

# The Effects of Neuromuscular Training of Ballet Dancers with Chronic Ankle Instability on Ankle Stability and Posture Control Ability

Mingyun Ko<sup>a</sup> and Jinho Yu<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>Department of Physical Therapy, Gwangju Health University, Gwangju, Republic of Korea

<sup>b</sup>Department of Physical Therapy, Chunnam Techno University, Jeollanam-do, Republic of Korea

**Objective:** The purpose of this study was to investigate the effects of neuromuscular training of ballet dancers with chronic ankle instability on ankle stability and posture controlability.

**Design:** A randomized controlled trial.

**Methods:** A total of Thirty-two young female ballet dancers with chronic ankle instability have voluntarily participated in the study. The participants were randomized to the neuromuscular training group ( $n_1 = 11$ ), elastic resistance squat group ( $n_2 = 11$ ), and control group ( $n_3 = 10$ ). The intervention was applied to a total of 18 exercises per six weeks and conducted in each group for one hour a day, three times a week. All subjects were evaluated for Cumberland ankle instability tool (CAIT), static balance at before-after intervention.

**Results:** In the comparison of the effects within the groups, the effect of the intervention on CAIT and posture control was significantly increased in the neuromuscular training group and elastic resistance squat group ( $p < 0.05$ ). In the comparison of the effects between the groups, the neuromuscular training group, and elastic resistance squat group were found to significantly increase more than the control group ( $p < 0.05$ ). The effect of ankle stability is similar in neuromuscular training and elastic resistance squat training, neuromuscular training is more effective in improving posture control rather than elastic resistance squat training.

**Conclusions:** When planning a rehabilitation training program for a ballet dancer with chronic ankle instability, neuromuscular training can be applied as an intervention method to improve ankle stability and posture control ability.

**Key Words:** Ballet, Ankle, Instability, Neuromuscular training, Posture

## 서론

발레는 인간의 감정과 정서를 신체를 예술적 요소로 표현하며, 이러한 예술적 표현을 위해 발레 무용수들은 흐트러짐 없는 발레 동작을 수행해야 한다[1-4]. 발레의 동작은 몸의 팔과 몸통의 움직임보다 다리 중심의 움직임들이 많아 체중부하 및 회전, 여러 형태의 점프와 착지 등을 수행하기에 다리의 해부생리학적인 수용범위를 벗어날 수 있기에 손상의 위험에 항상 노출돼 있다[5,6].

우리나라의 발레 무용수의 대부분의 손상은 다리와

관련되어 있다. 발목부위(35.8%), 발과 발가락부위(15.6%), 무릎부위(14.2%), 허리부위(13.8%) 및 살골부위(6.7%) 순으로 발목부상이 가장 높다[7]. 발목부위의 손상은 발목 염좌(sprain)가 76.7%를 차지하고 있으며 [8], 급성 발목 염좌에 대한 초기 치료 및 재활이 이뤄지지 않는다면 이는 만성적인 발목 불안정성으로 발전하여 통증 및 부기 등을 동반한 반복적인 손상을 유발하며 스포츠 및 일상 활동에 큰 어려움이 발생할 수 있다[9,10]. 발레 무용수들은 잦은 공연 및 연습 등으로 인한 시간적 여유가 부족하기에 발목손상 후 충분한 치료

Received: Dec 8, 2022 Revised: Dec 27, 2022 Accepted: Dec 27, 2022

Corresponding author: Jinho Yu

Department of Physical Therapy, Chunnam Techno University

113, Daehak-ro, Okgwa-myeon, Gokseong-gun, Jeollanam-do, Republic of Korea.

Tel: +82-61-360-5126 Fax: +82-61-360-5444 E-mail: yujinpt@cntu.ac.kr

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.

Copyright © 2022 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

시간을 기대하기가 어렵다[11]. 이로 인해 발레무용수들의 발목부상은 만성적인 발목 불안정성(chronic ankle instability, CAI)으로 발전하게 된다.

