

연속 회전점프 시 시각선택과 회전순서가 도약과 착지에 미치는 영향

우병훈[†]

경기대학교 체육학과, 교수
(2022년 9월 21일 접수: 2022년 10월 29일 수정: 2022년 10월 29일 채택)

Effects of visual selection and rotation order on take-off and landing during sequential rotational jumping

Byung-Hoon Woo[†]

Department of Physical Education, Kyonggi Univ.

(Received September 21, 2022; Revised October 29, 2022; Accepted October 29, 2022)

요약 : 본 연구의 목적은 국내 발레단 소속 여자 무용수를 대상으로 연속 회전점프 시 시각선택과 회전 순서에 따른 차이를 도약과 착지구간으로 분류하여 비교하였다. 10명의 대상자(연령: 26.0 ± 2.9 yrs, 신장: 163.4 ± 3.3 cm, 체중: 46.8 ± 3.6 kg, 발레경력: 12.3 ± 5.9 yrs)가 연구에 참여하였다. 3차원 동작분석기와 지면반력기를 이용하여 신체중심의 높이와 도약과 착지 시 지면반력을 측정하였다. 시각선택(양눈 사용, 왼 눈 사용, 오른눈 사용)과 회전순서(첫번째 회전점프, 두 번째 회전점프)에 따른 차이를 반복측정 이원변량 분석을 통하여 분석하였다. 신체중심의 높이는 첫 번째 회전점프가 높게 나타났다. 도약 시 지면반력의 좌 우힘은 좌우발 모두 두 번째 회전점프에서 왼발은 외측힘, 오른발은 내측힘이 강하게 나타났고, 전후힘은 오른발에서 첫 번째 회전점프 시 전방힘이 강하게 나타났으며, 수직힘은 좌우발 모두 차이가 없었다. 착지 시 전후힘은 왼발에서 두 번째 착지에서 후방힘이 강하게 나타났고, 오른발은 왼쪽 시각 사용에서 후방힘 이 강하게 나타났다. 수직힘은 왼발에서 두 번째 착지, 오른발은 첫 번째 착지에서 강하게 나타났다.

주제어 : 회전, 연속점프, 지면반력, 시각선택, 회전순서

Abstract : The purpose of this study was to compare the differences according to the visual selection and rotation order during sequential rotational jump for female dancers of a Korean ballet company by classifying them into take-off and landing sections. 10 subjects (age: 26.0 ± 2.9 yrs, height: 163.4 ± 3.3 cm, weight: 46.8 ± 3.6 kg, ballet career: 12.3 ± 5.9 yrs) participated in the study. Using a 3D motion analyzer and a force platform, the height of the body center and the ground reaction force during take-off and landing were measured. According to the visual condition (using both eyes, using left eye, using right eye) and rotation order (first rotation, second rotation), it was

[†]Corresponding author
(E-mail: woowoo@kgu.ac.kr)

analyzed through repeated measurement two-way analysis. Height of the CM was higher in the first jump. In take-off, F_x was lateral force of left foot and medial force of right foot were strong in second rotation, and F_y was forward force was strong in first rotation of right foot. F_z was no significant. In landing, F_y showed backward force was strong when landing the second time from the left foot, and the backward force was strong when using the left sight from the right foot. F_z was strong on the second landing on the left foot and the first landing on the right foot.

Keywords : Rotation, Sequential Jump, Ground Reaction Force, Visual Selection, Rotation Order

1. 서론

점프는 지면으로 하지의 힘을 작용시킨 후 반작용으로 신체를 공중에 띄우는 도약[1]과 점프 이후 자유낙하로 인한 착지로 이루어져 있다[2]. 특히 강한 도약은 점프높이를 증가시키고, 증가된 높이는 위치 에너지의 상승으로 착지 시 충격력을 증가시켜 부상의 위험성이 높아질 수 있다[3, 4]. 이와 같이 도약과 착지는 밀접한 관련이 있는 관계라고 할 수 있지만, 인간의 도약은 점프높이에서 분명한 한계가 있고 착지는 드롭착지와 같이 높이의 제한이 없다. 따라서 도약 시 더 높은 점프높이를 위하여 운동수행에 관한 연구가 진행되고 있고, 착지 시 부상이나 상해 메커니즘에 관한 연구가 주를 이루고 있다.

