



Comparison of Static Lower Extremity Alignment in Female Ballet Dancers and Non-ballet Dancer

Kyungeon Kim¹, Hyung Gyu Jeon¹, Kyeongtak Song^{1,2} and Sae Yong Lee^{1,2,3*}

¹Department of Physical Education, Yonsei University

²International Olympic Committee Research Centre Korea

³Institute of Convergence Science, Yonsei University

Article Info

Received 2023. 07. 20.

Revised 2023. 09. 13.

Accepted 2023. 09. 21.

Correspondence*

Sae Yong Lee

sylee1@yonsei.ac.kr

Key Words

Lower-extremity structure,
Lower-extremity morphology,
Malalignment, Foot arch,
Injury risk factor

PURPOSE This study aimed to: 1) compare the differences in static lower-extremity alignment (SLEA) between female ballet dancers (BD) and non-ballet dancers (NBD); 2) investigate the differences among gesture leg (GL) and supporting leg (SL) in BD and dominant leg (DL) in NBD; and 3) compare limb asymmetry between groups. **METHODS** Twenty-nine female BD and 20 NBD were recruited for this study. The quadriceps, tibiofemoral, rearfoot, and genu-recurvatum angles, tibial torsion and varum, and navicular drop height were measured. An independent *t*-test was conducted to compare SLEA and limb asymmetry between groups. One-way analysis of variance with Bonferroni post-hoc tests were performed to determine the differences among the GL, SL and DL. **RESULTS** BD showed lower quadriceps and rearfoot angles, less tibial varum and navicular drop, and greater tibiofemoral angle ($p < .005$) than NBD. BD showed less quadriceps angle asymmetry but greater tibial torsion asymmetry ($p < .01$) than NBD. GL and SL in BD showed differences in quadriceps, tibiofemoral, rearfoot angle, tibial torsion and navicular drop compared to NBD. **CONCLUSIONS** Repetitive dance movements can transfer varying forces to the GL and SL, potentially contributing to SLEA asymmetry. An intervention strategy that can reduce SLEA asymmetry in BD is needed, as is the identification of elements of ballet training that contribute to maintaining a normal SLEA.

서론

발레는 높은 점프와 다회전 등 3차원적 고난도 기술로 구성된 신체 활동이다(Leanderson et al., 2011; Smith et al., 2015). 발레 무용수는 하나의 작품 수행 시 최대심박수 80% 수준에 도달할 만큼 높은 신체 활동량이 요구되는 것으로 보고되었다(Lim, 2014). 이는 발레 동작이 단순히 외적인 아름다움을 표현하는 것뿐만 아니라 유연성, 파워, 근력 등 고수준의 신체능력을 요구하는 운동이라고 할 수 있다. 발레에서의 턴아웃은 가장 기본이 되는 자세로 동작의 완성도를 높일 뿐만 아니라 미적 충족 요건이므로 그 필요성이 강조되는 자세이다(Cimelli & Curran, 2012). 발레 무용수들은 비교적 어린 나

이에서부터 고관절을 180도로 외회전시키는 고난도 동작인 턴아웃 자세의 고강도의 훈련을 시작한다(Kiefer et al., 2013). 이렇듯 성장기 때부터 반복되는 발레 기술의 수행은 근골격계의 부하를 주어 신체 정렬의 변화를 가져올 수 있다(Cho et al., 2015; Lim, 2017).

발레 무용수들은 하지를 통해 하중을 지탱하고 자세를 유지하는데, 특히 점프 및 회전 등 고난도의 동작을 반복적으로 수행하므로 하지에 전달되는 부하를 적절하게 흡수하는 것이 중요하다(Coplan, 2002; Lee, 2004). 하지만 발레 무용수들의 90%가 경력 중 부상을 경험하며(Coplan, 2002), 이 중 60%가 발, 발목, 무릎, 대퇴를 포함한 하지에서 발생한다(Smith et al., 2015). 특히, 발레전공자는 전문 무용수가 되기 위한 과정 중임에도 불구하고 동일한 수준의 기술적 요구 사항과 강도로 훈련을 수행하여 부상 위험이 높다(Ekegren et al., 2014). 발레 전공생의 부상률은 1,000시간 노출(exposure hour, EH)당 1.38-1.55건으로 보고되며, 이는 1,000EH 당 0.51-0.62건으로 보고된 전문 무용수들의 부상률보다 현저히 높

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다(Biernacki et al., 2021; Ekegren et al., 2014). 이처럼 여성 발레전공자는 하지 상해의 위험으로부터 항상 노출되어 있다. 57%의 무용수가 과사용으로 인한 하지 만성적 손상을 경험한 것으로 보고 되었으며(Caine et al., 2016), 17%는 극심한 부상으로 인해 한 시즌 동안 훈련에 참여하지 못하는 것으로 밝혀졌다(Biernacki et al., 2021; Caine et al., 2016; Seki et al., 2020). 발레에서 발생하는 하지 부상은 훈련 기간과 강도, 과사용의 외재적인 요인뿐 아니라 개인의 가동범위, 체중, 근력 그리고 신체 정렬 등의 내재적 요인에도 밀접한 연관이 있다(Coplan, 2002; Ha et al., 2013). 이 중 올바른 신체 정렬의 유지는 테크닉의 향상, 움직임 수행의 효율성을 증진시킬 뿐만 아니라 상해 예방을 위해서도 필수적이다(Na et al., 2011). 따라서 발레전공자의 하지 정적 정렬의 정량적 데이터는 추후 부상 예측 인자로 중요한 지표가 될 수 있다는 점과 부상예방의 측면에서 큰 의미가 있다.