만성적인 발목 불안정성은 발목관절의 기계적 불안정성(mechanical instability)과 기능적 불안정성(functional instability)으로 구분된다. 기계적 불안정성은 과도한 발의 안쪽번짐(inversion) 상태로의 이완 및 과도한 이완으로 인한 발목관절(talocrural articulation)의 전방이동으로 인하여 정상적인 관절운동범위가 넘어서게 되는 것이며, 기능적 불안정성은 발목부위 고유감각의 손상으로 인하여 발목의 갑작스러운 변위에 대한 고유수용성 반응이 지연되어 만성적으로 측면의 불안정성을 제공하는 것이다[10,12].

신경근 훈련(neuromuscular training)은 빠르고 최적화된 근육 활성화패턴을 생성하여 신경계의 능력을 향상시키고, 동적 관절 안정성을 증가하며, 운동패턴을 재교육하는 것 함으로써 근육 활성화 패턴의 보상적 변화를 유도하고 환자의 동적 관절 안정성을 촉진한다[13]. 신경근 훈련은 동적 관절안정성, 균형, 민첩성, 플라이오메트릭 등의 요소들이 포함된 기능적 훈련으로 재활 프로그램에서 기능과 안정성을 높이는데 효과적이기 때문에 재활 및 부상의 방지를 위하여 사용한다[13-15].

많은 선행연구들에서 신경근 훈련이 신경근을 조절하여 수행능력을 향상하고 운동역학적 변화 및 부상의 예방에 효과적이라고 보고하였다[12-16]. 그러나 신경근 훈련이 부상의 빈도가 빈번하게 발생하는 발레무용수의 발목 불안정성과 균형에 미치는 효과에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 신경근 훈련이 CAI 가진 발레 무용수의 발목 안정성 및 자세조절에 미치는 효과를 알아보고, 이를 통해 발레 무용수의 발목부상에 대한 효과적인 중재 방법 및 부상예방을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 연구 방법

### 연구대상

광주광역시 서구에 위치한 H학원과 광산구에 위치한 L학원에 소속되어 있는 발레전공의 여학생 32명을 모집하였다. 지원한 35명의 대상자 중에서 선정 기준에 적합하지 않은 2명을 제외한 32명을 대상으로 연구를 실시하였다. 연구대상자의 선정기준으로는 연구 대상자의 선정 기준으로는 동일 발목에 최소 2회 이상 발목 염좌를 진단을 받은 자, 6개월 이내의 발목이 빠지는 느낌이나 휘청거림(giving way)을 느낀 적이 있는 자, 발목 불

안정성 척도(cumberland ankle instability tool, CAIT)결과가 24점(경도) 이상의 불안정한 상태를 가진 자로 하였다.

연구대상자의 제외 기준으로는 본 연구의 중재에 영향을 미칠 수 있는 신경근 질환이나 다리에 영향을 미칠 수 있는 허리척추 및 다리 부위의 정형외과적 질환을 가지고 있는 자, 현재 발목 부위의 부상으로 인해 약물을 복용 및 투약하고 있는 자, 최근 6개월 이내에 유사한 연구에 참여하였거나, 현재 다른 연구에 참여중인 자로 하였다.

본 연구에 앞서 모든 대상자들에게 연구의 목적과 절차를 설명을 하였고, 자발적으로 연구 참여 동의서에서명한 대상자들만이 참여하도록 하였다.

### 연구절차

선정된 대상자 32명은 선정편견을 최소화하기 위해 무작위로 추출하여 중재방법에 따라 신경근훈련그룹( $n_1 = 11$ ), 탄력밴드스쿼트훈련그룹( $n_2 = 11$ ), 대조그룹( $n_3 = 10$ )으로 분류하였다. 본 연구는 총 6주 동안 총 18회를 실시하였고, 각 그룹의 대상자들은 기본적인 발레훈련과 각 그룹의 중재에 맞는 훈련을 실시하였으며, 훈련이 끝난 뒤에 본인이 직접 일일 실험참여 확인 표에 기록하도록 하였다. 32명의 연구대상자들을 대상으로 사전·사후 검사로는 CAIT와 정적균형을 측정하였다.