회전동작은 어지럼증을 유발하는 동작으로[5], 주로 점프와 함께 피겨스케이팅, 기계체조, 발레 등에서 고난도 기술로 사용되고 있다. 이러한 종목들은 회전점프를 단일 동작 또는 연속적인 동작으로 수행하는 경우가 빈번하고, 회전점프나 회전동작 후 안정적인 동작의 연속적인 수행이 필수적이다. 회전점프 수행은 도약 시 충분한 점프 높이, 빠른 회전속도, 안정적인 착지 자세가 요구된다. 일반적으로 기계체조 선수들은 복잡한 기술을 수행할 때 기술에 따라 달라지는 눈-머리 협응 패턴을 사용하여 적절한 위치로 시선을 이동하고[6, 7], 회전동작 시 머리의 움직임과 자세를 유지하기 위해 시각정보는 필수적이라고 하였다[8]. 이렇게 시선을 특정 물체와 위치로 향하게 하는데 사용하는 기술을 스팟팅(spottting)이라고 한다[9, 10, 11]. 공중동작을 수행할 때 도약 중 특정 지점의 고정을 통해 얻은 시각정보는 신체의 최적 위치 지정과 초기 회전 및 충격을 제어하는데 사용할 수 있고[7], 착지 전에 수집된 정보는 착지 준비와 수행을 향상시킬 수 있다[12, 13].

이는 시각 정보가 도약과 착지를 수행하는 점프 동작 시 중요한 역할뿐만 아니라[14], 자세제어에서도 중요한 요인이 된다[15]. 본 연구에서는 기존의 스팟팅을 이용한 연구를 세분화하여 좌우 각각의 시각에 따라 자세제어에 미치는 영향을 보고자 하였다. 또한 발레의 빠루엣 앙 디올의 동작에서 회전점프 후 오른발을 위로 올린 후 착지하기 때문에 높은 신체중심으로 인하여 회전력을 감소시켜 균형유지에 도와주는 요인으로 이용된다[16]. 하지만 연속되는 회전점프는 회전수가 증가할수록 안정성이 감소되고 불균형이 유발된다[16, 17]. 이러한 이유로 연속된 회전점프 시 시각선택과 회전순서가 도약과 착지의 자세에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

선행연구는 점프 시 도약과 착지, 회전운동 및 회전점프 등의 연구를 참고로 하였다. 회전관성 증가가 회전 수행에 미치는 영향을 통하여 회전점프 시 지면에 가해지는 수직력이 감소된다고 보고하였고[18], 남자 체조 선수들의 풀턴 점프 시 시선이동 패턴에 대한 연구를 통하여 특정 응시 행동으로 얻은 시각정보는 필요한 회전량을 생성하고 전신 회전을 포함하는 공중 기술에서 정확한 착지를 수행한다고 보고하였다[19]. 시각 정보는 착지 시 신체와 지면과의 거리를 지각하는 사전 정보를 통하여 충격흡수에 도움이 된다고 보고하였다[20]. 발레무용수는 빠루엣 앙 디올 동작에서 회전수가 증가할수록 안정성이 감소하였고[16], 발레의 푸에페 앙 디오르 동작에서 32회전 중 초반(2-4회전), 중반(15-17회전), 후반부(29-31회전)로 나누어 분석한 결과에서 초반에는 회전부족, 후반에는 신체의 불균형이 나타났다고 보고하였다[17].

이와 같이 다양한 선행연구는 있지만 시각선택 특히 좌우눈의 시각선택 사용에 따라 연속 회전점프 시 점프 간 도약과 착지에 미치는 영향에

대해 연구된 적이 없었다. 이에 본 연구의 목적은 연속적인 회전점프 수행이 빈번하고 가장 적절히 수행할 수 있는 발레무용수를 대상으로 연속 회전점프 시 시각선택과 회전순서 간 비교를 도약과 착지를 통하여 신체중심 높이와 지면반력에 미치는 영향을 알아보고 연속 회전점프 수행 훈련에 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험

2.1. 연구대상

본 연구의 대상자는 최근 6개월 이상 하지관련 상해가 없었고, 점프동작에 충분히 수행할 수 있는 서울 소재 S발레단 여자 무용수 10명(연령: 26.0 ± 2.9 yrs, 신장: 163.4 ± 3.3 cm, 체중: 46.8 ± 3.6 kg, 발레경력: 12.3 ± 5.9 yrs)이 참여하였다. 연구자는 연구대상자들에게 실험에 참여하기 전 연구목적 및 실험과정에 대한 충분한 설명을 하였고 자발적인 참여의사를 통해 실험을 진행하였다.

