이라고 보고하였다. 그리고 Woo와 In (2000)은 리듬체조 Balance 동작 시 오른발의 빠른 수행과 정확한 정지 자세를 보여주고, 엉덩관절의 비틀림을 작게 하기 위하여 많은 유연운동으로 단련하는 것이 효율적이라고 보고하였다.

이처럼 리듬체조 볼 경기에 대한 선행연구들은 기본적인 댄스스텝과 신체난도에 관하여 집중 되어있으며, 실제적으로 리듬체조 볼 종목의 경기력 향상을 위해 가장 빈번하게 사용되는 고난도의 볼 받기와 수구난도(AD)의 관한 연구는 수행되지 않고 있는 실정이다(Andreyeva, 2013). 따라서 본 연구의

목적은 대한민국 리듬체조 볼 경기의 경기력 향상에 직접적으로 기여할 수 있는 앞 구르며 볼 받기 동작의 성공과 실패에 따른 운동학적 변인들을 분석하고 이러한 결과를 리듬체조 경기현장에 제공하여 리듬체조 경기력 향상에 도움을 주는데 있다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구에서는 최근 6개월 이내에 근골격계 상해 또는 수술 경험이 없으며, 4년 이상 리듬체조를 수행하고 '앞 구르며 다리로 볼 받기 동작'이 가능한 리듬체조 경력자 13명(국가대표급 7명, 청소년대표급 2명)을 연구대상자로 선택하여 연구를 수행하였다(age: 16±2.76 year, height: 159.42±6.39 cm, mass: 42.17±7.59 kg, Career: 7.92±2.81 year). 본 연구는 K대학교 연구 윤리위원회의 승인을 받은 후 시행되었으며(KNSU 20211208-157), 대상자에게 연구에 대한 충분한 설명과 함께 동의서를 작성한 후 실험에 참여하였다.

2. 실험절차 및 자료처리

실험에 앞서 모든 실험 대상자와 법적 대리인에게 충분한 설명과 함께 연구 동의를 받아 진행하였다. 본 연구에서는 비디오 영상을 통한 실루엣기반 동작 분석 시스템으로 별도의 마커 또는 센서 부착 없이 분석이 가능한 markerless 카메라를 사용하여 운동학적 자료를 취득하였다(Figure 1). 실험 전 원활한 운동학적 자료취득을 위하여 동작이 수행할 장소 주변에 8대의 markerless 카메라(Simi, Germany)를 설치하였으며 L 자형 프레임과 T 자형 막대를 사용하여 NLT (non-linear transformation) 방식으로 각 카메라의 3차원 공간좌표계를 설정하였다. 그 후 모든 대상자는 Simi 카메라에서 실루엣을 분류하기 위하여 실험 장소와 색이 구분될 수 있는 어두운 전신 운동복을 입었으며, 충분한 시간 동안 스트레칭을 포함한 준비운동을 수행하였다. 그 후, 각 대상자는 자신의 볼을 가지고 '앞 구르면서 다리로 볼 받기' 동작을 수행하였으며, 이때 영상의 자료취득률은 100 Hz로 설정하였다. 본 연구에서는 각 대상자의 3번의 성공동작과 3번의 실패동작을 수집하였으며, 각 대상동작들의 평균을 분석에 사용하였다. 본 연구에서 동작의 성공과 실패의 판단 여부는 국제심판자격증을 보유한 전 리듬체조 국가대표 감독과 코치 2인이 판정하였다.

'앞 구르면서 다리로 볼 받기' 동작은 다음 <Figure 2>와 같이 총 6개의 중요시점들(E1~E6)로 설정하였으며, 각 연속되는 시점의 연결을 총 5개의 구간(P1: 팔 다운스윙, P2: 팔 업 워드 스윙, P3: 구르기를 위한 신체숙이기, P4: 구르면서 볼

잡기, P5: 볼 잡고 구르기)으로 설정하여 분석하였다.