기존 전문 무용수들과 일반 여성들의 정적 하지 정렬을 비교 분석한 결과, 전문 무용수들은 큰 정강뼈 뒤틀림과 큰 골반의 전후방 기울기를 보였으며, 넙다리뼈의 앞경사각 및 과도한 발의 옆침이 보고 되었다(Kim et al., 2021). 이는 과도한 턴아웃 자세의 수행으로 변형되는 발레 무용수의 구조적인 특징으로 볼 수 있다. 이러한 비정상적인 정렬로 인한 신체 구조의 변화는 관절의 부하와 근육의 기계적 효율성(Clark, 2001; Newton et al., 2006), 피드백 및 피드 포워드를 시스템을 변형시키며(Hadadnezhad & Letafatkar, 2011), 이는 근골격계의 부하를 높여(Minoonejad et al., 2016; Hooman et al., 2016) 직접적인 부상률을 증가시킬 수 있다(Daneshmandi et al., 2011). 종합하여 볼 때 전문 무용수보다 부상률이 높은 발레 전공생들의 특성 중 하지 부상과 직접적으로 연결이 될 수 있는 중요한 인자인 하지정렬의 특징을 파악해보는 것은 매우 중요하다. 그러나 발레 전공생을 대상으로 한 하지 정렬의 정량적 데이터는 부족한 실정으로 부정렬로 인한 부상 위험성을 예측 및 판단하여 적용하기에는 다소 어려움이 있다(Ahearn et al., 2018).

발레 동작은 한 다리를 높이 들어 올리거나 그 상태에서 무게 중심을 수평 또는 수직으로 이동 및 회전시키는 비대칭적인 동작의 연속이며, 이에 따라 무용수들은 성장기 때부터 동작 수행 시 의식적으로 선호하는 다리가 존재한다(Cicchella & Caminiti, 2015). 발레 동작은 열린 사슬(open-chain) 형태로 다리를 공중으로 들어 올리거나 자세를 취하는 표현하는 다리(gesture leg, GL)와 닫힌 사슬(closed-chain) 형태로 체중을 지지하며 자세를 제어하는 지지하는 다리(supporting leg, SL)로 나뉜다. 다리 역할에 따른 편향된 작용은 각 다리에 각기 다른 부하를 주며 이는 부상 위험성을 높인다(Kimmerle, 2010). 실제로 무용수들의 부상 위험 인자를 파악한 연구에 따르면 비대칭적인 하지 정렬의 과사용이 만성하지 부상의 위험 요인으로 확인되었다(Gamboa et al., 2008; Twichett et al., 2010). 따라서, 단순히 하지 정렬만을 특징하는 일반인들의 연구들과는 달리 정렬 비대칭 정도를 통합하여 상해 위험성을 파악하는 것은 발레 전공생들의 추후 부상을 예측하고 예방하기 위한 과학적 근거를 제시하기에 중요하다.

반복적인 부상은 발레 무용수들의 경력 단절의 직접적인 원인이 되므로(Wainwright et al., 2005) 부상을 줄이며 관리와 예방을 할 수 있는 능력을 갖추는 것은 전문 무용수로 거듭나기 위해 중요하다고 할 수 있다. 따라서, 손상 예방을 위해서는 하지 손상 기전에 대한 이해가 필요하며, 그에 기여하는 원인으로 하지 정적 정렬(static

Table 1. Participants demographics (Mean ± SD)

	Ballet (n=29)	Control (n=20)
Age (years)	23.38±2.62	25.90±4.02
Height (cm)	163.90±4.37	166.79±4.09
Body mass (kg)	49.77±5.32	56.37±5.38

lower extremity alignment, SLEA) 및 비대칭 정도를 식별하는 연구가 선행될 필요가 있다. 이에 본 연구는 1) 여성 발레전공자와 비전공자 간 정적 하지 정렬을 비교하고, 2) 우세측과 비우세측 다리의 역할에 따른 정렬의 차이 및 3) 양발 간의 비대칭 정도를 파악하고자 한다. 연구 목적에 따른 가설은 다음과 같다. 1) 발레전공자와 비전공자 간 하지 정렬의 차이를 보일 것이며, 2) 비전공자의 우세측 다리와 비교하여 GL과 SL은 발레에서 다리의 역할에 따른 정렬을 보일 것이며, 3) 발레전공자들이 양발 간의 더 큰 비대칭성을 보일 것이다.

연구방법

연구대상

본 연구는 연구대상자 모집공고문을 통해 20~30대 여성 발레전공자 29명과 비전공자 20명을 모집하였다. 각 집단에 대한 인구통계학적 특성은 <Table 1>과 같으며, 연구 참여기준은 다음과 같다. 1) 최근 3개월간 하거나 척추의 부상이 없는 자; 2) 과거 하지의 골절이나 수술적 병력이 없는 자; 3) 심혈관계, 균형 능력 장애, 신경병증 및 근신경계에 이상이 없는 자를 모집하였다.

연구절차 및 측정방법

본 연구에서 측정된 총 10가지의 정적 하지 정렬 항목은 선 자세, 누운 자세 및 엎드린 자세에서 각각 측정되었다. 체중부하 자세(weight bearing, WB)에서 rearfoot angle(RF angle, 후족각; Jonson & Gross, 1997), quadriceps angle(Q-angle, Q각; Caylor et al., 1993), tibiofemoral angle (TF-angle, 대퇴경골각; Nguyen et al., 2013) 그리고 navicular drop height(ND, 발배뼈 하강 높이; Lee & Hartel, 2012)를 측정하였다. 비체중부하 자세(non-weight bearing, NWB)에서는 Q-angle(Caylor et al., 1993), TF angle(Nguyen et al., 2013), genu recurvatum angle(GR angle, 후반슬; Ahn et al., 2020), RF angle(Jonson & Gross, 1997), tibial torsion(경골 회전각; Shultz et al., 2008) 및 tibial varum(안쪽굽음; Hubbard et al., 2009)이 측정되었다.