2.2. 측정도구 및 절차

측정도구와 분석프로그램은 다음과 같다(Table 1).

연구의 변인은 신체중심의 최대 높이와 지면반력 요인을 산출하여 분석하였다. 신체중심의 최대 높이는 도약의 수행을 측정하기 위하여 선정하였고, 지면반력은 도약과 착지 시 힘을 측정하기 위하여 선정하였다.

연속 회전점프 시 신체중심을 구하기 위하여 6대의 적외선 고속 카메라(sampling rate: 120 Hz, shutter speed= 1/1000s)와 3차원 동작분석 시스템을 이용하였고, 좌표계 설정을 위하여 통제 점틀($4 \times 2 \times 1$ m)을 설치하여 전역좌표계를 설정

하였다. 연속 회전점프 시 신체중심 산출을 위하여 인체의 각 관절점 부위에 반구형의 반사 마커 18개를 부착하였다. 연속 회전점프 시 지면반력을 분석하기 위하여 두 대의 지면반력기를 이용하였고, 지면반력기에서 좌우힘(Fx), 전후힘(Fy), 수직힘(Fz)을 산출하여 분석하였다.

시각선택은 3가지로 분류하였고(양쪽 눈을 뜬 상태: 양눈, 왼쪽 눈만 뜬 상태: 왼눈, 오른쪽 눈만 뜬 상태: 오른눈), 눈을 가리는 방법은 안대를 이용하여 해당 시각을 선택하도록 하였다. 준비 자세는 점프 시 팔사용에 대한 영향을 제한하기 위하여 양손은 양쪽 허리에 고정하고 발 사이의 거리는 어깨넓이로 하여, 지면반력기 위에서 준비 자세를 취하도록 하였다. 각 3가지 시각선택은 학습효과를 방지하기 위하여 무작위로 실시하였고, 회전점프가 완료되면 마지막 착지 후 균형이 유지되면 무릎관절을 완전히 신전하도록 하였다. 2번의 도약과 착지 시 발이 지면반력기를 이탈하거나 넘어지면 재시도하였다. 모든 연속점프 수행은 시각선택에 따라 3번씩 수행하였고, 모든 회전점프는 오른쪽 방향으로 선정하였다.

2.3. 자료처리

신체분절 중심의 좌표화는 인체분절지수(body segment parameter)를 이용하였고[21], 2차원 좌표값은 DLT 방식[22]을 이용하여 3차원 공간 좌표값을 산출하였다. 수집된 영상자료의 디지털화(digitizing) 시 3차원 좌표값 오차는 필터 처리하였고, 자료분석 과정에서 발생할 수 있는 노이즈 제거를 위하여 디지털 필터링(digital filtering)으로 스무딩(smoothing) 하였고, 차단주파수(cut-off frequency)는 10 Hz로 하였다.

지면반력기는 자료수집 시 1000 Hz로 샘플링하였고, 2대의 지면반력기로 수집한 자료는 분석 프로그램을 이용하였다. 지면반력자료는 저역통과

Table 1. Experimental equipment and analysis programs

equipments	size type	manufacturer
infrared camera	Motion Master100 × 6	Visol(korea)
force platform	AMTI OR6-7-2K × 2	AMTI(USA)
motion analysis program	Kwon3D XP	Visol(korea)
GRF analysis program	Kwon3D GRF 2.0	Visol(korea)
computer	Multicapture Controlle	LG(korea)
control object	Control Point Box	Visol(korea)

필터 20 Hz를 적용하여 노이즈를 제거하였다 [23].

2.4. 통계처리

본 연구의 통계처리는 SPSS 25.0(IBM, USA)을 이용하여 신체중심 높이와 지면반력값의 평균과 표준편차를 구하였다. 세 가지 시각선택(양눈, 왼눈, 오른눈)과 회전순서(첫 번째 회전점프, 두 번째 회전점프)에서 도약과 착지 대한 차이를 분석하기 위하여 반복측정 이원변량분석(Two-way ANOVA with repeated measure)을 이용하였고, 사후검증(post-hoc)은 LSD를 이용하였다. 모든 통계치의 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 신체중심의 최대 높이

신체중심의 높이는 도약 후 신체중심이 정점에 이르는 순간을 의미한다. 신체중심의 최대 높이는 도약 및 착지 지면반력 결과의 인과관계를 증명할 결과로 제시하였다(Table 2).

