

Dynamic Postural Control and Ankle Joint Laxity among Dancers and Non-dancers with Chronic Ankle Instability, and Healthy Dancers

만성 발목 불안정성을 가진 무용수와 비무용수,
건강한 무용수의 동적 자세 조절 및 발목 관절 이완성

Eun Ji Hong^{1,4}, Jiho Kang², Hyung Gyu Jeon^{1,4}, Kyeongtak Song^{3,4}, Sae Yong Lee^{3,4}

¹Department of Kinesiology, Graduate School of Yonsei University, Seoul, South Korea

²School of Health and Kinesiology, University of Nebraska at Omaha, United States of America

³Department of Physical Education, Yonsei University, Seoul, South Korea

⁴Institute of Convergence Science, Yonsei University, Seoul, South Korea

Received : 08 May 2024

Revised : 18 June 2024

Accepted : 24 June 2024

Objective: The purpose of this study was to investigate whether dancers with chronic ankle instability (CAI) exhibit different characteristics in dynamic postural control ability and ankle joint laxity compared to dancers without CAI and non-dancers with CAI.

Method: Twelve dancers with CAI, 14 dancers without CAI, and 12 non-dancers with CAI participated in the study. Dynamic balance was evaluated using the Star Excursion Balance Test (SEBT) and the single-leg hop balance. The laxity of the ankle joint was evaluated through the anterior drawer test and the talar tilt test. SEBT measured maximum reach distances in anterior, posteromedial, and posterolateral directions. Single-leg hop assessed center of pressure (COP) and time-to-boundary (TTB) outcomes. One-way ANOVA and Chi-square tests were performed to compare the outcome variables among the three groups.

Results: Dancers with CAI demonstrated greater reach distance in the posterolateral direction compared to non-dancers with CAI during SEBT ($p=.014$). Secondly, dancers without CAI showed greater reach distance in the posterolateral ($p<.001$) and posteromedial ($p=.001$) directions during SEBT compared to non-dancers with CAI. Additionally, dancers without CAI exhibited better postural control with higher TTB AP mean of minima ($p=.003$) and TTB AP standard deviation of minima ($p=.012$) during single-leg hop compared to non-dancers with CAI. Thirdly, dancers with CAI showed a lower positive rate during the anterior drawer test compared to non-dancers with CAI ($p=.019$).

Conclusion: Dancers with CAI demonstrated better ankle function and reduced mechanical instability compared to non-dancers with CAI. Therefore, to elucidate the underlying mechanisms of lateral ankle sprain and CAI development exacerbation in dancers, additional factors that can affect ankle sprain, such as visual dependence during postural control and evaluation in dance movements, should be explored.

Keywords: Balance, Joint instability, Ankle injury, Star excursion balance test, Single leg hop

Corresponding Author

Sae Yong Lee

Department of Physical
Education, Yonsei University, 310,
Sports Science Complex Building,
Seoul, 03722, South Korea

Email : sylee1@yonsei.ac.kr

INTRODUCTION

무용은 점프 후 착지, 한발 서기 동작이 다수 포함된 높은 수준의 자세 조절 능력이 요구되는 종목이다(Hugel, Cadopi, Kohler & Perrin, 1999; Lin, Lee, Liao, Wu & Su, 2011). 무용수들은 오랜 기간 한 발로 균형을 유지하는 동작을 반복함으로써 발목 관절의 고유 수용 민감성 및 근신경 능력이 뛰어나고(Hutt & Redding, 2014), 피부 기계 수용체의 임계치가 낮으며(Alfuth, Luetkecosmann & Knicker, 2021), 관절 위치 감각(joint position sense)이 뛰어나다고 보고된다(Kiefer et al., 2013). 특히 무용수는 일반인에 비해 Star Excursion Balance Test (SEBT) 시 뒤안쪽(posteromedial, PM) 및 안쪽(medial, M) 방향의 증가된 도달 거리가 나타나는 등 우수한 정적/동적 자세 조절 능력을 갖추고 있다(Ambegaonkar et al., 2013; da Silveira Costa, de Sá Ferreira & Felício, 2013; Crotts, Thompson, Nahom, Ryan & Newton, 1996; Harmon et al., 2020).

무용수는 발달된 균형 능력을 지녔음에도 불구하고 발목 관절의 부상이 전체 부상 중 35.8%를 차지할 정도로 빈번하며(Kim, Jeong, Park & Lee, 2021), 외측 발목 염좌(lateral ankle sprain, LAS)는 무용수들이 훈련 및 공연 중에 흔하게 겪는 부상 유형이라고 알려져 있다(Wiesler, Hunter, Martin, Curl & Hoen, 1996). 급성 LAS 이후에는 근신경 조절(neuromuscular control) 능력 감소 및 인대와 같은 발목 구조물이 손상되는데, 이러한 현상이 반복되면 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability, CAI)으로 악화될 수 있다(Jeon, Lee, Park & Ha, 2021). 실제 무용수들 중 LAS를 경험한 75.9%는 CAI로 발전하며 60.9%는 양 발 모두 CAI를 경험한다고 보고된다(Simon, Hall & Docherty, 2014). 이는 건강 관련 삶의 질을 낮출 뿐만 아니라 외상 후 발목 관절염의 주요 요인으로도 제시되고 있다(Teitz & Kilcoyne, 1998). 따라서 무용수 CAI의 발목 관절 기능 및 구조적 특성을 파악하여 예방 전략을 수립하는 것은 무용수로서의 경력을 유지하고 은퇴 후의 건강 관련 삶의 질을 위해서도 중요하다.

무용수의 LAS는 발 뒤꿈치 들기(heel raise)로 동작을 시작하거나 점프 후 발바닥굽힘(plantar flexion)의 가동범위가 큰 상태로 착지할 때 발생한다(Ritter & Moore, 2008; Kim et al., 2021). 과도한 발바닥굽힘의 반복은 발목 관절 앞쪽에 위치한 앞목말종아리인대(anterior talofibular ligament, ATFL)가 수직선 가까이에 놓이기 때문에 장력(strain)이 증가하며, 이는 발목 관절 이완성(laxity)을 야기할 수 있다(Macintyre & Joy, 2000; Russell, 2010). Miller 등(Miller et al., 2018)에 의하면 무용수의 발목 관절 이완성이 클 수록 한 발 착지 시 자세 조절 능력의 저하가 나타난다고 보고된다. 따라서 무용 특이적 움직임으로 인해 무용수 CAI (dancers with CAI)는 LAS를 유발하는 특성 및 발목 관절 안정성이 일반인 CAI (non-

dancers with CAI)와 다를 수 있다.