Q-angle, TF angle, GR-angle, tibial torsion 및 tibial varum은 자이로 센서와 카메라를 활용한 어플리케이션(Alignment, v1.0.2)을 이용하여 측정되었다(Figure 1). ND 측정을 위해서는 높이 측정기(Height gage, Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 사용하였으며 목발밑관절의 중립 자세에서 지면으로부터 발배뼈 거친면까지의 거리를 측정하였다(Figure 2). 측정자의 신뢰도는 .820의 높은 급내 상관관계수 (intraclass correlation coefficient, ICC)를 나타냈다.

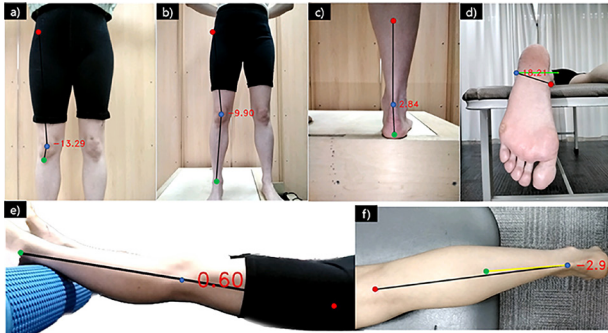


Fig. 1. Static lower extremity alignment measurement. a) Q-angle, b) tibiofemoral angle, c) rearfoot angle, d) tibial torsion, e) genu-recurvatum angle, and f) tibial varum.



Fig. 2. Navicular drop test during weight-bearing position

자료분석

SLEA의 모든 항목에서 발레전공자 29명의 58개의 하지와 비전공자 20명의 40개의 하지를 분석하였다. 본 연구는 가설 검증을 위해 수집된 자료의 데이터 분석은 IBM SPSS version 25.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)를 사용하였다. 두 그룹 간 SLEA의 차이를 비교하기 위해 발레전공자의 GL 과 SL 및 비전공자의 우세측 다리 (dominant leg, DL)와 비우세측 다리(non-DL, NDL)의 평균과 표준편차를 각각 산출하였다. 또한, 비대칭성 차이 유무를 파악하기 위해 GL과 SL은 비전공자의 DL과 NDL에 대해 각각 비교 분석되었다. 하지의 비대칭 정도는 발레전공자(GL 및 SL), 비전공자(DL 및 NDL)의 각 정렬 값의 차이를 통해 산출되었다. 두 그룹 간 SLEA의 차이 및 비대칭의 차이를 확인하기 위해 독립표본 *t*-검정을 실시하였으며, 효과 크기는 Cohen's *d*로 계산하였다. 효과크기는 다음과 같은 기준으로 해석된다: 1) 작음, $.2 \leq d \leq .49$; 2) 중간, $.5 \leq d \leq .79$; 3) 큼, $d \geq .8$. 또한, 발의 역할에 따른 SLEA의 차이를 확인하기 위해 일원배치 분산분석 및 Bonferroni 사후검정을 실시하였으며, 효과 크기는 부분 에타 제곱(Eta squared)으로 나타냈다: 1) 작음, $.01 <$; 중간, $.06 <$; 큼, $.14 <$. 모든 분석에 대한 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

연구결과

그룹 간 SLEA 차이

발레 전공자 29명의 58개의 하지와 비전공자 20명의 40개의 하지 간 SLEA 값을 비교한 결과, 10가지의 항목 중 6개 항목에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 발레전공자는 비전공자에 비해 적은 WB Q-angle($p < .001$; ES: .90)과 NWB Q-angle의 외반(valgus; $p < .001$; ES: .72), NWB RF-angle($p < .001$; ES: 1.37) 외번(eversion), tibial varum 내회전($p = .020$; ES: .49), ND 아치 하강 높이($p < .001$; ES: .79) 값을 보였으며, 큰 TF angle 외번($p < .001$; ES: .81)이 나타났다(Table 2). NWB TF-angle, NWB RF angle, WB Q-angle 항목은 큰 효과 크기를 보였으며($d \geq .8$), NWB Q-angle 과 ND는 중간 효과 크기($.5 \leq d \leq .79$), tibial varum, tibial torsion, WB TF-angle 및 WB RF angle 항목은 작은 효과 크기($.2 \leq d \leq .49$)를 보였다.

다리의 역할에 따른 SLEA 차이

발레전공자의 29명의 GL, SL과 비전공자 20명의 우세다리 간 SLEA의 차이를 분석한 결과, NWB Q-angle($p = .002$; ES: .22), NWB TF-angle($p < .001$; ES: .15), NWB RF-angle($p < .001$; ES: .40), tibial torsion($p = .001$; ES: .16), WB Q-angle($p = .002$; ES:

Table 2. Difference in static lower extremity alignments between ballet dancers and control

Variables	Ballet (n=58)	Control (n=40)	<i>t</i>	<i>P</i>	ES
Q-angle (°)	-14.45 ± 5.99	-20.33 ± 9.92	3.660	<.001	.72
TF-angle (°)	-11.52 ± 2.41	-9.39 ± 2.85	-3.983	<.001	.81
GR-angle (°)	-2.04 ± 3.16	-2.39 ± 4.33	.441	.661	.09
RF angle (°)	-1.85 ± 2.87	3.88 ± 5.17	-6.361	<.001	1.37
Tibial varum (°)	1.45 ± 2.41	2.54 ± 1.98	-2.357	.020	.49
Tibial torsion (°)	17.99 ± 10.97	20.57 ± 12.10	-1.100	.274	.22
WB Q-angle (°)	-15.83 ± 8.59	-22.63 ± 6.37	4.255	<.001	.90
WB TF-angle (°)	-10.39 ± 4.49	-11.19 ± 3.67	.971	.334	.20
WB RF angle (°)	-7.32 ± 3.90	-9.48 ± 7.02	1.765	.083	.38
ND (cm)	0.65 ± 0.69	1.15 ± 0.57	-3.834	<.001	.79

Abbreviation: ES, effect size; GR-angle, genu-recurvatum angle; ND, navicular drop; NWB, non-WB; Q-angle, quadriceps angle; RF angle, rearfoot angle; TF-angle, tibiofemoral angle; WB, weight bearing;

Q-angle = valgus (-), TF-angle = valgus (-), GR-angle = hyperextension (-), RF angle = varus (+)/valgus (-), tibial varum = varum (+), tibial torsion = external torsion(+).