신체중심의 높이는 시각선택에 따라 차이는 나타나지 않았지만, 회전수에 따른 차이가 나타났고($F=300.596$, $p=.000$), 첫 번째 점프가 두 번째 점프보다 신체중심이 높게 나타났다. 하지만 상호작용이 나타나지 않았다. 연속점프에 대한 선행연구를 살펴보면, 60초 동안 연속 수직점프에서 발생하는 근피로 야기를 통해 피로 전, 피로 전반, 피로 후반에 발생하는 역학적 비교를 통해 대부분의 운동학적 변인이 후반부로 갈수록 약화되었다고 보고하였다[24]. 본 연구에서는 2회 연속 회전점프였지만 두 번째 점프에서 높이가 낮아진 결과를 통하여 도약 및 착지 시 지면반력에서 원

인을 찾을 것이다.

3.2. 도약 시 지면반력

지면반력에서 Fx 값은 내(-)외(+), Fy 값은 전(+), 후(-) 방향, Fz 값은 수직(+) 방향의 힘을 의미한다. 도약 시 지면반력의 결과는 <Table 3>와 같다.

Fx는 왼발에서 시각선택에 따른 차이는 나타나지 않았지만, 회전수에 따른 차이가 나타났고($F=95.079$, $p=.000$), 첫 번째 도약보다 두 번째 도약 시 외측힘이 강하게 나타났다. 오른발도 시각선택에 따른 차이는 나타나지 않았지만, 회전수에 따른 차이가 나타났고($F=11.256$, $p=.002$), 첫 번째 도약보다 두 번째 도약 시 내측힘이 강하게 나타났다. 하지만 좌우발 모두 상호작용은 나타나지 않았다. Fy는 왼발에서 시각선택과 회전수에 따른 차이가 나타나지 않았고, 오른발은 시각선택에 따른 차이는 나타나지 않았지만 회전수에 따른 차이가 나타났고($F=12.026$, $p=.002$), 첫 번째 도약이 두 번째 도약보다 전방힘이 강하게 나타났다. 하지만 좌우발 모두 상호작용은 나타나지 않았다. Fz는 좌우발 모두 시각선택과 회전수에 따른 차이와 상호작용이 나타나지 않았다.

도약과 관련된 선행연구를 보면, 텡스점프 시 에어로빅 선수와 비선수 비교에서 착지높이 40 cm의 텡스점프 도약 시 에어로빅 선수의 수직지면반력이 크게 나타났다고 보고하였다[25]. 회전점프 시 수직점프보다 수직지면반력이 감소되는데, 이는 회전점프 시 개별 근육 내의 기능적 충돌에 의해 수직점프 시 수직지면반력에 비해 69% 감소된다고 보고하였고[18], 텡스점프 시 도약방향에 따라 수직지면반력에 영향이 미친다고 하였다[26]. 드롭착지 시 착지와 도약 구간의 수직지면반력에서 도약 구간이 더 크다고 하였고

Table 2. Maximum height of the center of mass

eye	rotation order		factor	F	p	post-hoc
	J1	J2				
both	0.49±0.02	0.40±0.03	eye selection	1.217	.312	-
left	0.48±0.03	0.37±0.05	rotation order	300.596	.000***	J1 > J2
right	0.49±0.02	0.39±0.03	interaction	1.548	.231	-

Note. significant at *** $p < .001$

J1: first jump, J2: second jump

Table 3. Ground reaction force during take-off

		rotation order		factor	F	p	post-hoc	
force	foot	vision	TO1					TO2
Fx		both	0.131±0.030	0.228±0.065	eye selection	.010	.990	-
	left	left	0.137±0.024	0.225±0.054	rotation order	95.079	.000***	TO1 < TO2
		right	0.135±0.021	0.224±0.045	interaction	.102	.904	-
	right	both	-0.179±0.043	-0.215±0.062	eye selection	.186	.831	-
		left	-0.166±0.048	-0.207±0.051	rotation order	11.256	.002**	TO1 < TO2
		right	-0.183±0.054	-0.209±0.044	interaction	.173	.842	-
Fy		both	0.069±0.007	0.012±0.133	eye selection	1.996	.155	-
	left	left	0.077±0.018	0.091±0.022	rotation order	1.365	.253	-
		right	0.059±0.035	0.043±0.092	interaction	1.498	.242	-
	right	both	-0.188±0.032	-0.151±0.040	eye selection	.127	.881	-
		left	-0.190±0.038	-0.162±0.056	rotation order	12.026	.002**	TO1 > TO2
		right	-0.184±0.029	-0.168±0.037	interaction	.684	.513	-
Fz		both	1.261±0.161	1.376±0.398	eye selection	.142	.868	-
	left	left	1.289±0.190	1.256±0.284	rotation order	.021	.885	-
		right	1.312±0.162	1.252±0.198	interaction	1.158	.329	-
	right	both	1.223±0.130	1.315±0.310	eye selection	.039	.962	-
		left	1.249±0.151	1.321±0.293	rotation order	1.595	.217	-
		right	1.260±0.130	1.267±0.203	interaction	.323	.727	-