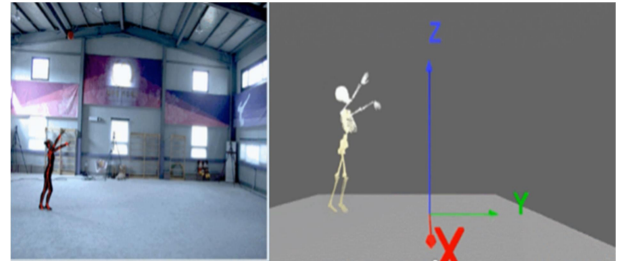


Figure 1. Markerless motion capture system (Simi, Germany)

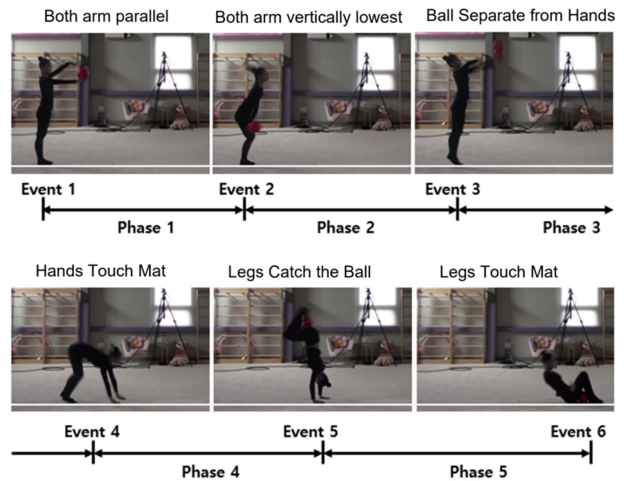


Figure 2. Events and phases in forward roll and receive a ball with legs motion

3. 자료처리 및 분석

실험 중 취득한 관절들의 위치좌표 원자료는 Simi 마커리스 소프트웨어(Simi Motion & Shape, Germany)를 사용하여 분석되었으며, 운동학적 변인 산출 시 발생하는 random error를 줄이기 위하여 차단주파수 6 Hz인 2차 저역 통과 필터(butterworth 2nd order low-pass filter)를 사용하여 필터링하였다. 특히 본 연구에서 COM 속도는 구간의 최대값으로, COM과 볼의 거리 요인 측정은 볼을 기준으로 COM까지로 계산되었다.

4. 통계처리

'앞 구르면서 다리로 볼 받기'의 성공과 실패에 따른 운동학적 차이를 알아보기 위해 SPSS 통계프로그램(IBM, USA)을

Table 1. Elapsed performance time and ball height in each phase and event between success and failure trials

Mean ± SD		P1	P2	P3	P4	P5	P1~P5	Ball flight
Time (s)	S	0.60±0.14	0.34±0.04	1.29±0.21	0.33±0.06	0.78±0.31*	3.34±0.26*	1.62±0.18
	F	0.62±0.19	0.33±0.04	1.17±0.27	0.44±0.19	0.51±0.31*	3.08±0.31*	1.62±0.24
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	Max height
Height (m)	S	1.23±0.24	0.51±0.10	1.78±0.08	2.95±0.41	0.80±0.18	0.13±0.06*	4.37±0.56
	F	1.19±0.21	0.52±0.11	1.77±0.09	3.26±0.76	0.95±0.88	0.37±0.26*	4.42±0.64

S: success, F: fail, *: indicates significant difference ($p < .05$)

Table 2. CoM variables in each phase and event between success and failure trials