무용수는 발목 부상 여부에 관계없이 자세 유지를 위한 근육 강화 및 신체의 협응성 향상 훈련을 반복적으로 받기 때문에(Hung, Boehm, Reynolds, Whitehead & Leland, 2021; Liederbach et al., 2006) 일반인에 비해 균형 능력이 우수할 수 있다. 그러나 무용수의 동적 균형 조절 시 압력 중심점(center of pressure, COP) 및 경계 도달 시간(time to boundary, TTB) 변인과 발목 관절 이완성을 함께 확인한 연구는 부족한 실정이다(da Silveira Costa et al., 2013). 또한 무용수와 일반인 간 비교하거나 건강한 무용수(dancers without CAI)의 특성을 단편적으로 제시할 뿐, 무용수의 LAS 및 CAI 발병 기전을 일반인 CAI와 함께 확인한 근거는 부족하다. 따라서 무용 동작에 따른 발목 관절의 구조적/역학적 변화에도 불구하고, 무용수가 CAI로 발전하는 원인에 대해서는 추가적인 근거가 필요하다.

CAI를 경험한 무용수와 일반인은 모두 반복적인 발목 부상을 경험하는 공통점이 있으나, 무용수는 우수한 자세 조절 능력을 가지고 있음에도 불구하고 발목 부상이 잦다는 특징이 있다. 무용수 CAI, 건강한 무용수, 일반인 CAI 간 자세 조절 능력과 발목 관절 이완성을 복합적으로 확인한다면 CAI를 경험하는 무용수들을 위한 재활 및 재부상 예방 전략에 기여할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구의 목적은 무용수 CAI의 자세 조절 능력과 발목 관절 이완성이 건강한 무용수, 일반인 CAI와 다른 특성을 갖는지 검증하는 것이다. 가설은 다음과 같다. 무용수 CAI는 일반인 CAI에 비해 (a) SEBT 시 모든 방향에서의 동적 균형 능력과, (b) single leg hop 수행 시 동적 균형 능력이 좋을 것이며, (c) 발목 관절 이완성이 많이 나타날 것이다. 그러나, 무용수 CAI는 건강한 무용수에 비해 (a) SEBT 시 모든 방향, (b) single leg hop 수행 시 동적 균형 능력에서 유의한 차이가 나타나지 않을 것이며, (c) 발목 관절 이완성이 높은 비율을 차지할 것이다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구에 참여한 무용수 CAI, 건강한 무용수, 일반인 CAI의 인구통계학적 특성은 <Table 1>과 같다. 연구 참여자는 신체적 활동 수준(Tegner activity score)이 5 이상인 만 20~40세의 여성으로 모집하였다. 연구 참여자 중 이전에 하지 근골격계 골절 및 수술 이력이 존재하거나, 3개월 이내에 근골격계 급성 부상이 발생한 자는 제외하였다.

본 연구에서 모집한 CAI 집단은 무용수 CAI와 무용 경험이 한 번도 없는 일반인 CAI이다. 두 집단 모두 International Ankle Consortium의 권고사항을 참고하였다(Gribble et al.,

2013). CAI 그룹의 선정 기준은 다음과 같다: 1) 최초 발목 염좌가 적어도 1년 전에 발생; 2) 지난 6개월 안에 두 번 이상 휘청거리기(giving way)를 경험하고 불안정성을 느낌; 3) 발목 기능 설문지 일상생활 및 스포츠(Foot and Ankle Ability Measure: FAAM-ADL <90%, FAAM-sports <80%); 4) 기능적 발목 불안정성 설문지(Identification of Functional Ankle Instability: IdFAI ≥ 11).

본 연구에서 모집한 무용수 집단은 무용수 CAI와 건강한 무용수이다. 건강한 무용수의 정의는 다음과 같다: 1) LAS를 경험하지 않음; 2) 발목 기능 설문지 일상생활 및 스포츠 (FAAM-ADL =100%, FAAM-sports =100%); 3) 기능적 발목 불안정성 설문지(IdFAI <11) (Huston, Van Lunen & Hoch, 2014; Laessoe, Svendsen, Christensen, Rasmussen & Gaml, 2019). 무용수는 무용 전문 교육 기관인 학교설립인가를 받은 예술 중/고등학교 또는 학원 설립 및 운영 등록 되어있는 무용학원에서 7년 이상 교육을 받았으며(Lin et al., 2011), 4년제 대학의 재학생 혹은 졸업생으로서 현역으로 활동 중인 발레/현대무용 전공 무용수로 정의하였다.

모든 피험자는 본 실험이 시작되기 전 실험 과정에 대해 충분한 설명을 한 후 참여 의사 및 서면 동의서를 작성하였다. 본 연구의 내용은 @대학교 생명윤리위원회를 통해 승인받은 내용을 바탕으로 두 개의 데이터를 취합하여 분석을 진행하였다(IRB No. 7001988-202209-HR-1691-02 & 7001988-202207-HR-1631-02).

2. 연구절차

본 실험에 참여하기 전 연구 참여자에게 실험 절차 및 수집되는 정보에 대해 설명한 후 기초 정보 설문지를 작성했다. 기초 정보 설문지는 나이, 주로 사용하는 발, 무용 경력, 발목 염좌 경험 및 최근 부상 시점으로 구성 되어있다. 설문지 작성 완료 후 연구 참여자는 신체 정보 계측을 위해 키, 몸무게, 다리 길이를 측정하였고, 신뢰도가 확보된 스포츠 재활 전문가 두 명이 앞당김 검사(anterior drawer test)와 목말뼈경사 검사(talar tilt test)를 실시하였다(Ryan, 1994; Van Dijk, Mol, Lim, Marti & Bossuyt, 1996). 모든 연구 참여자는 5분 동안 준비운동을 실시한 후 신체에 24개의 적외선 반사 마커를 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine), 위뒤엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine), 넙다리뼈(thigh), 넙다리뼈의 안쪽/가쪽 위관절융기(medial/lateral epicondyle), 정강뼈(tibia), 안쪽/가쪽 복사뼈(medial/lateral malleolus), 1번째 발허리뼈 머리(1st metatarsal head), 2번째 발허리뼈 머리(2nd metatarsal head), 5번째 발허리뼈 머리(5th metatarsal head), 발꿈치뼈(calcanus)에 부착하였다. 동적 자세 조절 과제로는 SEBT, single leg hop test가 시행되었으며 각 과제마다 3번씩 동일

하게 연습 및 적응시간을 가진 후 총 3회의 성공 시도가 측정되었다. 본 연구에서 모든 검사는 다음과 같은 기준을 통해 측정 발(검사 다리)이 정의되었다. 무용수 CAI와 일반인 CAI는 LAS 병력이 있는 발을 측정 발로 설정하였다. 두 발 모두 LAS 병력이 있는 경우 FAAM-ADL과 FAAM-sports 설문 점수가 낮고, IdFAI는 높은 점수에 해당할 수록 불안정하므로 발목 설문 점수를 확인하여 주관적으로 더 불안정함을 느끼는 발로 수행하였다. 건강한 무용수는 착지할 때 편한 발을 주발(dominant leg)로 정의하여 측정하였다.