Note. significant at ** $p < .01$, *** $p < .001$

TO1: first take-off, TO2: second take-off

27], 이러한 결과가 시각유무에 상관없이 나타난다고 보고하였다[28]. 주 사용 손발과 회전 방향성에 따른 분석에서 왼쪽보다 오른쪽으로 회전할 때, 회전 직후 전후힘에 큰 추진력 및 제동력을 부하하고 좌우힘에 대해 내외측의 평형능력을 지지하는 발에 의지가 높다고 보고하였고[29], 무용 Turn-out 수직점프 시 이상적인 수직지면반력 유형으로 도약 시 수직지면반력 정점이 착지 시 정점보다 큰 것이 좋다고 제시하였다[30]. <Table 2>의 결과에서 첫 번째 회전점프는 두 번째 회전점프보다 신체중심이 최대 높이가 크게 나타났지만, 도약 시 Fx는 첫 번째 회전점프보다 두 번째 회전점프에서 왼발의 외측힘, 오른발의

내측힘이 크게 나타나, 두 번째 회전점프는 점프의 높이보다 회전을 위한 성격이 강하게 나타난 것으로 판단된다. 이는 발레의 회전동작에서 회전 수 증가는 점프높이가 감소시키고, 회전력을 감소시켜 안정성 감소와 신체 불균형을 야기시킨다는 결과[16, 17]와 일치한다. 또한 전후힘은 오른발에서 첫 번째 회전 시 전방힘이 강하게 나타났다. 이는 준비자세에서 점프 수행을 위하여 운동을 발생시키는 강한 전방힘을 가하는 것으로 사료되고, 두 번째 회전점프는 드롭점프와 유사한 방법으로 첫 번째 착지 후 근육의 신전반사를 이용한 점프로 판단되어 상대적으로 첫 번째 회전 시 전방힘이 강하게 나타난 것으로 사료된다.

Table 4. Ground reaction force during landing

force	foot	vision	rotation order		factor	F	p	post-hoc
			LD1	LD2				
Fx	left	both	0.139±0.162	0.196±0.062	eye selection	.528	.596	-
		left	0.165±0.068	0.212±0.097	rotation order	2.319	.139	-
		right	0.200±0.046	0.195±0.057	interaction	.767	.474	-
	right	both	-0.072±0.142	-0.128±0.041	eye selection	1.856	.176	-
		left	-0.115±0.088	-0.119±0.034	rotation order	.236	.631	-
		right	-0.158±0.056	-0.129±0.049	interaction	1.298	.290	-
Fy	left	both	-0.048±0.298	-0.207±0.207	eye selection	.486	.620	-
		left	-0.018±0.194	-0.249±0.068	rotation order	27.400	.000***	LD1 < LD2
		right	0.055±0.201	-0.199±0.045	interaction	.483	.622	-
	right	both	0.170±0.061	0.331±0.199	eye selection	3.615	.041*	right eye < left eye
		left	0.341±0.151	0.312±0.114	rotation order	.210	.651	-
		right	0.269±0.214	0.089±0.142	interaction	7.844	.002**	-
Fz	left	both	1.560±0.406	1.865±0.621	eye selection	.588	.562	-
		left	1.422±0.362	1.885±0.377	rotation order	8.690	.007**	LD1 < LD2
		right	1.543±0.346	1.559±0.310	interaction	2.187	.132	-
	right	both	1.273±0.452	1.236±0.391	eye selection	1.426	.258	-
		left	1.325±0.289	1.122±0.286	rotation order	7.127	.013*	LD1 > LD2
		right	1.315±0.409	0.985±0.231	interaction	1.426	.258	-

Note. significant at * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

LD1: first landing, LD2: second landing

3.3. 착지 시 지면반력

착지 시 지면반력의 결과는 <Table 4>과 같다.