Table 3. Difference in static lower extremity malignment among gesture and supporting leg of ballet dancers and dominant leg of control

Variables	(Mean ± SD)			F	p	ES	Post-hoc
	GL (n=29)	SL (n=29)	DL (n=20)				
Q-angle (°)	-14.50 ± 5.90	-14.39 ± 6.18	-21.46 ± 5.44	10.550	<.001	.22	GL<DL, SL<DL
TF-angle (°)	-11.68 ± 2.63	-11.37 ± 2.21	-9.29 ± 2.38	6.493	.003	.15	GL>DL, SL>DL
GR-angle (°)	-1.51 ± 3.18	-2.57 ± 3.10	-2.81 ± 4.46	1.022	.365	.03	
RF angle (°)	-1.65 ± 2.97	-2.04 ± 2.80	4.46 ± 5.45	21.610	<.001	.40	GL<DL, SL<DL
Tibial varum (°)	1.51 ± 2.56	1.39 ± 2.30	2.20 ± 1.68	.834	.438	.02	
Tibial torsion (°)	22.90 ± 6.70	13.07 ± 12.25	21.34 ± 11.77	7.260	.001	.16	SL<DL, GL>SL
WB Q-angle (°)	-14.64 ± 9.71	-17.03 ± 7.29	-23.21 ± 6.89	6.660	.002	.15	SL<DL, GL<DL
WB TF-angle (°)	-10.40 ± 4.43	-10.37 ± 4.62	-11.65 ± 2.78	.692	.504	.02	
WB RF-angle (°)	-6.73 ± 3.88	-7.91 ± 3.90	-9.97 ± 7.2	2.557	.084	.06	
ND (cm)	0.73 ± 0.92	0.56 ± 0.31	1.15 ± 0.52	4.924	.010	.12	SL<DL

Abbreviation: Abbreviation: ES, effect size; GR-angle, genu-recurvatum angle; ND, navicular drop; NWB, non-WB; Q-angle, quadriceps angle; RF angle, rearfoot angle; TF-angle, tibiofemoral angle; WB, weight bearing.

Q-angle = valgus (-), TF-angle = valgus (-), GR-angle = hyperextension (-), RF angle = varus (+)/valgus (-), tibial varum = varum (+), tibial torsion = external torsion(+).

.15) 및 ND(p = .010 ES: .12)에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. NWB Q-angle, NWB TF-angle, NWB RF-angle, tibial torsion 및 WB Q-angle에서 큰 효과 크기를 보였으며, ND 항목은 중간 효과 크기, GR-angle, tibial varum 및 WB TF-angle 항목은 작은 효과 크기를 보였다. 각 항목에 대한 사후 분석 결과, GL과 SL은 NWB 및 WB Q-angle과 NWB RF-angle 항목에서 DL보다 낮은 valgus 및 eversion각을 보였고, TF-angle 항목에서는 유의하게 높은 valgus 각이 나타났다. SL은 tibial torsion 항목에서 GL, DL과 비교하여 약 8° ~ 9° 내회전 되었으며, ND 항목에서는 DL과 비교하여 약 1cm 낮은 각을 보였다(Table 3).

그룹 간 SLEA 비대칭

발레전공자 29명의 GL 및 SL, 비전공자 20명의 DL 및 NDL의 각 정렬 값의 차이를 통해 산출된 두 그룹의 SLEA 비대칭을 분석한 결과, 3가지 항목에서 유의한 차이를 보였다. 발레 전공생들은 비전공자 집단보다 큰 GR angle(p = .016; ES: .70), tibial torsion(p = .004;

Table 4. Comparison of static lower extremity asymmetry between ballet dancers and control

Variables	(Mean ± SD)				
	Ballet (n=29)	Control (n=20)	t	p	ES
Q-angle (°)	-0.11 ± 2.62	-2.26 ± 12.61	.896	.375	.24
TF-angle (°)	-0.31 ± 1.76	0.22 ± 3.0	-.780	.439	.22
GR-angle (°)	1.07 ± 2.12	-0.83 ± 3.21	2.498	.016	.70
RF angle (°)	0.40 ± 2.87	1.17 ± 3.06	-.898	.374	.26
Tibial varum (°)	0.12 ± 2.39	-0.68 ± 1.64	1.287	.204	.39
Tibial torsion (°)	9.82 ± 12.14	1.55 ± 6.64	3.066	.004	.85
WB Q-angle (°)	2.39 ± 8.39	-1.18 ± 4.16	1.756	.086	.54
WB TF-angle (°)	-0.03 ± 1.51	-0.93 ± 3.75	1.157	.253	.31
WB RF angle (°)	1.18 ± 3.6	-0.99 ± 3.27	2.151	.037	.63
ND (cm)	0.17 ± 0.94	-0.01 ± 0.42	.796	.430	.25

Abbreviation: ES, effect size; GR-angle, genu-recurvatum angle; ND, navicular drop; NWB, non-WB; Q-angle, quadriceps angle; RF angle, rearfoot angle; TF-angle, tibiofemoral angle; WB, weight bearing.