1) SEBT

SEBT 동적 자세 조절은 효과적으로 측정하기 위해 측정 절차를 간소화하여 여덟 방향 중 앞쪽(anterior, ANT), 뒤안쪽, 뒤가쪽(posterolateral, PL) 방향만 실시하였다(Plisky et al., 2009). 실험 참가자의 검사 다리를 힘 판(ORG-6 AMTI, Watertown, MA, USA)의 중앙에 위치시키고, 비검사 다리는 무릎을 90도로 접어 골반 높이로 들어올린 후 바닥에 표시된 세 방향으로 최대한 멀리 뻗도록 지시했다. 양 손은 엉덩뼈능선(ilic crest)에 위치하게 하여 동적 자세 조절 중 상체의 개입을 최소화하였다. 동작 수행 시 검사 다리의 발뒤꿈치가 떨어지지 않거나 비검사 다리가 다시 원점으로 돌아와서 중심이 흔들리지 않을 시에 성공으로 인정된다. SEBT의 실패 기준은 다음과 같다(Jeon, Lee & Lee, 2022): 1) 비검사 다리를 멀리 뻗은 후 시작 자세로 돌아오지 못함; 2) 엉덩뼈능선에서 손이 떨어지거나 손이 땅을 짚음; 3) 힘 판 위에서 검사 다리가 움직임; 4) 비검사 다리로 바닥을 접촉함.

2) Single leg hop

한 발 착지 시 동적 자세 조절을 비교하기 위해 힘 판의 중앙으로부터 개인 키의 50%로 설정된 시작점에서 점프 동작을 수행하였다. 시작 신호 후 실험 참가자는 시작점에서 두 발로 점프하여 전방에 위치한 힘 판에 검사 다리로 착지한 후, 가능한 빨리 안정화하여 10초간 균형을 유지했다(Figure 1) (Williams et al., 2016). 이 때, 실험 참가자에게 최대한 높이가 뛰어달라고 요청했으며, 동작을 수행하는 동안 시선은 눈높이와 동일한 정면의 표시점을 주시하게 하였다. 착지 후 비검사 다리의 엉덩 및 무릎 관절은 각각 90° 굽힘(flexion) 상태를 유지하였으며, 자세 조절 중 상체의 개입을 최소화하기 위해 양 손을 엉덩뼈능선에 위치시키도록 통제하였다. 도약 시 두 다리가 바닥에서 동시에 떨어지고, 한 발로 착지 후 흔들리지 않을 경우 성공으로 인정하였다. Single leg hop 측정 실패 기준은 다음과 같다(Kawahara et al., 2022): 1) 엉덩뼈능선에서 손이 떨어지거나 손이 땅을 짚음; 2) 착지한 다리의

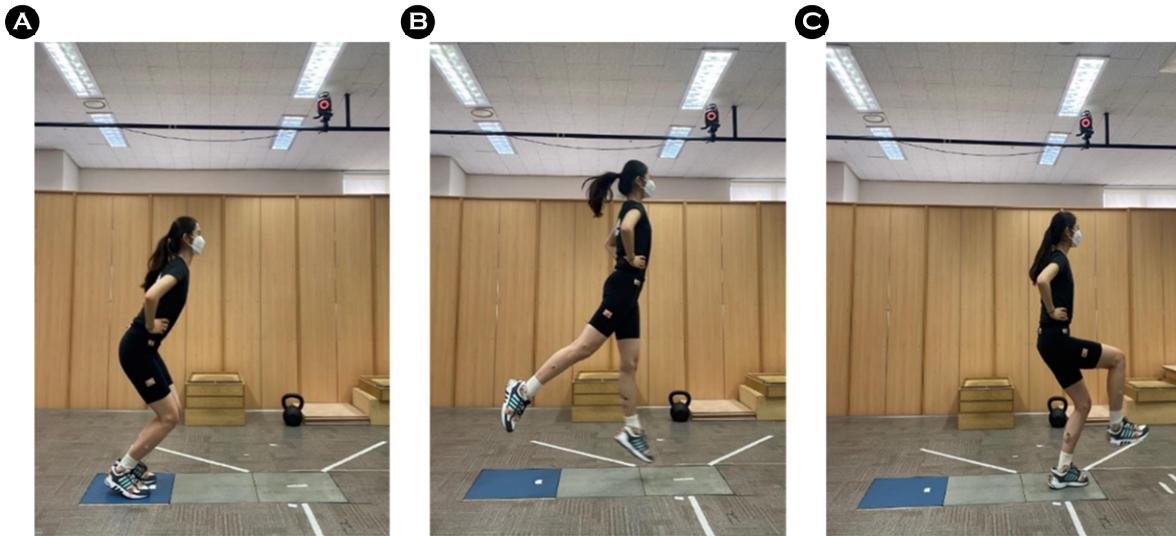


Figure 1. Single leg hop task. A, starting position, standardized to 50% of the subject's height from a center of the force plate. B, double-leg maximum vertical forward jump. C, single leg landing on a force plate with the involved leg.

위치가 움직임; 3) 힘 판 안에 측정 발이 들어오지 않음.