Mean ± SD		P1	P2	P3	P4	P5				
CoM (m)	M-L	S	0.03±0.02	0.01±0.01	0.17±0.12	0.03±0.03	0.09±0.06			
		F	0.02±0.02	0.02±0.01	0.08±0.05	0.07±0.06	0.05±0.04			
	A-P	S	0.17±0.17	0.09±0.03	0.57±0.34	0.30±0.08*	0.70±0.11			
		F	0.17±0.15	0.08±0.02	0.62±0.38	0.54±0.28*	0.59±0.37			
	Vertical	S	0.16±0.06	0.26±0.04	0.47±0.04	0.09±0.05*	0.43±0.15*			
		F	0.17±0.07	0.27±0.04	0.45±0.11	0.25±0.16*	0.27±0.20*			
CoM velocity (m/s)	M-L	S	-0.03±0.04*	0.04±0.04	0.06±0.13	0.04±0.19	-0.04±0.15			
		F	0.01±0.04*	0.05±0.05	0.00±0.08	-0.03±0.17	-0.06±0.11			
	A-P	S	0.26±0.25	0.27±0.09	0.45±0.29	0.92±0.21*	0.95±0.19*			
		F	0.26±0.22	0.24±0.08	0.52±0.23	1.20±0.24*	1.15±0.20*			
	Vertical	S	-0.25±0.07	0.77±0.17	-0.36±0.07	-0.05±0.29*	-0.42±0.09*			
		F	-0.27±0.10	0.82±0.17	-0.37±0.11	-0.42±0.37*	-0.14±0.41*			
		E1	E2	E3	E4	E5	E6			
CoM – Ball displacement (m)	M-L	S	-0.12±0.09	-0.14±0.11	-0.08±0.06	-0.01±0.01	-0.02±0.04	0.00±0.03		
		F	-0.16±0.09	-0.15±0.09	-0.08±0.05	-0.01±0.04	0.01±0.07	-0.05±0.62		
	A-P	S	-0.50±0.09	-0.14±0.10	-0.60±0.05	-0.10±0.11*	0.19±0.08*	-0.38±0.06		
		F	-0.52±0.09	-0.13±0.13	-0.63±0.05	-0.37±0.41*	-0.07±0.38*	-0.53±1.41		
	Vertical	S	-0.32±0.23	0.25±0.06	-0.77±0.07	-2.39±0.42	-0.25±0.07	0.09±0.04*		
		F	-0.26±0.18	0.24±0.08	-0.74±0.06	-2.67±0.72	-0.55±0.81	-0.13±0.26*		

S: success, F: fail, M-L: center of mass is located to the left (-) and to the right (+) relative to the ball, A-P: center of mass is located behind (-) and in front (+) relative to the ball, Vertical: center of mass is located above (-) and below (+) relative to the ball, *: Indicates significant difference ($p < .05$)

사용하여 독립 t -test (independent t -test)를 수행하였으며, 이때 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

RESULTS

본 연구는 리듬체조 볼 종목 수행동작 중 '앞 구르면서 다

Table 3. Low extremity joints and trunk angles in each event between success and failure trials

Mean ± SD		E1	E2	E3	E4	E5	E6
Ankle joint angle (°)	S	-25.01±12.41	20.00±23.37	-37.82±1.53	27.64±11.67	-37.52±2.67*	-22.85±26.77
	F	-29.23±11.25	14.27±25.88	-37.84±1.96	20.15±23.20	-18.40±25.60*	-21.76±26.69
Knee joint angle (°)	S	0.65±5.90	-57.70±15.23	-0.88±3.88	-52.96±12.17	-105.95±12.60	-85.31±38.54
	F	-1.22±6.27	-57.55±17.27	-4.13±5.98	-46.35±20.38	-89.46±28.78	-82.87±29.06
Hip joint angle (°)	S	-1.70±10.79	52.13±19.25	2.68±6.66	103.48±5.52	86.41±9.15	69.42±23.54
	F	6.73±16.00	55.24±15.52	3.66±5.33	96.04±25.38	84.98±16.00	69.27±16.24
Shoulder joint angle (°)	S	69.39±29.10	12.65±14.57	94.65±8.28	120.83±13.44	88.63±89.45	-5.72±32.29
	F	63.17±28.95	12.79±23.73	98.24±13.27	115.66±38.59	55.49±95.46	17.94±37.83
Elbow joint angle (°)	S	16.23±22.49	23.40±20.33	17.35±29.18	5.00±20.40	86.14±32.81	51.30±26.47
	F	19.73±21.08	23.26±21.29	7.32±13.55	17.68±23.00	84.11±41.60	57.98±30.43
Torso segment angle (°)	S	4.80±6.22	-21.12±6.02	16.21±6.53	-108.02±20.01	-188.39±29.57	-328.06±9.68
	F	4.11±3.35	-20.74±11.77	11.98±7.50	-108.59±31.83	-228.92±69.75	-331.47±12.76

S: success, F: fail, Ankle: dorsi flexion (+)/ plantar flexion (-), Knee: extension (+)/ flexion (-), Hip: flexion (+)/ extension (-), Shoulder: extension (+)/ flexion (-), Elbow: flexion (+)/ extension (-), Torso: extension (-)/ flexion (+)