### 중재방법

대상자를 세 그룹으로 나누어 각각의 중재를 실시하였고, 각 그룹의 중재는 6주 동안 주 3회의 격일로 실시되었다. 1회 중재는 60분으로 구성되었으며, 준비운동과 정리운동은 각 10분으로 설정하고, 발레 기본운동과 각 그룹에 따른 중재를 40분으로 하였다. 대조그룹은 준비운동과 정리운동 및 발레 기본운동으로만 설정하였고, 이외의 특별한 중재프로그램은 적용하지 않았다.

### 신경근 훈련

6주간 적용한 신경근훈련 그룹의 중재는 권지영[11]의 연구에서 사용한 훈련프로그램을 본 연구에 맞게 수정하여 실시하였다. 신경근 훈련은 워블 발란스 보드(Professional balance boards, Fitterfirst, Canada) 및 발란스 패드(Balance pad, Airex, Swiss)를 이용하여 기능적인 안정화운동을 실시하였다. 중재 강도는 주관적 운동강도척도(rate of perceived exertion)의 15-16에 해당 되도록 설정하였으며, 2주마다 중재에 대한 적응을 방지

하기 위하여 강도를 재설정하였다. 4분 3세트로 실시하고, 세트 간 휴식시간은 1분으로 설정하여 근육의 피로를 예방하였다.

### 탄력밴드스쿼트훈련

어깨 넓이로 선 상태에서 시선은 정면을 향하고 척추 및 몸통을 펴 상태로 유지하였고, 탄력밴드의 좌·우의 길이가 평형하도록 맞춘 후에 양손으로 탄력밴드를 잡고 무릎관절이 90도가 될 때까지 천천히 앉았다가 일어섰으며, 스쿼트 시 호흡은 몸통을 앉을 시에는 들숨을 일어설 때에는 날숨을 쉬도록 하였다[4].

연구에 사용된 탄력밴드는 파란색 탄력밴드(Thera-Band, Hygenic Corp., USA)로, 150% 신장하여 4.13 kgf의 탄저항강도를 이용하였다[4].

### 측정방법및도구

#### 발목 불안정성 검사

만성적인 발목 불안정성을 측정하기 위해 CAIT 설문지를 사용하였다. CAIT는 기능적 발목의 불안정성을 평가하여 불안정성을 등급화하며, 총 9개의 항목으로 구성되고 점수의 범위는 0점에서 30점으로 점수가 높을수록 안정성이 높다. CAIT 점수의 분포에 따라서 0~10점을 중증도 불안정성(severe instability), 10.5~21점 사이를 중등도 불안정성(moderate instability), 21.5~24점 사이를 경도 불안정성(mild instability), 24.5~27점 사이를 최소 불안정성, 27.5~30점 사이를 정상 단계로 구분하였다[17]. CAIT는 높은 타당도(Cronbach's  $\alpha = .83$ )와 신뢰도(intraclass correlation coefficient, ICC = .96)를 가지고 있다[18].

#### 자세조절 검사

자세조절 능력을 측정하기 위하여 균형측정장비(BioRescue, RM Ingenieric, France)를 이용하여 측정하

였다. 1600개의 압력 센서가 탑재된 이동 가능한 기립용 힘판으로 구성되어 있어서 압력 중심이 이동한 경로를 관찰하여 자세동요로 인한 이동 경로선의 면적( $\text{mm}^2$ )을 측정할 수 있다. 이 균형측정장비는 높은 신뢰도(ICC = .84)를 가지고 있다[19].