3) 이학적 검사

본 연구에서 실시한 앞당김 검사는 주로 앞목말종아리인대 손상을 알아보기 위한 검사이며, 실험 참여자를 테이블의 가장자리에 앉혀서 다리와 발의 근육을 이완하게 했다(Ryan, 1994). 검사자는 한 손으로 정강뼈(tibia)의 아래 부분을 잡고 뒤로 밀며, 다른 손은 손바닥으로 발꿈치뼈(calcaneus)를 잡고 앞으로 잡아당겼다(Ryan, 1994). 비검사 발과 비교하여 검사 발이 앞으로 밀려나오거나 끝 지점에서 덜컹거리는 소리나 느낌이 나는 경우, 과도하게 움직이는(very hypermobile) 경우 양성(positive)으로 진단하였다(Ryan, 1994). 목말뼈 경사 검사는 안쪽번짐(inversion) 손상을 검사하기 위해 사용되며, 검사자는 한 손으로 정강뼈의 아래 부분을 잡아 고정시키고 다른 손은 발바닥을 감싸 안쪽번짐 시켰다(Ryan, 1994). 비검사 발과 비교해 검사 발의 목말뼈가 지나치게 움직이는 경우 양성으로 진단하였다(Ryan, 1994).

3. 데이터 처리

SEBT와 single leg hop 동안 부착된 반사 마커의 데이터는 8대의 적외선 카메라(VICON, MX-F20, Oxford Metric Ltd., Oxford, UK)를 통해 수집되었고, 3차원 동작 분석 시스템(VICON, NEXUS System)을 이용하여 평가하였다. SEBT의 최대 도달 거리는 검사 다리와 비검사 다리에 부착된 제2 발허리

뼈 머리(2nd metatarsal head)의 반사 마커 간 거리가 가장 먼 지점으로 정의하여(Jeon et al., 2022) 실험 참가자의 다리 길이로 표준화한 후 백분율로 표기하였으며(Gabriner, Houston, Kirby & Hoch, 2015), 다리 길이는 위앞영덩뼈가시와 안쪽 복사뼈 사이의 직선거리로 규정하였다(Hertel, Braham, Hale & Olmsted-Kramer, 2006). 부착된 마커의 운동학적 데이터는 200 Hz 샘플링률(sampling rate)로 수집되었다. SEBT 최대 도달 거리 측정과 발 분절 정의를 위한 마커 위치 데이터는 Visual 3D 프로그램(Visual 3D software, C-Motion Inc., MD, USA)을 이용하여 처리하였으며, 실험 중 발생한 임의 오류(random error)를 줄이기 위해 6 Hz의 Butterworth 4차 저역(fourth-order low-pass) 필터를 사용하였다. Single leg hop test 동안 동적 자세 조절 능력 분석을 위해 Force plate 데이터를 2,000 Hz의 샘플링률로 수집하였으며, 5 Hz의 4차 저역 Butterworth 필터를 통해 노이즈를 제거하였다. 압력 중심점 데이터 추출을 위해 초기 착지(initial contact) 시점부터 5초 동안의 데이터를 사용하였으며, 초기 착지는 수직 지면 반력(vertical ground reaction force)이 10 N 이상인 시점으로 정의하였다. COP 데이터를 수집하기 위해 1번째 발허리뼈 머리, 5번째 발허리뼈 머리, 안쪽 복사뼈, 가쪽 복사뼈(lateral malleolus)에 부착된 반사 마커로 가상의 발(virtual foot)을 형성하여 직사각형으로 모델링 하였다. COP 위치 데이터를 통해 앞뒤(anteroposterior, AP), 안가쪽(mediolateral, ML) 방향의 COP 표준편차, 범위, 평균 속도를 계산하였다(Van Wegen, Van Emmerik & Riccio, 2002; Van Wegen, Van Emmerik, Wagenaar & Ellis, 2001). TTB는 COP가 기저면(base of support)

Table 1. Characteristics of participants and questionnaire scores

Variable	Dancers with CAI (n=12)	Dancers without CAI (n=14)	Non-dancers with CAI (n=12)	p	Post hoc
Age (yr)	23.33 (3.39)	21.07 (1.73)	24.58 (4.14)	.028*	Dancers without CAI < Non-dancers with CAI*
Height (cm) [†]	165.48 (5.70)	164.82 (6.07)	164.93 (6.63)	.748	-
Body mass (kg)	52.88 (6.97)	53.50 (5.31)	60.30 (4.87)	.005**	Dancers with CAI < Non-dancers with CAI*, Dancers without CAI < Non-dancers with CAI*
IdFAI [†]	18.92 (4.25)	1.21 (1.93)	21.42 (4.48)	<.001***	Dancers without CAI < Dancers with CAI***, Dancers without CAI < Non-dancers with CAI***
FAAM-ADL (%) [†]	79.17 (9.27)	99.91 (0.32)	78.97 (10.75)	<.001***	Dancers with CAI < Dancers without CAI***, Non-dancers with CAI < Dancers without CAI***
FAAM-Sports (%) [†]	65.77 (12.80)	99.49 (1.30)	71.50 (9.58)	<.001***	Dancers with CAI < Dancers without CAI***, Non-dancers with CAI < Dancers without CAI***
Tegner	6.08 (1.00)	7.14 (1.35)	5.17 (1.12)	.001**	Non-dancers without CAI < Dancers without CAI***
Dance training experience	9.75 (2.38)	10.43 (3.11)	-		

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

[†]: indicates that the Kruskal-Wallis test was conducted

Abbreviation: CAI, chronic ankle instability; FAAM-ADL, Foot and Ankle Ability Measure-Activity Daily Living; IdFAI, Identification of Functional Ankle Instability

Note: values are indicated as mean and standard deviation

의 경계에 도달하는 데 걸리는 시간을 나타내기 위한 변인으로(Hertel & Olmsted-Kramer, 2007), 낮은 TTB 측정값은 COP가 기저면의 경계에 도달하는 시간이 짧아 자세 조절의 결함을 나타낸다(McKeon & Hertel, 2008). TTB 변인을 계산하기 위해 가상의 발을 기준으로 발의 길이와 넓이를 산출하였고, 1번째 발허리뼈 머리, 2번째 발허리뼈 머리, 5번째 발허리뼈 머리, 발꿈치뼈에 부착된 반사 마커로 각각 안쪽, 앞쪽, 가쪽, 뒤쪽의 순서대로 지지 경계면을 설정하였다. TTB AP와 ML 방향의 TTB minima의 평균, 표준편차를 계산하였으며, Matlab (MATLAB R2018a, Mathworks Inc., Natick, MA, USA)을 사용하여 값을 산출하였다.