*: Indicates significant difference ($p < .05$)

리로 볼 받기' 동작의 성공과 실패에 따른 운동학적 차이를 알아보기 위하여 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 소요시간과 볼의 높이

본 연구결과 볼 잡고 구르기(P5) 구간과 전체 구간에서 성공동작이 실패동작에 비하여 통계적으로 유의하게 긴 소요 시간을 나타내었다(Table 1, $p < .05$). 또한 통계적으로는 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 실패동작이 성공동작보다 구르면서 볼 잡는(P4) 구간에서 0.11s 더 긴 시간을 소모한 것으로 나타났다. 더불어 볼의 높이의 경우 최고 높이는 차이가 없었으나 볼을 다리고 받는 시점인 E4부터 동작이 끝나는 E6까지 성공동작이 실패동작에 비하여 낮은 위치에서 볼을 받는 경향을 나타내었으며 본 연구동작의 끝임과 동시에 다른 동작으로 연결이 시작되는 E6에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 1, $p < .05$).

2. 구간 별 신체무게중심 변화 및 시점별 볼과 신체무게중심 간 변위

본 연구결과 P4에서 성공동작의 신체중심은 실패동작에 비하여 통계적으로 유의하게 뒤쪽과 아래쪽에 그리고 P5에서는 뒷쪽에 위치하는 움직임을 나타내었다(Table 2, $p < .05$). 또

한 신체무게중심 속도는 P1에서 성공과 실패동작 사이에 통계적으로 유의한 좌우 속도 차이를 나타내었으며, 전후 속도와 수직 속도의 경우 P4와 P5에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 2, $p < .05$). 마지막으로 동작 중 볼과 신체 질량중심 변위는 E4와 E5에서 성공과 실패동작 사이에 통계적으로 유의한 전후 변위 차이를 나타내었으며 E6에서는 수직 변위의 차이를 나타내었다(Table 2, $p < .05$).

3. 시점 별 관절각도 및 몸통 분절각도

시점 별 시상면에서의 관절각도(joint angle)에 대한 결과를 살펴보면, 하지각도에서 발목관절각도는 성공동작이 실패동작에 비해 E5에서 통계적으로 유의한 큰 차이를 보였지만(Table 3, $p < .05$), 나머지 관절각도와 몸통 분절각도에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 3, $p > .05$).

DISCUSSION

리듬체조 볼 경기 동작 중 '앞 구르며 다리로 볼 받기' 동작은 시야가 차단된 상황에서 다리를 이용하여 볼을 받아야만 하며, 경기의 성패를 좌우할 수 있는 0.4점의 고난도의 기술이다. 그러나 이 동작은 다른 난도 동작들과 다르게 시야가 차단된 상황에서 기술을 수행해야 하는 어려움이 있으며, 특

히 동작을 실패할 경우 감정 요인 뿐만 아니라, 다음 기술 연결이 어렵기 때문에 전체 연기의 획득점수를 떨어뜨리는 결과 초래할 수 있어 선수나 코치들은 시합 전 이 동작의 포함을 심각하게 고려하고 있다. 따라서 본 연구는 '앞 구르며 볼 받기 동작'의 성공과 실패에 따른 운동학적 차이들을 알아내어 경기력 향상에 도움을 주고자 수행되었다.