Fx는 좌우발 모두 시각선택과 회전수에 따른 차이가 나타나지 않았고, 상호작용도 보이지 않았다. Fy는 왼발에서 시각정보에 따른 차이는 나타나지 않았지만, 회전수에 따른 차이는 나타났고 ($F=27.400$, $p=.000$), 첫 번째 착지보다 두 번째 착지 시 후방힘이 강하게 나타났다. 오른발은 시각선택에 따른 차이가 나타났고 ($F=3.615$, $p=.041$), 사후검증 결과 왼쪽 시각 사용이 오른쪽 시각 사용보다 후방힘이 강하게 나타났다. 하지만, 회전수에 따른 차이는 나타나지 않았다. 또한 좌우발 모두 상호작용은 나타나지 않았다. Fz는 왼발에서 시각선택에 따른 차이는 나타나지 않았지만, 회전수에 따른 차이가 나타났고 ($F=8.690$, $p=.007$), 첫 번째 착지보다 두 번째 착지 시 수직힘이 강하게 나타났다. 오른발은 시각선택에 따른 차이는 나타나지 않았지만, 회전수

에 따른 차이가 나타났고 ($F=7.127$, $p=.013$), 첫 번째 착지가 두 번째 착지보다 수직힘이 강하게 나타났다. 하지만 좌우발 모두 상호작용도 보이지 않았다.

착지와 관련된 선행연구를 살펴보면, 연속 수직점프에서 발생하는 근피로 야기를 통해 착지 시 수직충격력은 근피로 후반에 상당히 약화되었다고 보고하였고[24], 드롭착지와 드롭점프 시 착지구간 비교에서 착지구간이 종료될 때까지 형태적으로 유사하였지만 드롭착지 시 최대지면반력이 크다고 보고하였다[31]. 무용수의 최대지면반력이 운동선수에 비해 최대지면반력이 낮지만 착지 시 지면시간 증가를 통한 충격력의 감소로 무용수의 심각한 하지 부상을 피하는데 도움이 될 수 있다고 보고하였고[32], 전방 점프 착지 시 만성발목 불안정성(CAI) 집단이 정상 집단보다 수직지면반력이 초기접지 및 최대수직지면반력에서 높게 나타난다고 보고하였다[33]. 지면반력이 클

수록 신체의 안정성은 약 20% 낮게 나타난다고 보고하였고[34], 지면반력 증가는 불안정한 착지를 초래하여 하지부상을 초래할 수 있다고 하였다[28]. 착지에 대해 다양한 선행연구가 있었지만 회전에 관련된 선행연구를 찾아볼 수 없었다.

본 연구의 전후힘은 왼발에서 두 번째 착지 시 후방힘이 크게 발생하였다. 이는 선행연구의 결과[31]와 유사하게 형태로, 착지 이후 이어지는 드롭착지에서 최대지면반력이 나타나는 것으로 판단된다. 착지 시 후방힘은 착지 속도의 제어를 위한 것으로, 이는 두 번째 회전 시 발생된 회전관성에 대한 제어를 하기 위한 것으로 사료된다. 또한 오른발은 왼쪽 시각 사용이 오른쪽 시각 사용보다 후방힘 강하게 나타났다. 이는 회전점프의 방향이 오른쪽 방향이기 때문에 시각선택에 따라 왼쪽 시각이 오른쪽 시각에 비해 지면에 대한 정보를 상대적으로 늦게 확인할 수 있기 때문에 불안정한 상태로 착지한 것으로 판단된다. 수직힘은 착지 시 왼발은 두 번째 착지일 때 수직힘이 강하게 나타났고, 오른발은 첫 번째 착지일 때 강하게 나타났다. 회전동작 시 회전축이 되는 발보다 회전하는 발의 역할에 따라 동적안정성을 결정하는 것으로 보고하였고[29], 오른발잡이는 자세를 잡을 때 왼발에 의지한다고 보고하였다[35]. 이에 따라 본 연구의 회전점프 시 오른쪽 방향의 회전은 신체 안정성을 위하여 왼발의 역할이 크다고 할 수 있을 것이다. 왼발은 두 번째 착지 시 수직힘이 강하게 나타났는데, 이는 전후힘과 더불어 회전관성에 대한 제어를 나타내는 지표로 볼 수 있을 것이다. 또한 오른발은 첫 번째 착지 시 수직힘이 강하게 나타났는데, 첫 번째 점프가 두 번째 점프보다 높은 이유로 착지 시 회전축이 되는 오른발의 수직힘을 크게 발생한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 직업 발레단의 여자 무용수를 대상으로 연속 회전점프 시 시각선택과 회전수에 따른 차이를 도약과 착지구간으로 분류하여 비교하여 연속 회전점프 수행의 훈련에 기초 자료를 제공하고자 한다. 이에 따른 결론은 다음과 같다.