4. 통계분석

본 연구에서 수집된 데이터의 통계처리는 IBM SPSS version 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 무용수 CAI, 건강한 무용수, 일반인 CAI 간 인구 통계학적 특성 및 균형 능력 차이를 비교하기 위해 정규성 검정에 따라 일원 배치 분산 분석(one-way analysis of variance, one-way ANOVA)과 Kruskal-Wallis 검정을 통해 분석하였고, Bonferroni 사후 분석을 수행하였다. 발목 관절의 이완성과 세 그룹의 연관성을 분석하기 위해 chi-square 검정을 시행하였으며, 효과크기(effect size) 산출을 위해 Cramer's V를 사용하였다(Kim, 2017). Chi-square 검정의 효과크기는 다음과 같은 기준으로 해석된다: 작음(small, >0.07), 중간(medium, >0.21), 큼(large, >0.35). 통계적 유의수준(α)은 0.05로 설정하였다.

Table 2. The results of descriptive statistics Mean (SD) for each group for SEBT

Variables	Dancers with CAI	Dancers without CAI	Non-dancers with CAI	F	p	Post hoc
SEBT						
Anterior (% Leg length)	63.94 (6.07)	69.70 (6.47)	64.03 (5.77)	3.832	.031*	-
Posteromedial (% Leg length)	101.05 (9.24)	105.26 (10.62)	89.03 (9.21)	8.579	.001**	Non-dancers with CAI < Dancers without CAI**
Posterolateral (% Leg length)	103.08 (9.34)	110.02 (8.01)	95.88 (8.75)	9.384	.001**	Non-dancers with CAI < Dancers with CAI*, Non-dancers with CAI < Dancers without CAI***

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

Abbreviation: CAI, chronic ankle instability; SEBT, star excursion balance test

Table 3. The results of descriptive statistics Mean (SD) for each group for single leg hop

Variables	Dancers with CAI	Dancers without CAI	Non-dancers with CAI	F	p	Post hoc
COP						
ML S.D. (cm) [†]	1.02 (0.15)	1.04 (0.16)	1.21 (0.25)	3.476	.078	-
AP S.D. (cm) [†]	0.74 (0.25)	0.70 (0.14)	0.73 (0.10)	0.172	.689	-
ML range (cm) [†]	8.23 (1.88)	9.95 (4.86)	7.33 (3.65)	1.650	.134	-
AP range (cm) [†]	7.27 (3.07)	8.99 (3.59)	6.32 (2.38)	2.501	.114	-
ML velocity (cm/s)	3.29 (0.45)	3.62 (0.80)	3.72 (0.93)	1.051	.360	-
AP velocity (cm/s)	1.89 (0.48)	2.06 (0.50)	1.96 (0.63)	0.338	.715	-
TTB						
ML mean of minima (s)	1.15 (0.27)	1.14 (0.31)	0.88 (0.33)	2.987	.063	-
AP mean of minima (s) [†]	7.50 (2.80)	8.28 (1.58)	5.51 (2.29)	5.120	.003**	Non-dancers with CAI < Dancers without CAI*
ML SD of minima (s) [†]	1.36 (0.33)	1.36 (0.60)	1.09 (0.53)	1.156	.309	-
AP SD of minima (s) [†]	7.06 (3.10)	7.42 (2.18)	5.13 (2.56)	2.750	.012*	Non-dancers with CAI < Dancers without CAI*

*p<.05, **p<.01

†: indicates that the Kruskal-Wallis test was conducted

Abbreviation: AP, anteroposterior; CAI, chronic ankle instability; COP, center of pressure; ML, mediolateral; SD, standard deviation; TTB, time to boundary

RESULTS

1. 인구 통계학적 특성 차이

세 그룹 간 인구통계적 정보를 비교한 결과, 나이($p=.280$),

체중($p=.005$)에서 통계적 차이가 나타났다(Table 1). 주관적 발목 불안정성 평가 결과 하위항목인 IdFAI ($p<.001$), FAAM-ADL ($p<.001$), FAAM-Sports ($p<.001$)에서 각각 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었으며, 신체 활동 평가지인 Tegner ($p=.001$)에서 유의한 차이가 나타났다(Table 1).

Table 4. The results of descriptive statistics n (%) each group for ankle joint laxity

Special test		Dancers with CAI	Dancers without CAI	Non-dancers with CAI	χ^2	p	Effect size ^a
ADT	N	11 (91.7%)	11 (78.6%)	5 (41.7%)	7.902	.019*	0.456
	P	1 (8.3%)	3 (21.4%)	7 (58.3%)			
TT	N	6 (50%)	11 (78.6%)	4 (33.3%)	5.545	.063	0.382
	P	6 (50%)	3 (21.4%)	8 (66.7%)			

* $p < .05$ ^aEffect size was determined using the Cramer's V

Abbreviation: ADT, anterior drawer test; CAI, chronic ankle instability; N, negative; P, positive; TT, talar tilt test

2. SEBT 시 최대 도달 거리 비교

SEBT 수행 시 세 방향을 분석한 결과, SEBT-PL에서 유의한 차이가 나타났으며($p=.001$), 사후분석 결과 무용수 CAI와 건강한 무용수는 일반인 CAI 보다 최대 도달 거리 값이 크게 나타났다. 또한 SEBT-PM에서는 건강한 무용수가 일반인 CAI 보다 최대 도달 거리의 증가된 값이 나타났다($p=.001$) (Table 2).

3. Single leg hop 수행 시 COP와 TTB 비교

Single leg hop 수행 시 COP의 모든 변인에서 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .050$). 하지만 TTB minima의 앞뒤 평균($p=.003$)과 표준편차($p=.012$) 변인에서 그룹 간 차이가 나타났고, 사후분석 결과 건강한 무용수가 일반인 CAI 보다 높은 값이 나타났다(Table 3).

4. 발목 관절 이완성 평가

발목 관절 이완성의 여부와 세 그룹 간의 관련성을 확인한 결과, 앞당김 검사에서 일반인 CAI (58.3%)가 건강한 무용수(21.4%), 무용수 CAI (8.3%) 보다 높은 비율을 차지했으며($p=.019$), 강한 효과크기가 확인되었다(Cramer's $V=.456$) (Table 4).

DISCUSSION

본 연구는 무용수 CAI의 자세 조절 능력 및 발목 관절 이완성이 일반인 CAI와 차이가 있는지 확인하기 위해 수행되었다. 본 연구를 통해 확인한 결과, 무용수 CAI는 일반인 CAI에 비해 SEBT 시 우수한 자세 조절을 보였다. 건강한 무용수 또한 일반인 CAI에 비해 SEBT, single leg hop 시 뛰어난 자세 조절 능력을 보였다. 그러나 무용수 CAI와 건강한 무용수는

자세 조절에서 차이가 나타나지 않았다. 앞당김 검사 시 무용수 CAI는 일반인 CAI 보다 양성 비율이 적었으며, 이는 강한 효과크기가 나타났다.