선수들은 성공적인 동작 수행을 위해서 동작의 각 구간 특성에 맞는 시간을 사용해야만 한다. 즉, 구르기 동작은 빠른 움직임(적은 시간을 소모)을 통해 볼을 받을 준비시간에 여유를 가져야 하며 구르기가 끝나고 다음 기술로 연결되는 연구 동작의 마지막 부분에서는 가능한 최대한의 시간을 소모하여 안정적으로 다음 기술을 시도하여야 한다. 본 연구결과 전체 동작소요시간과, P5에서 성공동작이 실패동작에 비하여 통계적으로 유의하게 긴 동작소요시간을 나타내었다(Table 1, $p < .05$). 더불어 통계적으로 유의하지는 않지만 성공동작이 실패동작에 비하여 P3에서는 10% 이상 긴 소요시간을 나타내었으며, P4에서는 40% 짧은 소요시간을 나타내었다(Table 1, $p > .05$). P3는 던져진 볼이 최대 높이까지 도달한 후 낙하하는 구간임과 동시에 선수들이 앞 구르기 동작을 준비하는 구간으로 선수들은 볼이 투사되는 방향을 확인하고 낙하지점을 판단해야 하는 본 동작의 성패를 좌우할 수 있는 매우 중요한 구간이다(Adashevskiy et al., 2014). 많은 연구자들은 볼을 이용하는 축구, 배구, 야구, 테니스와 같은 스포츠에서 볼의 움직임을 정확하게 예측하기 위해서는 효과적인 시각탐색 전략이 필요하며(Hyllegard, 1991; Kim, Lee & Park, 2005; An & Lee, 2020), 볼에 시선을 고정하는 시간이 증가할 수록 볼의 방향을 성공적으로 예측할 수 있다고 보고하고 있다(Kim & Lee, 2006). 따라서 본 연구의 결과는 P3에서 선수는 보다 긴 시간 동안 동안 볼의 투사방향을 관찰 수 있는 조건을 확보함으로써 정확한 낙하지점을 예측하여 동작의 성공을 이끌어 낸 것으로 판단된다. 또한 던져진 볼을 구르면서 받는 구간인 P4는 선수가 빠르게 몸을 굴러서 볼을 잡는 동작에 여유를 제공해야만 하는 구간이다. 본 연구의 결과에 나타났듯이 성공동작의 경우 빠른 구름을 통해 볼의 잡을 여유를 가진 것으로 보이며 실패동작은 그러한 여유를 제공하지 못하여 볼 잡기에 실패한 것으로 보여진다. 결론적으로 성공동작에서 나타난 P3와 P4의 효율적인 시간사용은 본 연구동작을 마무리하고 다음 기술로 연결되는 구간인 P5에서 통계적인 차이를 유발시키는 원인을 제공한 것으로 생각되며, 전체적인 경기력 향상을 위해서 선수들은 본 연구 동작의 마지막 구간에서 가능한 충분한 여유시간을 가지면서 다음 기술을 준비해야 할 필요가 있다고 생각된다. 그러나 본 P5의 소요시간의 결과는 이미 볼 받기를 실패한 실패동작의 경우 더욱 여유를 가지고 다음 기술을 준비해야 함에도 불구하고 실패를 만회하고자 급하게 움직임을 수행한 것으로 생각되며, 동작의

실패의 경우에도 이후 기술동작의 성공을 위해서 이 구간에서 여유를 가질 필요가 있다고 생각된다.

본 연구에서는 추가적으로 동작 중 볼의 수직 높이에 대하여 알아보았다. 본 연구동작은 선수에 의해 던져진 볼을 선수가 얼마나 안정되게 잡아서 구르느냐로 성공과 실패가 결정되며, 궁극적으로 선수가 볼을 얼마나 편하게 받게 만드는 조건을 만드느냐가 이 동작의 성공에 중요한 역할을 할 것이라고 생각된다. 즉, 선수에 의해 던져진 볼은 정점에서 자유낙하를 하기 때문에 높은 정점에 도달한 볼은 빠른 속도로 선수에게 내려와 시선이 제한된 상황에서 선수가 볼을 안정적으로 받기에 어려움을 줄 것으로 생각된다. 본 연구결과 선수가 볼을 던지기 위한 준비단계인 E1에서 E3에서는 성공과 실패동작 모두가 비슷한 볼의 높이를 나타내었으나 볼이 투사된 이 후에는 실패동작이 성공동작에 비하여 높은 볼의 수직 높이를 나타내었으며 E6에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 1, $p < .05$). 특히 성공동작의 경우 실패동작에 비하여 더 낮은 볼의 정점(E4)을 나타내어 선수가 볼을 보다 안정적으로 받을 수 있는 상황을 만든 것으로 보이는 반면 실패동작의 경우는 선수가 자신의 생각보다 볼을 높이 던져 불안정한 다음 동작으로 연결된 것으로 생각된다(Lugade, Lin & Chou, 2011). 이러한 결과는 통계적인 차이는 나지 않았지만 볼을 던지는 E3의 상체 관절움직임에서 확인할 수 있는데, 본 연구결과 볼을 던지기 위한 준비단계인 E2에서 성공과 실패동작 모두 비슷한 상체관절각도를 보이고 있으나, 볼을 투사하는 시점인 E3에서 실패동작이 성공동작에 비하여 더 큰 어깨관절 신전, 팔꿈치관절 굴곡, 그리고 몸통 신전을 나타내었다(Table 3, $p > .05$). 즉, 선수들은 실패동작에서 어깨관절과 몸통관절을 더 신전 시키며 볼의 투사 속도를 증가시켜 더 높은 볼의 정점을 만들어낸 것으로 보여지며, 특히 볼 투사 시 굴곡된 팔꿈치관절은 일정하지 않은 볼의 투사를 유발해 선수가 볼의 방향성을 예측하기 어려운 상황을 만들고 있는 것으로 생각되어진다(Ryu, Yoo, Park & Yoon, 2012). 따라서 선수나 지도자들은 투사동작 시 일정한 상체관절의 움직임을 고려해야 할 것으로 생각되어진다.