대상자들의 시선은 5 m 정면의 위치한 원을 바라보고 불안정성이 있는 발뒤꿈치는 힘판에 표시되어 있는 선에 일치시킨 후에 반대편 발을 들어올린 한발서기 자세에서 측정하였다. 한발서기 자세를 30초 유지하여 자세동요 면적( $\text{mm}^2$ )을 측정하였으며, 자세동요 면적이 적을수록 자세조절 능력이 좋은 것을 의미한다. 측정은 총 3회를 반복 실시하여 평균값을 사용하였다.

### 자료분석

본 연구의 모든 자료분석은 SPSS프로그램(Ver. 20.1, IBM co., USA)를 이용하여 실시하였다. 대상자의 일반적인 특성은 기술통계를 이용하였으며, 통계 정규성 검정을 확인하기 위해 Shapiro-Wilk test를 실시하였다. 중재에 따른 그룹의 전·후 값을 비교를 위해 대응표본 t-test를 실시하였으며, 그룹간의 비교를 위해 독립 일원배치 분산분석을 실시하였고, 사후분석으로는 Bonferroni test를 사용하였다. 통계학적 유의수준  $\alpha$ 는 0.05로 하였다.

### 연구결과

#### 연구대상자의 일반적 특성

연구에 참여한 대상자 32명의 평균 연령은 16.96  $\pm$  1.38세, 평균 신장 165.00  $\pm$  5.86 cm, 평균 체중 47.49  $\pm$  3.30 kg, 평균 경력 8.21  $\pm$  1.39년이다. 각 그룹의 동질성을 분석한 결과, 세 그룹 간에 차이가 없는 것으로 확인되었다. 본 연구에 참여한 연구대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

**Table 1.** General characteristics of subjects (n=32)

	A group (n=11)	B group (n=11)	C group (n=10)	p
Age (years)	16.91 $\pm$ 1.30 <sup>a</sup>	16.82 $\pm$ 1.47	17.20 $\pm$ 1.36	0.816
Height (cm)	166.55 $\pm$ 4.76	165.54 $\pm$ 5.68	162.70 $\pm$ 5.87	0.311
Body Weight (kg)	47.23 $\pm$ 3.57	48.31 $\pm$ 3.41	46.88 $\pm$ 3.00	0.595
Career (year)	8.54 $\pm$ 1.29	8.18 $\pm$ 1.17	7.90 $\pm$ 1.72	0.578

amean  $\pm$  standard deviation.

A group: neuromuscular training, B group: squat with elastic resistance, C group: control

**Table 2.** Comparison of cumberland ankle instability tool (n=32)

	A group (n=11)	B group (n=11)	C group (n=10)	p
pre	16.82 ± 3.54 <sup>a</sup>	17.91 ± 3.81	17.51 ± 3.06	0.763
post	20.27 ± 3.47	21.73 ± 4.16	17.42 ± 3.73	0.036*
Post-pre	3.45 ± 3.27	3.82 ± 2.48	-0.10 ± 3.00	
p	0.006*	0.001**	0.875	<sup>b</sup> C<A,B

<sup>a</sup>mean ± standard deviation, bpost-hoc, \*p<0.05, \*\*p<0.001.

A group: neuromuscular training, B group: squat with elastic resistance, C group: control

**Table 3.** Comparison of posture control ability[mm<sup>2</sup>] (n=32)

	A group (n=11)	B group (n=11)	C group (n=10)	p
pre	25.54 ± 1.97 <sup>a</sup>	26.27 ± 5.08	27.41 ± 3.06	0.475
post	11.73 ± 5.53	18.90 ± 3.83	27.02 ± 3.73	0.001**
Post-pre	-13.81 ± 4.60	-7.36 ± 3.69	-0.40 ± 5.04	
p	0.001**	0.001**	0.807	<sup>b</sup> C<B<A

<sup>a</sup>mean ± standard deviation, bpost-hoc, \*p<0.05, \*\*p<0.001.