본 연구에서 무용수 CAI 및 건강한 무용수는 동적 자세 조절 시 일반인 CAI보다 우수한 자세 조절을 보였다. 무용수는 수준 높은 자세를 오랫동안 유지하기 위한 협응성 훈련과 한 발 점프/착지 동작을 반복하기 때문에(Hung et al., 2021; Liederbach et al., 2006) 일반인에 비해 신체 흔들림 인지 및 동적 균형 능력이 향상되었을 수 있다(Filipa, Byrnes, Paterno, Myer & Hewett, 2010; Schmit, Regis & Riley, 2005). 본 연구 결과 SEBT의 PL 방향에서는 무용수 CAI 및 건강한 무용수가 일반인 CAI에 비해 균형 능력이 뛰어난 것으로 확인되었다. SEBT-PL을 수행하는 동안 균형 잡는 다리의 넓다리뼈가 안쪽 돌림(internal rotation)되는 것을 조절하는 능력이 요구되는데(Jaber et al., 2018), 무용수는 강한 엉덩 관절 가쪽 돌림(external rotation) 근육으로 이를 잘 제어한다고 판단된다. 무용수는 하지 전체를 가쪽 돌림하는 턴아웃(turn out) 동작을 반복하기 때문에(Gilbert, Gross & Klug, 1998) 무용수는 강한 엉덩 관절 근력이 흔들림 조절에 기여하여 우수한 자세 조절을 보여주었을 것이라고 생각한다(Gupta et al., 2004; McCann et al., 2017). 특히 이러한 결과는 무용수 CAI가 발목 부상 및 불안정성을 경험함에도 불구하고 자세 조절 능력 저하가 나타나지 않음을 의미한다. Single leg hop 시 건강한 무용수는 일반인 CAI에 비해 높은 TTB minima 앞뒤 평균 및 표준편차가 나타났다. 이는 일반인 CAI가 감소된 피부 기계 수용 감각을 재분배(re-weighting)함으로써 앞뒤 방향으로 움직임 범위를 넓혀 불안정성을 보상한다고 보고한 선행연구의 결과와 일치한다(McKeon, Booi, Branam, Johnson & Mattacola, 2010). 무용수는 *Ouverte devant* 동작과 같이 앞 방향으로 한 발 착지한 후 균형을 유지하는 훈련을 반복적으로 수행하기 때문에 일반인 CAI에 비해 앞뒤 방향으로 뛰어난 균형 능력이 나타났을 것이라고 생각한다.

본 연구에서 무용수 CAI와 건강한 무용수 간 균형 능력에 차이가 나타나지 않았다. 부상과 관련된 체성 감각(somatosensory)의 저하와는 별개로, 무용수 CAI의 우수한 균형 조절은 시각 정보를 극대화함으로써 나타난 결과물일 수 있다고 생각한다. 선행연구에 따르면 LAS 및 CAI 환자는 감소된 체성 감각을 보상하기 위해 시각 정보의 활용을 증가시키고, 시각 정보를 차단한 자세 조절 검사 시 일반인에 비해 더욱 큰 균형 조절의 저하가 나타난다(Song, Burcal, Hertel & Wikstrom, 2016). 무용수의 훈련 공간은 전면이 거울로 구성된 특징이 있어 시각 정보 활용을 증가시키는 환경에 반복적으로 노출되지만(Miller et al., 2018), 무용수와 일반인의 시각의존도를 비교한 선행연구에서는 상이한 결과가 보고된다(Bruyneel, Mesure, Paré & Bertrand, 2010; Golomer, Crémieux, Dupui, Isableu & Ohlmann, 1999). 따라서 추후에는 무용수 CAI를 대상으로 균형 조절 시 시각의존도를 확인한다면 자세 조절 전략을 면밀히 확인할 수 있을 것이다.

우수한 균형 능력에도 불구하고 무용수가 CAI로 발전하는 이유는 정상 범위를 벗어난 관절가동범위(range of motion)를 요구하는 무용 동작의 특성 때문이라고 판단된다(Hung et al., 2021). 무용 동작에서 요구하는 발바닥쪽굽힘은 뒤침(supination) 움직임에 포함되며, 발목 관절의 측면에서 뒤침은 관절을 열린 상태로 만들기 때문에 불안정한 상태에 노출되어 LAS 발생 위험이 증가할 수 있다. 따라서 추후 연구에는 무용수들이 자주 수행하는 역동적인 동작에서 발목 불안정성 여부에 따라 균형 능력이 다른지 평가해야 할 필요가 있으며, 무용수에게는 평가 및 재활방법을 일반인 CAI와 다르게 접근해야 할 필요가 있다.

발목 관절 이완성 평가 검사 중 앞당김 검사에서는 일반인 CAI (58.3%)가 무용수 CAI (8.3%) 보다 더 느슨한 경향이 컸다. 무용수는 훈련 시 발목 관절의 과도한 발바닥쪽굽힘을 기반으로 한 안무를 수행하기 때문에(Hung et al., 2021; Russell, Kruse, Nevill, Koutedakis & Wyon, 2010; Vosseller, Dennis & Bronner, 2019), 구조적 결함이 존재하고 발목관절 불안정성에 기여할 것으로 예상했으나(Macintyre & Joy, 2000; Russell, 2010) 본 연구 결과는 선행연구와 일치하지 않는 것으로 나타났다. 이는 무용 특이적인 움직임으로 인해 발목 이완성이 발생하지 않을 수 있음을 의미하며, 발목 관절 이완성은 무용수 CAI가 발목 불안정성으로 발전하게 되는 주요 기여 요인이 아닐 수 있음을 시사한다. 발목의 이완성은 구조적 발목 불안정성(mechanical ankle instability, MAI)을 구성하는 요소이며, MAI는 발목 손상 이후 인대 및 관절 주머니(joint capsule)의 유연성 증가로 인해 관절의 중립(neutral) 범위가 넓어지고(Hubbard & Hertel, 2006) 자세 흔들림이 증가된다(Chen, Li, Zhang, Hua & Chen, 2014). 관절의 손상된 기계수용기(mechanoreceptor)는 관절 끝 범위(end range) 또는 근처에