본 연구에서는 연구동작 중 성공과 실패동작에 따른 CoM 변인들의 변화를 확인하였다. 연구결과 P1에서 성공동작이 실패동작에 비하여 통계적으로 유의하게 큰 좌우 CoM 속도를 나타내었다(Table 1, $p < .05$). P1은 팔 다운스윙 구간으로 앞으로 뻗은 양팔을 볼을 투사하기 위하여 가장 밑으로 내리는 구간이다. 선수들은 동작 수행 초기 볼을 던지기 위한 반동을 주기 위해 볼을 시선 높이까지 들어 올린 후 볼을 아래로 내리면서 하지관절을 굽히는 동작을 취하는데, 이때 수행된 선수의 잘못된 동작은 기술의 성공과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 동작 수행의 초기 자세는 매우 중요하다고 알려져 있다(Park & Yoon, 2017). 그러나 본 연구에서 나타난 결과는

선수들의 동작성공과 실패에 큰 영향을 미치지 않았을 것이라고 생각된다. 즉, P1은 본 연구동작의 시작 구간으로 수직 움직임이 주로 나타나는 구간인데 선수들의 수직움직임이 성공과 실패동작에서 거의 유사한 값을 나타내고 있는 결과를 확인할 때 본 연구의 결과는 선수들의 예술적인 모습을 심판들에게 보이려는 개인적인 습관에 의한 것으로 보여진다.

그러나 P4에서 실패동작은 성공동작에 비하여 통계적으로 유의하게 앞쪽과 뒷쪽에 나타난 CoM 위치와 빠른 전진과 하방 속도를 나타내었다(Table 2, $p < .05$). 본 연구동작에서 P4는 바닥에 손을 짚고 앞 구르기를 준비하는 순간(E4)부터 앞 구르기를 수행하며 볼을 다리로 잡는 순간(E5)까지의 구르면서 볼을 잡는 구간으로 실질적인 동작의 성패를 결정짓는 매우 중요한 구간이다. 따라서 본 연구에서 나타난 P4에서 성공과 실패동작 간의 뚜렷한 차이는 선수들과 지도자들에게 매우 중요한 의미를 가진다고 생각된다. 이 구간의 성공을 위해서 선수는 몸을 구른 후 다리를 뺀어 공을 잡아야 하며, 다리를 뺀을 때 이전의 구르면서 발생하였던 전방움직임을 최소화하여야 한다. 그러나 실패동작의 경우 성공동작에 비하여 보다 전방으로 위치한 CoM과 빠른 전방 속도를 나타냄으로써 불안한 볼 잡는 상황을 만든 것으로 보인다. 더불어 이 구간에서 성공동작에 비하여 나타난 높은 CoM 수직 위치는 상지관절의 과다한 사용으로 인하여 발생된 빠른 투사 속도에 의해 더 높이 투사된 볼을 잡기 위해 하지를 더 위로 뺀어 안정적이지 않은 몸의 정렬을 만들고 있는 것으로 생각되어진다. 마지막으로 실패동작에서 보여진 하방으로의 빠른 CoM 속도는 이 구간에서 몸이 위쪽으로 움직여야 함에도 불구하고 불안한 몸의 정렬 때문에 자세를 유지 못하고 있는 것으로 보이며, 이러한 상황에서 선수는 다리로 볼을 강하게 잡지 못했기 때문에 실패하였다고 생각된다. 이러한 생각을 좀더 현실적으로 표현하면 E4 이후부터는 선수는 더 이상 눈으로 볼을 추적할 수 없고 P3에서 판단한 볼의 낙하 예상 위치를 향해 앞 구르기 동작을 수행해야 한다. 그러나 실패동작의 경우 선수가 P3에서 볼을 예상보다 전방으로 더 멀리 투사시켰기 때문에 볼과 신체무게중심 간의 큰 전후 변위가 발생되었으며(Table 2, $p < .05$), 이러한 결과를 만회하기 위하여 선수는 볼의 위치까지 빠르게 도달하기 위해 전방으로 빠르게 움직여야 했던 것으로 판단된다. 그리고 유의한 차이는 나타나지 않았으나 P4에서 보여진 성공동작의 더 짧은 소요 시간은 현장에서 성공적인 동작을 표현하는 "짧고 간결하게 동작을 수행했다"에 일치한다고 판단되며, 본 연구의 실패동작에서 보여지는 볼과의 거리가 멀어 빠르게 움직이는 동작을 "급하게 동작을 수행한다"고 하는 현장의 표현과 일치한 결과라고 생각된다.