첫째, 신체중심의 높이는 첫 번째 회전점프가 두 번째 회전점프보다 높게 나타났다.

둘째, 도약 시 지면반력의 좌우힘은 좌우발 모두 회전수에 따라 두 번째 회전에서 왼발은 외측힘, 오른발은 내측힘이 강하게 나타났고, 전후힘은 오른발에서 첫 번째 회전점프 시 전방힘이 강하게 나타났으며, 수직힘은 좌우발 모두 차이가 없었다.

셋째, 착지 시 좌우힘은 차이가 없었지만, 전후힘은 왼발에서 두 번째 착지 시 후방힘이 강하게 나타났고, 오른발은 왼쪽 시각 사용 시 후방힘이 강하게 나타났으며 수직힘은 왼발에서 두 번째 착지에서 오른발은 첫 번째 착지에서 수직힘이 강하게 나타났다.

본 연구의 결과를 통하여 도약 시 강한 좌우힘의 통해 회전력 유지하고, 착지 시 오른쪽 회전점프에서 왼쪽 시각선택으로 오른발에 일부 영향을 미치기 때문에 회전방향과 동일한 시각선택이 유리할 것으로 보이며, 회전축 발과 회전하는 발의 역할을 잘 숙지하여 각 발의 제어를 통하여 안정적인 회전을 유지할 필요가 있을 것이다. 향후 연구로 회전수에 따른 좌우발의 비교를 통하여 회전점프 발생할 수 있는 하지의 역할을 밝힐 필요가 있을 것이다.

References

1. M. J. Adrian, J. M. Cooper, "The biomechanics of human movement". Indianapolis, Indiana: Benchmark Press, (1989).
2. S. C. Jo, "Biomechanical analysis of bare foot landing and shod foot landing in drop jump". *The Korean Journal of Physical Education*, Vol.38, No.3 pp. 715-725, (1999).
3. J. L. McNitt-Gray, "Kinetics of the lower extremities during drop landing from three heights". *Journal of Biomechanics*, Vol.26, No.9 pp. 1037-1046, (1993).
4. J. S. Dufek, B. T. Bates, "The evaluation and prediction of impact forces during landings". *Medicine Science Sports Exercise*, Vol.22, No.2 pp. 370-377, (1990).
5. Y. S. Park, "The effects of turn motion to kinematic factors and vestibular system". Unpublished Doctor's Thesis, HanYang