서만 활성화되는데(Wilkerson & Nitz, 1994), 본 연구에서는 한 발 착지와 같은 동적인 동작을 수행했기 때문에 기계수용감각의 결핍 등 CAI 특성이 두드러지게 나타났을 수 있다. 그러므로 본 연구에서 일반인 CAI의 증가된 관절 이완성은 자세 조절 결함에 영향을 미쳤을 수 있다. 추후연구에서는 발목 관절 근력 및 근활성도와 같은 다른 요인을 함께 확인한다면 무용수의 발목부상 원인을 보다 면밀히 확인할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 두 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, TTB 변인을 도출할 때 실제 발 길이와 넓이를 고려하여 부착된 마커를 통해 지지 경계면을 설정했지만, 발허리뼈 보다 먼(distal) 부분에 위치한 발가락뼈에 대한 정보가 수집되지 않았기 때문에 연구 결과를 해석하는 데 한계가 있을 수 있다. 둘째, 발목 관절 이완성은 3년 이상의 스포츠 재활 전문가 두 명이 동시적으로 이학적 검사를 수행했으나, 객관성 있는 측정기구(ankle arthrometer)의 결과와 차이가 존재할 수 있다. 이러한 제한점에도 불구하고 본 연구는 무용수 CAI가 우수한 자세 조절 능력 및 감소된 관절 이완성이 나타났기 때문에 무용수 CAI의 새로운 특징을 밝혀냈다. 따라서 본 연구는 발목 부상 재활 및 예방 전략을 다방향적인 관점으로 제시할 수 있는 의미있는 연구가 될 것으로 생각된다.

CONCLUSION

본 연구 결과에서 무용수 CAI는 일반인 CAI와 비교해 발목 관절의 기능이 뛰어났으며, 구조적 불안정성이 적었다. 그러나, 무용수 CAI의 우수한 자세 조절은 훈련 특성에 기인한 결과일 수 있기 때문에 추후에는 균형 조절 시 발목 부상 여부에 따른 무용수의 시각의존도를 확인해야 할 필요가 있다. 또한 무용수는 발목 부상이 잦은 동작에서 자세 조절 능력이 달라질 수 있으므로 후속 연구에서는 무용수가 자주 수행하는 무용 동작으로 균형 능력을 평가해야 될 필요가 있다. 따라서 무용수의 반복된 LAS에 영향을 미칠 수 있는 추가적인 요인을 탐색하여 무용수에게 적절한 발목 예방 및 재활 프로그램을 적용해야 할 필요가 있다.

REFERENCES

- Alfuth, M., Luetkecosmann, J. & Knicker, A. (2021). Comparison of plantar sensitivity, dynamic balance, and lower extremity joint range of motion between experienced female ballet dancers and female non-dancing athletes a cross-sectional study. *Journal of Dance Medicine & Science*, 25(4), 238-248.
- Ambegaonkar, J. P., Caswell, S. V., Winchester, J. B., Shimokochi,

- Y., Cortes, N. & Caswell, A. M. (2013). Balance comparisons between female dancers and active nondancers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 84(1), 24-29.
- Bruyneel, A., Mesure, S., Paré, J. & Bertrand, M. (2010). Organization of postural equilibrium in several planes in ballet dancers. *Neuroscience Letters*, 485(3), 228-232.
- Chen, H., Li, H. Y., Zhang, J., Hua, Y. H. & Chen, S. Y. (2014). Difference in postural control between patients with functional and mechanical ankle instability. *Foot & Ankle International*, 35(10), 1068-1074.
- da Silveira Costa, M. S., de Sá Ferreira, A. & Felicio, L. R. (2013). Static and dynamic balance in ballet dancers: A literature review. *Fisioterapia e Pesquisa*, 20, 299-305.
- Crotts, D., Thompson, B., Nahom, M., Ryan, S. & Newton, R. A. (1996). Balance abilities of professional dancers on select balance tests. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 23(1), 12-17.
- Filipa, A., Byrnes, R., Paterno, M. V., Myer, G. D. & Hewett, T. E. (2010). Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(9), 551-558.
- Gabriner, M. L., Houston, M. N., Kirby, J. L. & Hoch, M. C. (2015). Contributing factors to star excursion balance test performance in individuals with chronic ankle instability. *Gait & Posture*, 41(4), 912-916.
- Gilbert, C. B., Gross, M. T. & Klug, K. B. (1998). Relationship between hip external rotation and turnout angle for the five classical ballet positions. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 27(5), 339-347.
- Golomer, E., Crémieux, J., Dupui, P., Isableu, B. & Ohlmann, T. (1999). Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers. *Neuroscience Letters*, 267(3), 189-192.
- Gribble, P. A., Delahunt, E., Bleakley, C., Caulfield, B., Docherty, C., Fourchet, F., Fong, D., Hertel, J., Hiller, C., Kaminski, T., Mckee, P., Refshauge, K., Van der Wees, P., Vicenzino, B. & Wikstrom, E. (2013). Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: A position statement of the International Ankle Consortium. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(8), 585-591.
- Gupta, A., Fernihough, B., Bailey, G., Bombeck, P., Clarke, A. & Hopper, D. (2004). An evaluation of differences in hip external rotation strength and range of motion between female dancers and non-dancers. *British Journal of Sports Medicine*, 38(6), 778-783.
- Harmon, B. V., Reed, A. N., Rogers, R. R., Marshall, M. R., Pederson, J. A., Williams, T. D. & Ballmann, C. G. (2020). Differences in balance ability and motor control between dancers and non-dancers with varying foot positions. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(3), 4-11.
- Hertel, J., Braham, R. A., Hale, S. A. & Olmsted-Kramer, L. C. (2006). Simplifying the star excursion balance test: Analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(3), 131-137.
- Hertel, J. & Olmsted-Kramer, L. C. (2007). Deficits in time-to-boundary measures of postural control with chronic ankle instability. *Gait & Posture*, 25(1), 33-39.
- Huston, M. N., Van Lunen, B. L. & Hoch, M. C. (2014). Health-related quality of life in individuals with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 49(6), 758-763.
- Hubbard, T. J. & Hertel, J. (2006). Mechanical contributions to chronic lateral ankle instability. *Sports Medicine*, 36, 263-277.
- Hugel, F., Cadopi, M., Kohler, F. & Perrin, P. (1999). Postural control of ballet dancers: A specific use of visual input for artistic purposes. *International Journal of Sports Medicine*, 20(2), 86-92.
- Hung, Y., Boehm, J., Reynolds, M., Whitehead, K. & Leland, K. (2021). Do single-leg balance control and lower extremity muscle strength correlate with ankle instability and leg injuries in young ballet dancers? *Journal of Dance Medicine & Science*, 25(2), 110-116.
- Hutt, K. & Redding, E. (2014). The effect of an eyes-closed dance-specific training program on dynamic balance in elite pre-professional ballet dancers: A randomized controlled pilot study. *Journal of Dance Medicine & Science*, 18(1), 3-11.
- Jaber, H., Lohman, E., Daher, N., Bains, G., Nagaraj, A., Mayekar, P., Shanbhag, M. & Alameri, M. (2018). Neuromuscular control of ankle and hip during performance of the star excursion balance test in subjects with and without chronic ankle instability. *Plos One*, 13(8), e0201479.
- Jeon, H. G., Lee, S. Y., Park, S. E. & Ha, S. (2021). Ankle instability patients exhibit altered muscle activation of lower extremity and ground reaction force during landing: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Science & Medicine*, 20(2), 373-390.