또한 본 연구결과 다리로부터 볼을 캐치하는 시점인 E5에서 성공동작은 신체질량중심이 볼에 비해 전방에 위치한 반면, 실패

동작은 볼에 비해 후방에 위치하였고(Table 2, $p < .05$), P5에서 성공동작의 발목관절은 실패동작에 비해 큰 발바닥 굽힘 각을 나타내었다(Table 3, $p < .05$). 이러한 결과로 미루어 볼 때 실패동작은 E4에서 볼과 신체무게중심이 전방으로 멀리 떨어져 있었지만 앞 구르기 동작을 수행하고 난 후에도 여전히 볼의 위치까지 이동하지 못한 것으로 보이며 이러한 결과는 P3에서 충분한 시간을 사용하지 못하여 볼의 낙하지점의 예측이 잘못되었기 때문이라 판단된다. 그리고 본 연구의 발목 각도에 대한 결과는 발목의 각도가 동작의 실패에 영향을 주었다고 해석하기 보다는 볼 낙하지점의 잘못된 예측으로 볼을 캐치하는 시점에서 볼과의 위치가 전방으로 멀리 위치해 있었기 때문에 볼을 잡는 동작을 수행하지 못하고 앞 구르기 동작의 자세가 흐트러지면서 나타난 결과라고 판단된다.

본 연구결과 동작의 마지막 구간인 공잡고 구르기 구간(P5)에서 성공동작이 실패동작에 비하여 통계적으로 유의하게 높은 CoM 수직 변위, 느린 전방 속도 그리고 빠른 하방 속도를 나타내었다(Table 2, $p < .05$). 이러한 결과는 이전의 구간과 연결해서 해석해야만 한다. 즉, 성공동작의 경우 E5에서 볼을 단단하게 잡은 후 안정되고 빠른 구르기를 시도하고 있었기 때문에 이러한 결과를 보인 반면 실패동작의 경우 볼을 예상한 위치에서 캐치하지 못한 상태로 앞 구르기 동작이 계속해서 수행되고 있었기 때문에 작은 수직 변위와 느린 수직 속도가 나타난 것으로 판단된다.