Asymmetry value was calculated as the differences in ballet major(gesture leg and supporting leg) and non-ballet major(dominant leg and non dominant leg)

ES: .85), WB RF angle(p = .037; ES: .63)의 비대칭을 보였다. tibial torsion 항목에서 큰 효과 크기를 보였으며(d ≥ .8), GR-angle, WB Q-angle 및 WB RF angle은 중간 효과 크기(.5 ≤ d ≤ .79), NWB Q-angle, NWB TF-angle, NWB, RF angle, tibial varum, WB TF-angle 및 ND 항목은 작은 효과 크기를 보였다(.2 ≤ d ≤ .49) (Table 4).

논의

본 연구는 발레전공자와 비전공자 간 SLEA, 다리의 역할에 따른 차이 그리고 비대칭 정도를 확인하기 위해 수행되었다. 연구 결과, 1) 발레전공자는 적은 WB, NWB Q-angle, NWB RF-angle, tibial varum 각 및 ND 높이를 보였으며, 2) 높은 NWB TF-angle 각이 나타났다. 다리의 역할에 따른 차이를 비교 분석한 결과, 3) 발레전공자의 GL과 SL은 WB 및 NWB Q-angle과 NWB RF-angle 항목에서 비전공자의 DL보다 적은 valgus 각을 보였으나, 4) NWB TF-angle 항목에서는 valgus 된 하지 정렬을 확인하였다. 5) SL은 GL과 DL보다 tibial torsion과 ND 항목에서 유의하게 낮은 각을 보여 발레전공자의 SLEA는 발의 역할에 따라 비전공자와 다른 특성을 보였다. 또한, 6) GR-angle, tibial torsion과 WB RF-angle 항목에 대해 발레전공자가 비전공자와 비교하여 높은 비대칭성을 보였다.

발레전공자의 GL과 SL의 NWB과 WB Q-angle은 비전공자의 DL

보다 약 7° 적은 각도 및 대칭성을 확인하였다. 이는 성장기 때부터 반복적으로 수행한 턴아웃 자세가 체중부하 시 고관절의 내전과 내회전을 제어함으로써 적은 Q각에 기여했을 가능성이 존재한다. 선행연구에 따르면, Q각의 비대칭 정도는 전방십자인대 손상을 예측할 수 있는 위험 요인으로 제시할 수 있다(Ha et al., 2013). 본 연구에서 나타난 여성 발레전공자의 SLEA는 여성 발레 무용수들의 전방십자인대 부상률 1,000회 노출 당 0.005가 여성 농구선수들의 전방십자인대 부상률인 1,000회 노출 당 0.31보다 현저하게 낮은 현상에 대한 증거를 제시할 수 있다(Liederbach et al., 2008; Orishimo et al., 2009).

선행연구에 따르면 정상적인 후족각의 범주는 1° 이상 7° 이하로 보고된다(Buchanan & Davis, 2005). 발레전공자의 NWB 후족각은 -1.85°로 비전공자와 비교하여 약 4° 낮은, eversion 된 발의 구조를 보였다. 또한, tibial torsion은 비전공자와 비교하여 약 3° 내측 비틀림 되었다. 이는 엉덩관절에서 주도적으로 가쪽돌림이 되어야 하는 턴아웃 자세에서 부족한 수평면의 가동범위를 보상하기 위한 움직임의 반복으로 나타난 정렬 상태로 설명할 수 있으며, 전문 무용수보다 전공생들에게 대표적으로 나타나는 현상으로 보고된 바 있다(Kaufmann et al., 2021). 턴아웃은 엉덩근육의 활성화를 통해 양쪽 엉덩관절을 180° 가쪽돌림 시키는 자세로, 골반의 가동범위가 불충분한 무용수의 경우 골반을 전방으로 기울여 허리의 앞굽음, 무릎 관절의 정강이 비틀림, 그리고 발목관절의 과도한 옆짐을 통해 보상한다(Kim et al., 2021; Liederbach et al., 2008). 특히 지면과의 마찰력을 사용하여 발목관절을 가쪽돌림 시키는 보상작용은 몸쪽 관절인 무릎 관절에 바깥 돌림 힘을 발생시키고, 정강이 분절은 넓다리뼈에 대해 안쪽돌림 저항토크를 발생시킨다. 이러한 정강이 뼈의 비틀림은 추후 무릎 조직에 높은 스트레스를 가하여 부상으로 이어질 수 있으며, 발레전공자들의 안쪽돌림 된 tibial torsion 각이 이를 뒷받침한다. 이러한 보상작용은 plié와 같이 동적인 동작에서 더욱 극심한 부정렬이 나타났다(Grossman et al., 2008). 이는 엉덩관절 가쪽돌림이 부족한 턴아웃을 보상하기 위한 변형된 동작 및 자세에서의 반복적인 연습으로 인해 나타난 SLEA로 유추할 수 있지만, 정렬에는 가동범위와 근력 등 다양한 요인이 영향을 미칠 수 있기 때문에 본 연구에서 나타난 SLEA의 결과로만 해석하기에는 다소 제한이 있다. 그럼에도 불구하고 반복적인 무릎과 발목 관절의 보상작용은 만성적인 하지 부상을 가진 무용수들에게 나타나는 공통적인 현상으로(Kaufmann et al., 2021) 부상 예방 및 부상으로 인한 경력 단절을 예방하기 위해 엉덩관절 위주로 턴아웃 자세를 유지하는 것이 발레전공자들에게 강조되어야 한다.