- Jeon, H. G., Lee, I. & Lee, S. Y. (2022). Static and dynamic postural control strategies in lateral ankle sprain copers: A perspective on center of pressure. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 40(2), 110-119.
- Kawahara, D., Koshino, Y., Watanabe, K., Akimoto, M., Ishida, T., Kasahara, S., Samukawa, M. & Tohyama, H. (2022). Lower limb kinematics during single leg landing in three directions in individuals with chronic ankle instability. *Physical Therapy in Sport*, 57, 71-77.
- 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, H. Y. (2017). Statistical notes for clinical researchers: Chi-squared test and Fisher's exact test. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 42(2), 152-155.
- Kim, M. J., Jeong, H. S., Park, J. H. & Lee, S. Y. (2021). Injuries in preprofessional ballet dancers: An epidemiological study. *Korean Society of Dance Science*, 38(3), 23-34.
- Laessoe, U., Svendsen, A. W., Christensen, M. N., Rasmussen, J. R. & Gaml, A. S. (2019). Evaluation of functional ankle instability assessed by an instrumented wobble board. *Physical Therapy in Sport*, 35, 133-138.
- Liederbach, M., Richardson, M., Rodriguez, M., Compagno, J., Dilgen, F. E. & Rose, D. J. (2006). Jump exposures in the dance training environment: A measure of ergonomic demand. *Journal of Athletic Training*, 41(Suppl 2), S85-86.
- Lin, C. F., Lee, I. J., Liao, J. H., Wu, H. W. & Su, F. C. (2011). Comparison of postural stability between injured and uninjured ballet dancers. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1324-1331.
- Macintyre, J. & Joy, E. (2000). Foot and ankle injuries in dance. *Clinics in Sports Medicine*, 19(2), 351-368.
- McCann, R. S., Crossett, I. D., Terada, M., Kosik, K. B., Bolding, B. A. & Gribble, P. A. (2017). Hip strength and star excursion balance test deficits of patients with chronic ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(11), 992-996.
- McKeon, P. O., Booi, M. J., Branam, B., Johnson, D. L. & Mattacola, C. G. (2010). Lateral ankle ligament anesthesia significantly alters single limb postural control. *Gait & Posture*, 32(3), 374-377.
- McKeon, P. O. & Hertel, J. (2008). Spatiotemporal postural control deficits are present in those with chronic ankle instability. *Bmc Musculoskeletal Disorders*, 9, 76-81.
- Miller, H. N., Rice, P. E., Felpel, Z. J., Stirling, A. M., Bengtson, E. N. & Needle, A. R. (2018). Influence of mirror feedback and ankle joint laxity on dynamic balance in trained ballet dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 22(4), 184-191.
- Plisky, P. J., Gorman, P. P., Butler, R. J., Kiesel, K. B., Underwood, F. B. & Elkins, B. (2009). The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 4(2), 92.
- Ritter, S. & Moore, M. (2008). The relationship between lateral ankle sprain and ankle tendinitis in ballet dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 12(1), 23-31.
- Russell, J. A. (2010). Acute ankle sprain in dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 14(3), 89-96.
- Russell, J. A., Kruse, D. W., Nevill, A. M., Koutedakis, Y. & Wyon, M. A. (2010). Measurement of the extreme ankle range of motion required by female ballet dancers. *Foot & Ankle Specialist*, 3(6), 324-330.
- Ryan, L. (1994). Mechanical stability, muscle strength and proprioception in the functionally unstable ankle. *Australian Journal of Physiotherapy*, 40(1), 41-47.
- Schmit, J. M., Regis, D. I. & Riley, M. A. (2005). Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes. *Experimental Brain Research*, 163, 370-378.
- Simon, J., Hall, E. & Docherty, C. (2014). Prevalence of chronic ankle instability and associated symptoms in university dance majors: An exploratory study. *Journal of Dance Medicine & Science*, 18(4), 178-184.
- Song, K., Burcal, C. J., Hertel, J. & Wikstrom, E. A. (2016). Increased visual use in chronic ankle instability: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(10), 2046-2056.
- Teitz, C. C. & Kilcoyne, R. F. (1998). Premature osteoarthritis in professional dancers. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 8(4), 255-259.
- Van Dijk, C. N., Mol, B. W. J., Lim, L. S., Marti, R. K. & Bossuyt, P. M. (1996). Diagnosis of ligament rupture of the ankle joint: Physical examination, arthrography, stress radiography and sonography compared in 160 patients after inversion trauma. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 67(6), 566-570.
- Van Wegen, E. E. H., Van Emmerik, R. E. A. & Riccio, G. E. (2002). Postural orientation: Age-related changes in variability and time-to-boundary. *Human Movement Science*, 21(1), 61-84.

- Van Wegen, E. E. H., Van Emmerik, R. E. A., Wagenaar, R. C. & Ellis, T. (2001). Stability boundaries and lateral postural control in parkinson's disease. *Motor Control*, 5(3), 254-269.
- Vosseller, J. T., Dennis, E. R. & Bronner, S. (2019). Ankle injuries in dancers. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 27(16), 582-589.
- Wiesler, E. R., Hunter, D. M., Martin, D. F., Curl, W. W. & Hoen, H. (1996). Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 754-757.
- Wilkerson, G. B. & Nitz, A. J. (1994). Dynamic ankle stability: Mechanical and neuromuscular interrelationships. *Journal of Sport Rehabilitation*, 3(1), 43-57.
- Williams, V. J., Nagai, T., Sell, T. C., Abt, J. P., Rowe, R. S., McGrail, M. A. & Lephart, S. M. (2016). Prediction of dynamic postural stability during single-leg jump landings by ankle and knee flexibility and strength. *Journal of Sport Rehabilitation*, 25(3), 266-272.