- University, Seoul, Korea, (2006).
6. T. Heinen, "Evidence for the spotting hypothesis in gymnasts". *Motor Control*, Vol.15, No.2 pp. 267-284, (2011).
 7. M. Raab, R. F. de Oliveira, T. Heinen, "How do people perceive and generate options?" In M. Raab, H. Hekeren & J. G. Johnson (Eds.), *Mind and motion: The bidirectional link between the thought and action* (pp. 49-59). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, (2009).
 8. P. M. Galley, A. L. Forater, "Human movement". Churchill Livingstone, pp. 174-176, (1985).
 9. C. D. Davlin, W. A. Sands, B. B. Shultz, "Do gymnasts "spot" during a back tuck somersault". *International Sports Journal*, Vol.8, No.2 pp. 72-79, (2004).
 10. R. A. Denardi, U. C. Corrêa, "Effects of instructional focus on learning a classical ballet movement, the pirouette". *Journal of Dance Medicine & Science*, Vol.17, No.1 pp. 18-23, (2013).
 11. K. Laws, A. Sugano, "Physics and the art of dance: Understanding movement(2nd ed.)". New York, NY: Oxford University Press, (2008).
 12. T. Heinen, K. Velentzas, P. M. Vinken, "Analyzing gaze behavior in complex (aerial) skills". *International Journal of Sport Science and Engineering*, Vol.6, No.3 pp. 165-174, (2012).
 13. J. M. Hondzinski, W. G. Darling, "Aerial somersault performance under three visual conditions". *Motor Control*, Vol.5, No.3 pp. 281-300, (2001).
 14. J. J. Gibson, "The ecological approach to visual perception". Boston: Houghton Mifflin, (1979).
 15. J. M. Schmit, D. L. Regis, M. A. Riley, "Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes". *Experimental Brain Research*, Vol.163, No.3 pp. 370-378, (2005).
 16. E. H. Kim, G. B. Lee, K. C. Lee, "Analysis of the ballet pirouette en de hors according to the number of turn". *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.11, No.2 pp. 217-230, (2001).
 17. B. H. Woo, S. H. Suh, "Kinematic analysis of fouette en dehors on rotation stage in ballet". *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women*, Vol.24, No.3 pp. 1-12, (2010).
 18. D. V. Lee, R. M. Walter, S. M. Deban, D. R. Carrier, "Influence of increased rotational inertia on the turning performance of humans". *Journal of Experimental Biology*, Vol.204(Pt 22), pp. 3927-3934, (2001).
 19. Y. Sato, S. Torii, M. Sasaki, T. Heinen, "Gaze-shift patterns during a jump with full turn in male gymnasts". *Perceptual and Motor Skills*, Vol.124(1), pp. 248-263, (2017).
 20. B. Sidaway, J. McNitt-Gray, G. Davis, "Visual timing of muscle preactivation in preparation for landing". *Ecological Psychology*, Vol.3, pp. 253-264, (1989).
 21. S. C. Plagenhoef, F. G. Evans, T. Abdelnour, "Anatomical data for analyzing human motion". *Research Quarterly for Exercise and Sports*, Vol.54, No.2 pp.169-178, (1983).
 22. Y. I. Abdel-Aziz, H. M. Karara, "Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry". Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry(pp. 1-18). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, (1971).
 23. D. A. Winter, "Biomechanics and motor control of human movement (4th ed.)". pp. 127-128, John Wiley & Sons, (2009).
 24. D. H. Kim, "The effect of fatigue in continuous jump on kinematics and kinetics variables". Unpublished Master's Thesis, Kookmin University, Seoul, Korea, (2021).
 25. J. M. So, Y. J. Kim, J. H. Lee, J. H. Seo, Chung, K. K. Kim, "The analysis of lower

- extremities injury on depth jump”. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.15, No.1 pp. 127-142, (2005).
26. H. J. Yoon, D. A. Mun, “The effect of differences of take-off direction and age on the biomechanical factors during depth jump”. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.9, No.1 pp. 115-126, (1999).
 27. A. Stacoff, X. Kaelin, E. Stuessi, “Impact in landing after a volleyball block”. In *Biomechanics XI*, de Groot G et al.(eds). Amsterdam: Free University Press, pp 694-700, (1988).
 28. S. C. Jo, “Effects of non-visual condition on lower extremity movement and ground reaction forces during drop landing”. *Journal of Coaching Development*, Vol.8, No.1 pp. 99-107, (2006).
 29. Y. S. Park, “An analysis of turning area and balance by hand dominance, foot dominance, and turning direction”. *The Korean Journal of Growth and Development*, Vol.21, No.2 pp. 101-107, (2013).
 30. N. S. Yun, K. O. Yi, I. A. Song, “A characteristics of intralimb segment coordination and a pattern of vertical reaction force of turn-out vertical jump in dance”. *The Korean Journal of Physical Education*, Vol.38, No.4 pp. 1006-1014, (1999).
 31. J. M. Shin, “Kinematic and kinetic differences during the landing phase between drop landing and drop jumping”. *Journal of Sport and Leisure Studies*, Vol.67, pp. 467-477, (2017).
 32. K. F. Orishimo, I. J. Kremenec, E. Pappas, M. Hagins, M. Liederbach, “Comparison of landing biomechanics between male and female professional dancers”. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol.37, No.11 pp. 2187-2193, (2009).
 33. K. W. Kim, K. K. Jeon, S. W. Park, S. J. Ahn, “The effects of chronic ankle instability on postural control during forward jump landing”. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol.32, No.1 pp. 9-16, (2022).
 34. S. Robbins, E. Waked, “Balance and vertical impact in sports: Role of shoe sole materials”. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol.78, No.5 pp. 463-467, (1997).
 35. N. L. Erber, J. B. Almerigi, T. J. Carbary, L. J. Harries, “The contribution of postural bias to lateral preferences for holding human infants”. *Brain Cognition*, Vol.48(2-3), pp. 352-356, (2002).