Cote et al.(2005)의 연구에 따르면, 발배뼈 하강 높이는 목말밀관절 중립 자세의 발배뼈 높이와 체중 부하 자세의 발배뼈 높이의 차로 정의되며, 5~9mm는 정상적인 발의 형태로 분류된다. 발레전공자는 비전공자와 비교하여 eversion 된 발의 구조를 가졌음에도 불구하고 ND 항목을 통해 정상적인 발의 아치를 가진 것을 확인하였다. 이러한 결과는 무용수들의 강한 발 내재근의 힘 및 조정 능력으로 인해 정상적인 아치를 유지했을 가능성이 있다. 추후 무용수들의 발/발목 복합체(multi-segment)의 정렬을 다각도로 파악해 볼 필요가 있으며, 다차원으로 발의 정렬 및 형태를 확인하는 후속 연구를 통해 발레 종목에서 발생하는 하지 부상 예방에 대한 방향성을 제시할 수 있을 것이다.

발레전공자는 GR angle, tibial torsion 그리고 WB RF angle 항

목에서 비전공자와 비교하여 큰 비대칭성을 보였다. 또한, 발레전공자의 SL은 GL과 DL과 비교하여 큰 tibial torsion 각과 적은 ND 각이 나타났다. 발레에서 GL은 공중에서 기교를 표현하는 역할을 담당하고, SL은 GL 동작이 원활하게 수행될 수 있도록 지면과 접촉하여 강한 지지대를 형성시켜주는 역할이 더욱 강조된다(Imura et al., 2008). 이에 따라 SL의 먼쪽 관절인 발목관절이 작은 지지 기반에서 발바닥굽힘이 된 극한의 상태로 발의 위치시켜 정밀한 조정 및 제어를 한다(Lin et al., 2013). 외회전을 유지하며 지탱하는 SL은 무대에서 시계방향으로 진행되는 안무와 반대 방향으로 정렬을 유지하므로, SLEA의 비대칭성이 SL에서 더욱 뚜렷하게 나타났다고 판단된다. 따라서 추후 본 연구를 바탕으로 하여 비대칭성을 줄이는 중재 전략을 적용 및 보완할 필요가 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 확인한 발레전공자의 큰 비대칭 정렬은 무용수의 부상 발생을 뒷받침한다. GL과 SL의 비대칭적 정렬은 무용수의 부상 위험인자 중 하나로 밝혀진 바 있으며(Gamboa et al., 2008; Twichett et al., 2010), 과사용 시 후족부의 외번과 정강뼈의 뒤틀림 등 보상적 패턴을 야기시킨다고 보고되었다(Colplan, 2002; Filipa et al., 2013; Mirochnitchenko et al., 2021; Welsh et al., 2008). 다리의 역할에 따라 무용수들의 부상을 관찰한 선행연구에 따르면, SL에서 발목 외측 염좌, 족저근막염 및 아킬레스건염 등 전반적인 하지 부상이 높았다(Kim et al., 2021). 하지만 본 연구 결과를 토대로 부상과 관련한 명확한 인과관계를 설명할 수 없는 제한점이 있으므로, 추후 이를 검증하는 연구가 진행될 필요가 있다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구를 통해 집단 간 SLEA의 차이는 확인할 수 있지만, 선행연구에서 제시한 부상과의 인과관계는 명확하게 규명하기 어렵다. 둘째, 체중의 경우 발레전공자들이 비전공자와 비교하여 통계적으로 유의하게 적은 값을 보였다. 이는 각 집단 간 동일하지 않은 점으로 해석할 수 있으나, 발레 종목 특성상 최적의 미적 요건을 충족시키기 위한 하나의 종목특징으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 집단 간 체중의 차이는 연구대상자인 발레 전공생들의 특성이 반영된 정보라 할 수 있다.

결론 및 제언

발레전공자와 비전공자의 SLEA를 비교한 결과 두 그룹 간 SLEA의 차이를 확인하였으며, 발레 전공생들의 경우 eversion 된 발의 형태를 가지고 있었으며, 비교적 큰 tibial torsion의 각과 비대칭성을 보였다. 이러한 결과는 잘못된 턴아웃 동작의 반복적 수행 및 다리 역할의 차이로 해석할 수 있으며, 부상의 내재적 위험 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 본 연구를 바탕으로 추후 발레 전공생들의 비대칭성을 줄이는 중재 전략이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 발레전공자는 비전공자와 비교하여 대칭적 Q-angle을 보였다. 이는 발레전공자들이 비전공자보다 낮은 비율의 ACL 부상이 보고된다는 여러 선행연구를 뒷받침하며, 추후 발레훈련이 ACL 부상 예방 프로그램의 일부로 사용될 수 있다는 점에 대한 논거를 제공한다. 발레전공자의 SLEA 특성은 발레의 부상 유형을 설명할 수 있는 지표 중 하나로, 추후에는 SLEA가 역동적인 동작에서 보여지는 하지의 생체역학적 특성과 연관성을 갖는지 확인할 필요가 있다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: K.K., K.S., S.Y.L, Data curation: K.K., H.G.J, Formal analysis: K.K., H.G.J, Methodology: K.K., K.S., S.Y.L, Projectadministration: K.S., S.Y.L, Visualization: K.K., H.G.J, Writing-original draft: K.K., Writingreview&editing: H.G.J, K.S., S.Y.L