A group: neuromuscular training, B group: squat with elastic resistance, C group: control

### 중재방법에 따른 CAIT의 변화 비교

6주간 중재를 실시한 후 각 그룹의 CAIT의 변화 비교는 다음과 같다(Table 2). 각 그룹의 중재 전·후의 시간에 따른 CAIT에 대한 변화를 살펴보면 신경근 훈련 그룹과 탄력밴드스쿼트 훈련그룹에서 유의한 차이가 있었다(p<.05). 중재 후 군 그룹 간의 중재방법에 따른 CAIT는 대조그룹에 비해 신경근 훈련그룹과 탄력밴드스쿼트 훈련그룹에서 유의한 차이가 있었다(p<.05).

### 중재방법에 따른 자세조절능력의 변화 비교

6주간 중재를 실시한 후 각 그룹의 자세조절능력의 변화 비교는 다음과 같다(Table 3). 각 그룹의 중재 전·후의 시간에 따른 자세조절능력에 대한 변화를 살펴보면 신경근 훈련그룹과 탄력밴드스쿼트 훈련그룹에서 유의한 차이가 있었다(p<.05). 중재 후 그룹 간의 중재방법에 따른 자세조절능력은 대조그룹에 비해 신경근 훈련그룹과 탄력밴드스쿼트 훈련그룹에서 유의한 차이가 있었다(p<.05).

### 고찰

신경근 훈련 프로그램은 고유수용기 또는 몸감각계를 발달시켜 균형의 개선 및 부상에 대한 우려를 감소시킨

다[20]. 고유수용성감각(Proprioception)은 각 관절의 위치정보를 중추신경계로 보내어 신체 분절을 조절하며 근육을 제어하여 인체의 움직임을 만들어내는 기능을 한다[21,22]. 고유수용성감각은 정확한 움직임을 유발하기에 필요한 신경근육의 조절 및 움직임에 대한 프로그램에서 중요한 역할을 하며, 메시지화 된 근육의 반사는 관절의 기능적 안정성 및 역동적 안정성에 매우 중요한 작용을 한다[23]. 또한, 불안정한 상태에 대한 준비 및 관절 안정성을 유지하기 위해 동적인 상태의 관절 움직임과 부하에 대하여 반응하거나 조절하는데 중요한 역할을 한다[24,25]. 신경근훈련은 이러한 고유수용감각의 정보를 감각중추로 들여보내고, 동적 관절의 조절을 담당하는 운동중추를 자극하여 피드백(feedback) 및 피드포워드(feedforward) 메커니즘에 의한 무의식적인 운동(motor)의 반응을 향상시키는 훈련방법이다[26,27].

본 연구는 6주간 신경근 훈련이 발레 무용수의 CAI 및 자세조절 능력에 미치는 효과를 알아보고자 실시하였으며, 6주 후 발레 무용수의 발목불안정성 및 자세조절 능력의 향상을 확인하였다. 본 연구에서 신경근 훈련의 CAIT가 증가한 것은 발목관절의 고유수용성감각이 발목관절의 움직임 및 위치감각과 근육의 활성화 등의 정보를 수집하여 중추신경계로 보내어 피드백 및 피드포워드 메커니즘에 의해 발목관절 부위의 근육들의 활성화를 촉진시키고, 신경근 제어 능력을 증가시켜 시킴으로써 발목 안정성이 향상하였다고 해석할 수 있다. 탄

탄력밴드스쿼트훈련은 신체 중량 및 탄성부하를 이용하여 근 활성도를 증가시키고 발목부위 근육의 근력을 향상시키기 때문에[4], 이로 인해 발목의 안정성이 증가하여 탄력밴드스쿼트 훈련그룹에서 CAIT의 점수가 증가한 것으로 생각된다.

O'Driscoll 등[12]은 CAI가 있는 럭비선수들을 대상으로 6주간 신경근 훈련을 실시한 결과 CAIT 점수가 향상되었다고 보고하였고, Hale과 Olmsted-Kramer[28]은 CAI를 가진 환자 29명을 대상으로 4주간 신경근 훈련을 실시하여 발 및 발목 장애지수(Foot and Ankle Disability Index, FADI)와 FADI Sport 점수가 향상되었다고 보고하여 본 연구의 결과를 뒷받침한다.