본 연구에서 나타난 결과를 종합해보면, 볼을 던지는 과정에서의 성공동작과 실패동작의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 성공적인 동작을 수행하기 위해서는 손 짚기에서부터 마무리시점까지 볼과 신체무게중심과의 좌우, 전후, 수직 변위 모두 짧은 간격을 유지할 필요가 있고, 볼을 캐치하는 시점에서는 볼보다 신체무게중심이 전방에 위치해야 하는 것을 알 수 있었다. 본 연구는 앞 구르며 볼 받기 동작 성패에 따른 차이를 통해 고난도의 볼 받기 성공 확률을 향상시키기 위해 진행되었으며, 연구결과를 통해 높은 득점을 얻기 위한 지도방법으로 리듬체조 지도자들과 선수들에게 의미 있는 자료가 될 것으로 생각되어지지만, 현재 세계대회에 참여하는 우수선수들의 연기력과 한국 선수들과의 연기의 차이가 아직 크다고 판단되기 때문에 세계대회 선수들과 한국 선수들간의 분석을 통해 경기력을 향상시키기 위한 후속연구가 더 필요하다고 생각되어진다.

CONCLUSION

본 연구는 앞 구르며 볼 받기 동작의 성공과 실패에 따른 운동학적 차이들을 알아내어 경기력 향상에 도움을 주고자 본 연구를 수행하였다. 연구결과 실패동작은 성공동작보다 소요시간이 짧고 신체무게중심의 속도에 차이가 나타났으며,

볼이 신체무게중심과 멀리 떨어져 있는 결과를 나타내었다. 따라서 성공적인 동작을 수행하기 위해서는 손 짚기에서부터 마무리시점까지 볼과 신체무게중심과의 좌우, 전후, 수직 변위 모두 짧은 간격을 유지할 필요가 있고, 볼을 잡을 때 신체무게중심을 볼 보다 앞으로 이동시켜야 성공적인 동작 수행이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Adashevskiy, V. M., Iermakov, S. S., Logvinenko, Y. I., Cieślicka, M., Stankiewicz, B. & Pilewska, W. (2014). Individual athletes' biomechanical features of interaction with objects in art gymnastics. *Pedagogics, Psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports*, 6, 3-12.
- An, J. S. & Lee, S. M. (2020). The visual search strategy of elite tennis player's serve return task depending on success and failure. *The Korea Journal of Sports Science*, 29(3), 271-281.
- Andreyeva, N. O. (2013). Key elements of sports techniques of ball throwing and catching by those engaged in rhythmic gymnastics at the stage of preliminary basic preparation. *Journal of Physical Education & Sport*, 13(1).
- Baek, G. R. (2000). Kinematic analysis of the side balance and side flexibility linking motion in the rhythmic gymnastics. (Master's dissertation). Hanyang University.
- Federation Internationale de Gymnastique. (2022). 2022-2024 coed of points. https://www.gymnastics.sport/publicdir/rules/files/en_2022-2024%20RG%20Code%20of%20Points.pdf.
- Hyllegard, R. (1991). The role of the baseball seam pattern in pitch recognition. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 13(1), 80-84.
- Kim, J. S., Lee, S. M. & Park, S. H. (2005). Utilizing advanced visual cue, anticipation, and expertise of goalkeeper in soccer penalty kick. *The Korean Journal of Physical Education*, 44(1), 91-101.
- Kim, J. M. (2017). *The analysis of upper limb muscle activation depending on age and ball weight at ball catching motion of rhythmic gymnastics* (Doctoral dissertation). Hanyang University.
- Kim, S. & Lee, S. (2006). Gaze behavior of elite soccer goalkeeper in successful penalty kick defense. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 18(1), 96-105.
- Lugade, V., Lin, V. & Chou, L. S. (2011). Center of mass and base of support interaction during gait. *Gait & Posture*, 33(3), 406-411.
- Park, J. & Yoon, S. (2017). Kinematic analysis of back somersault pike according to skill level in platform diving. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 27(3), 157-164.
- Ryu, J. S., Yoo, S. H., Park, S. K. & Yoon, S. H. (2012). Comparisons between skilled and less-skilled players' balance in hakdariseogi. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(1), 55-63.
- Shim, S. Y. (1998). Optimal modeling study of the stag ring leap motion in rhythmic sports gymnastics (Master's dissertation). Hanyang University.
- Woo, B. H. & In, H. K. (2000). Analysis of Kinematic on Balance Motion in the Rhythmic Sport Gymnastic. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 10(1), 67-79.
- Yi, K. O. & Kwon, B. Y. (2005). Differences in vertical ground reaction force according to the use of insoles for vertical jumps in rhythmic gymnastics. *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women*, 19(4), 85-92.