참고문헌

- Ahearn, E. L., Greene, A., & Lasner, A. (2018). Some effects of supplemental Pilates training on the posture, strength, and flexibility of dancers 17 to 22 years of age. *Journal of Dance Medicine & Science*, 22(4), 192-202.
- Ahn, S., Kwon, O., Hwang, U., Jung, S., Kim, H., & Kim, J. H. (2020). The association between genu recurvatum angle and the strength of the hip and knee muscles in standing workers. *Work*, 66(1), 173-181.
- Biernacki, J. L., Stracciolini, A., Fraser, J., Micheli, L. J., & Sugimoto, D. (2021). Risk factors for lower-extremity injuries in female ballet dancers: A systematic review. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 31(2), e64-e79.
- Buchanan, K. R., & Davis, I. (2005). The relationship between forefoot, midfoot, and rearfoot static alignment in pain-free individuals. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(9), 559-566.
- Caine, D., Bergeron, G., Goodwin, B. J., Thomas, J., Caine, C. G., Steinfeld, S., ... & André, S. (2016). A survey of injuries affecting pre-professional ballet dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 20(3), 115-126.
- Caylor, D., Fites, R., & Worrell, T. W. (1993). The relationship between quadriceps angle and anterior knee pain syndrome. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 17(1), 11-16.
- Cho, J. H., An, K. O., Cho, E. O., & Lim, B. O. (2015). Analysis of landing error scoring system during drop vertical jump on anterior cruciate ligament injury risk factors in female ballet dancers and female soccer players. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 33(2), 88-95.
- Cicchella, A., & Caminiti, C. (2015). Effect of different spotting heights on ballet pirouette performance. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 21, 19-30.
- Cimelli, S. N., & Curran, S. A. (2012). Influence of turnout on foot posture and its relationship to overuse musculoskeletal injury in professional contemporary dancers: A preliminary investigation. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 102(1), 25-33.
- Clark, M. A. (2001). Core stabilization training in rehabilitation. In W. E. Prentice, & M. L. Voight (Eds.), *Techniques in musculoskeletal rehabilitation* (pp. 259-278). New York, NY: McGraw-Hill.
- Coplan, J. A. (2002). Ballet dancer's turnout and its relationship to self-reported injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 32(11), 579-584.
- Cote, K. P., Brunet, M. E., II, Gansnedder, B. M., & Shultz, S. J. (2005). Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *Journal of Athletic Training*, 40(1), 41-56.
- Daneshmandi, H., Saki, F., Shahheidari, S., & Khoori, A. (2011). Lower extremity Malalignment and its linear relation with Q angle in female athletes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 3349-3354.
- Ekegren, C. L., Quedsted, R., & Brodrick, A. (2014). Injuries in pre-professional ballet dancers: Incidence, characteristics and consequences. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(3), 271-275.
- Filipa, A. R., Smith, T. R., Paterno, M. V., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2013). Performance on the star excursion balance test predicts functional turnout angle in pre-pubescent female dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 17(4), 165-169.
- Gamboa, J. M., Roberts, L. A., Maring, J., & Fergus, A. (2008). Injury patterns in elite preprofessional ballet dancers and the utility of screening programs to identify risk characteristics. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 38(3), 126-136.
- Grossman, G., Waninger, K. N., Voloshin, A., Reinus, W. R., Ross, R., Stoltzfus, J., & Bibalo, K. (2008). Reliability and validity of goniometric turnout measurements compared with MRI and retro-reflective markers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 12(4), 142-152.
- Ha, S.-H., Kim, J.-K., Yoon, S.-H., & Park, S.-K. (2013). Analysis of lower extremity alignment and injury type in female soccer players during 2013 season. *The Official Journal of the Korean Academy of Kinesiology*, 16(3), 127-136.
- Hadadnezhad, M., & Letafatkar, A. (2011). The relationship between genu varum abnormality and lower extremity's performance and strength in teenage footballers. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*, 7(2), 188-196.
- Hubbard, T. J., Carpenter, E. M., & Cordova, M. L. (2009). Contributing factors to medial tibial stress syndrome: A prospective investigation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 490-496.
- Imura, A., Iino, Y., & Kojima, T. (2008). Biomechanics of the continuity and speed change during one revolution of the Fouette turn. *Human Movement Science*, 27(6), 903-913.
- Jonson, S. R., & Gross, M. T. (1997). Intraexaminer reliability, interexaminer reliability, and mean values for nine lower extremity skeletal measures in healthy naval midshipmen. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25(4), 253-263.
- Kaufmann, J.-E., Nelissen, R. G. H. H., Exner-Grave, E., & Gademan, M. G. J. (2021). Does forced or compensated turnout lead to musculoskeletal injuries in dancers? A systematic review on the complexity of causes. *Journal of Biomechanics*, 114, 110084.
- Kiefer, A. W., Riley, M. A., Shockley, K., Sitton, C. A., Hewett, T. E., Cummins-Sebree, S., & Haas, J. G. (2013). Lower-limb proprioceptive awareness in professional ballet dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 17(3), 126-132.
- Kim, M. J., Lee, I., & Lee, S. Y. (2021). The differences of static lower