신경근 훈련은 신경근훈련은 기능적으로 불안정한 발목의 근력과 안쪽변잡의 관절위치감각, 발등굽힘의 관절위치감각 및 발바닥굽힘의 관절위치감각을 증가시킨다[27]. 신경근훈련으로 생성된 힘에 의해 근육힘줄접합부에 배치된 기계적수용기에 제공되는 자극은 고유수용성감각의 결핍 및 몸감각 경로에 중요한 역할을 하기에 CAI 환자의 균형을 향상시킬 수 있다[29].

본 연구의 신경근 훈련에서 균형능력이 증가한 것은 전후방으로 신체가 이동하는 것을 방지하기 위해 발목 관절의 발등굽힘근 및 발바닥굽힘근의 관절위치감각 지속적으로 제공해줌으로써 발등굽힘근과 발바닥굽힘근의 근활성도를 촉진하고 균형을 유지하기 위해 계속적으로 신경근을 조절해주기 때문에 발목의 안정성의 증가와 함께 자세 안정성도 향상되었다고 해석된다. 탄력밴드 스쿼트훈련으로 인해 발목부위 근력의 향상으로 인하여 발목관절의 안정성이 향상되어 자세 안정성도 향상되었지만, 발목부상 등으로 인한 고유수용성감각의 저하 및 지속적인 자세조절 유지를 위한 신경근 조절의 훈련 부재로 인하여 신경근훈련에 비해 자세 안정성은 낮은 것으로 사료된다.

Kim등[28]은 CAI가 있는 운동선수를 대상으로 신경근 훈련과 근력 훈련을 8주간 실시한 연구에서 CAIT는 두 그룹 모두에서 유의하게 증가하였고, 균형에서도 두 그룹 모두 유의하게 향상되었지만 근력훈련보다 신경근 훈련에서 더 향상되었다고 보고함으로써 본 연구의 결과와 일치하였다.

본 연구의 제한점으로는 신경근훈련의 효과를 다양한 발레 동작과 연관하여 연구하지 못하였고, 엉덩관절과 무릎관절과의 연관성에 관한 연구가 미흡하였다. 이에 추후에는 신경근 훈련이 발레 동작들에 미치는 효과 및 엉덩관절과 무릎관절 및 관절부위 근육들에 대한 효과 검증에 관한 후속 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

## 결론

본 연구는 신경근 훈련이 CAI를 가진 발레 무용수의 발목 안정성 및 자세조절에 미치는 효과를 알아보기 위해 실시하였다. 본 연구의 결과 발레 무용수의 발목 안정성을 위해서 신경근훈련과 탄력밴드스쿼트훈련이 효과적이었으며, 자세조절은 탄력밴드를 이용한 스쿼트 훈련보다 신경근훈련이 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 따라서, CAI를 가진 발레 무용수의 재활을 위해서는 신경근 훈련이 포함되는 재활 프로그램의 적용을 제안하는 바이다.

## Acknowledgement

The Research has been conducted by the Research Grant of Gwangju Health University in 2022008

## 참고문헌

1. Allen N, Nevill A, Brooks J, Koutedakis Y, Wyon M. Ballet injuries: injury incidence and severity over 1 year. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012; 42(9):781-790.
2. Fitt SS. *Dance kinesiology.* Vol. 2. Boston: Cengage Learning; 1996.
3. Kassing G, Jay DM. *Teaching beginning ballet technique.* Mechanicsburg: Human Kinetics; 1998.
4. Ko MG, Song CH. The Effects of Squat Exercise Using Elastic Bands on Muscle Activity, Arabesque Angle, and Static Balance during Arabesque Posture in a Female Ballet Dancer. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2022;11(2):172-180.
5. Simmons RW. Neuromuscular responses of trained ballet dancers to postural perturbations. *Int J Neurosci.* 2005;115(8):1193-1203.
6. Quirk R. Ballet injuries: the Australian experience. *Clin Sports Med.* 1983;2(3):507-514.
7. Kim MJ, Jeong HS, Park JH, Lee SY. Injuries in Preprofessional Ballet Dancers: An Epidemiological Study. *Official Journal of Korean Society of Dance Science.* 2021;38(3):23-34.
8. Thomas JL, Boyce BM. Radiographic analysis of the Canale view for displaced talar neck fractures. *J Foot Ankle Surg.* 2012;51(2):187-190.
9. Abe Y, Sugaya T, Sakamoto M. The postural control characteristics of individuals with and without a