- extremity alignment between female ballet students and female non-ballet students. *The Korean Journal of Physical Education*, 60(3), 405-413.
- Kimmerle, M. (2010).** Lateral bias, functional asymmetry, dance training and dance injuries. *Journal of Dance Medicine & Science*, 14(2), 58-66.
- Leanderson, C., Leanderson, J., Wykman, A., Strender, L.-E., Johansson, S.-E., & Sundquist, K. (2011).** Musculoskeletal injuries in young ballet dancers. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(9), 1531-1535.
- Lee, A.-D. (2004).** *A comparison on the lower extremity deformities among different types of dance majors.* Doctoral dissertation, Ewha Womans University.
- Lee, S. Y., & Hertel, J. (2012).** Effect of static foot alignment on plantar-pressure measures during running. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(2), 137-143.
- Liederbach, M., Dilgen, F. E., & Rose, D. J. (2008).** Incidence of anterior cruciate ligament injuries among elite ballet and modern dancers: A 5-year prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(9), 1779-1788.
- Lim, J.-M. (2014).** Exercise intensity and energy cost of a ballet dance exercise in female collegiate with different technical ability. *Dance Research Journal of Korea*, 72(1), 175-190.
- Lim, J.-M. (2017).** A comparative of Q-angle, knee angle and low extremity isokinetic strength on career in female ballet dancers. *The Korean Journal of Physical Education*, 56(6), 459-468.
- Lin, C.-W., Su, F.-C., Wu, H.-W., & Lin, C.-F. (2013).** Effects of leg dominance on performance of ballet turns (pirouettes) by experienced and novice dancers. *Journal of Sports Sciences*, 31(16), 1781-1788.
- Minoonejad, H., Tasoujian, E., Amiri, H., & Manteghi, R. (2016).** Comparison of Q angle and tibial torsion among premier league futsal players with and without hamstring tightness. *Physical Treatments*, 6(1), 51-58.
- Mirochnitchenko, A., Surve, S., & Patterson, R. (2021).** Compensatory tibial torsion as a component of turnout in professional ballet dancers. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12503/30691>
- Mullaji, A. B., Sharma, A. K., Marawar, S. V., & Kohli, A. F. (2008).** Tibial torsion in non-arthritic Indian adults: a computer tomography study of 100 limbs. *Indian Journal of Orthopaedics*, 42(3), 309-313.
- Na, K.-A., Kim, R., & Park, H. J. (2011).** Body alignment analysis of dance major university student. *The Korean Journal of Arts Studies*, 3, 143-163.
- Newton, R. U., Gerber, A., Nimphius, S., Shim, J. K., Doan, B. K., Robertson, M., ... & Kraemer, W. J. (2006).** Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 971-977.
- Nguyen, A.-D., Boling, M. C., Slye, C. A., Hartley, E. M., & Parisi, G. L. (2013).** Various methods for assessing static lower extremity alignment: Implications for prospective risk-factor screenings. *Journal of Athletic Training*, 48(2), 248-257.
- Orishimo, K. F., Kremenec, I. J., Pappas, E., Hagins, M., & Liederbach, M. (2009).** Comparison of landing biomechanics between male and female professional dancers. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(11), 2187-2193.
- Seki, H., Miura, A., Sato, N., Yuda, J., & Shimauchi, T. (2020).** Correlation between degree of hallux valgus and kinematics in classical ballet: A pilot study. *PLoS ONE*, 15(4), e0231015.
- Shultz, S. J., Nguyen, A.-D., & Schmitz, R. J. (2008).** Differences in lower extremity anatomical and postural characteristics in males and females between maturation groups. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 38(3), 137-149.
- Smith, P. J., Gerrie, B. J., Varner, K. E., McCulloch, P. C., Lintner, D. M., & Harris, J. D. (2015).** Incidence and prevalence of musculoskeletal injury in ballet: A systematic review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 3(7).
- Twitchett, E., Angioi, M., Koutedakis, Y., & Wyon, M. (2010).** The demands of a working day among female professional ballet dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 14(4), 127-132.
- Wainwright, S. P., Williams, C., & Turner, B. S. (2005).** Fractured identities: Injury and the balletic body. *Health*, 9(1), 49-66.
- Welsh, T. M., Rodriguez, M., Beare, L. W., Barton, B., & Judge, T. (2008).** Assessing turnout in university dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 12(4), 136-141.

여성 발레전공자의 정적 하지 정렬 비교 분석 : 비대칭과 발의 역할을 중심으로

김경언¹, 전형규¹, 송경택², 이세용³

¹연세대학교, 박사과정

²연세대학교, 부교수

³연세대학교, 교수

[목적] 본 연구는 여성 발레전공자와 비전공자 간 정적 하지 정렬(static lower-extremity alignment, SLEA)을 비교하고, SLEA의 비대칭과 발의 역할에 따른 SLEA를 확인하고자 수행되었다.

[방법] 최근 3개월 간 부상이 없는 만 20, 30대 여성 발레전공자 29명과 일반인 20명을 대상으로 quadriceps (Q-angle, Q각), tibiofemoral(TF-angle, 대퇴경골각), rearfoot(RF angle, 후족각), genu-recurvatum(GR angle, 후반슬)의 각, tibial torsion(경골 회전각) 및 varum(안쪽굽음), navicular drop(ND, 발배뼈 하강 높이)을 측정하였다. 그룹 간 SLEA의 차이와 비대칭 정도를 비교하기 위해 독립 표본 *t* 검정을 실시하였다. 표현하는 다리(gesture leg, GL) 및 지지하는 다리(supporting leg, SL)와 일반인의 우세다리 간 SLEA의 차이를 확인하기 위해 일원배치 분산분석 및 Bonferroni 사후 검정을 실시하였다.

[결과] 발레전공자는 비전공자에 비해 적은 quadriceps angle(Q각), rearfoot angle(후족각), tibial varum(안쪽굽음) 및 navicular drop(발배뼈 하강 높이)를 보였으며, 큰 tibiofemoral angle (대퇴경골각)이 나타났다($p < .005$). 또한, 발레전공자는 일반인에 비해 Q각의 비대칭은 적었으나, 큰 경골 회전각의 비대칭이 나타났다($p < .01$). 발레전공자의 GL과 SL은 일반인의 주발과 비교하여 quadriceps angle (Q각), tibiofemoral (대퇴경골각), rearfoot angle (후족각), tibial torsion(경골 회전각) 그리고 navicular drop height (발배뼈 하강 높이)에서 차이가 나타났다.

[결론] 반복적인 무용 움직임은 GL과 SL에 서로 다른 부하를 전달할 수 있으며, 이는 SLEA의 불균형에 기여할 수 있다. 발레전공자의 SLEA 비대칭성을 줄일 수 있는 중재전략을 필요하며, 올바른 SLEA를 유지하는데 기여하는 발레 훈련의 요소를 확인할 필요가 있다.

주요어

하지 구조, 하지 형태, 부정렬, 족궁, 부상 위험인자