- history of ankle sprain during single-leg standing: relationship between center of pressure and acceleration of the head and foot parameters. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(6):885-888.
10. Hintermann B. Biomechanics of the unstable ankle joint and clinical implications. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(7):459-469.
  11. Kwon JY. Influence of Tubing and Proprioceptive Exercise on Chronic Ankle Instability Ballet Dancer's Stability. *Korean J Sport Sci.* 2018; 27(5):1367-1379.
  12. O'Driscoll J, Kerin F, Delahunt E. Effect of a 6-week dynamic neuromuscular training programme on ankle joint function: a case report. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2011;3(1):1-7.
  13. Risberg MA, Mørk M, Jenssen HK, Holm I. Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(11):620-631.
  14. Fitzgerald GK, Axe MJ, Snyder-Mackler L. The efficacy of perturbation training in nonoperative anterior cruciate ligament rehabilitation programs for physically active individuals. *Phys Ther Rehabil J.* 2000;80(2):128-140.
  15. Myer GD, Ford KR, McLean SG, Hewett TE. The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *Am J Sports Med.* 2006;34(3): 445-455.
  16. Rozzi SL, Lephart SM, Sterner R, Kuligowski L. Balance training for persons with functionally unstable ankles. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999;29(8):478-486.
  17. Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, Herbert RD, Kilbreath SL. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(9):1235-1241.
  18. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, Caulfield B, Docherty C, Fourchet F, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(8):585-591.
  19. Van Dijk MM, Meyer S, Sandstad S, Wiskerke E, Thuwis R, Vandekerckhove C, et al. A cross-sectional study comparing lateral and diagonal maximum weight shift in people with stroke and healthy controls and the correlation with balance, gait and fear of falling. *PLoS one.* 2017; 12(8):e0183020.
  20. Rine RM, Schubert MC, Balkany TJ. Visual-vestibular habituation and balance training for motion sickness. *Phys Ther Rehabil J.* 1999;79(10):949-957.
  21. Konczak J, Corcos DM, Horak F, Poizner H, Shapiro M, Tuite P, et al. Proprioception and motor control in Parkinson's disease. *Journal of motor behavior.* 2009;41(6):543-552.
  22. Sherrington C. The integrative action of the nervous system. *J Nerv Ment Dis.* 1907;34(12):801-802.
  23. Lephart SM, Henry TJ. Functional rehabilitation for the upper and lower extremity. *Orthop Clin North Am.* 1995;26(3):579-592.
  24. Refshauge KM, Kilbreath SL, Raymond J. The effect of recurrent ankle inversion sprain and taping on proprioception at the ankle. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(1):10-15.
  25. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train.* 2002;37(1):80.
  26. Docherty CL, Moore JH, Arnold BL. Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles. *J Athl Train.* 1998;33(4):310-314.
  27. Hale SA, Hertel J, Olmsted-Kramer LC. The effect of a 4-week comprehensive rehabilitation program on postural control and lower extremity function in individuals with chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(6):303-311.
  28. Kim KM, Estepa-Gallego A, Estudillo-Martínez MD, Castellote-Caballero Y, Cruz-Díaz D. Comparative effects of neuromuscular-and strength-training protocols on pathomechanical, sensory-perceptual, and motor-behavioral impairments in patients with chronic ankle instability: randomized controlled trial. In *Healthcare.* 2022;10(8):1364.