

# The Effect of Visual Biofeedback Balance Training on Time to Stabilization and Kinetic Variables in Patients with Chronic Ankle Instability

Sungmin Kim and Jeheon Moon\*

Korea National University of Education

## Article Info

Received 2022.06.09.

Revised 2022.08.23.

Accepted 2022.08.26.

## Correspondence\*

Jeheon Moon

jhmoon@knue.ac.kr

## Key Words

Chronic ankle instability,  
Time to stabilization,  
Visual biofeedback,  
Jump-landing

**PURPOSE** This study aimed to analyze the dynamic posture stabilization and kinematic variables between visual feedback and Y-balance training groups during jump-landing. **METHODS** Thirty-eight male players (age:  $22.6 \pm 1.12$  years, height:  $175 \pm 3.54$  cm, weight:  $65.5 \pm 5.11$  kg) were included in this study, and chronic ankle instability was checked using Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) and Balance Error Scoring System (BESS). They were randomly assigned to the Visual biofeedback (Training group: TG,  $n = 19$ ) and Y-balance groups (Control group: CG,  $n = 19$ ) for four weeks. TG performed balance training using the Biodex balance system (BBS) and CG performed training using the Y-balance system. During jump landing, time to stabilization (TTS), force plate (COP, GRF); joint angle and moment were collected and analyzed. All analyses were performed with SPSS 21.0, and Bonferroni was used for repeated measured ANOVA and post-hoc. **RESULTS** The results indicated that there was an interaction between TG and CG in terms of AP and ML directions of TTS ( $p < 0.05$ ). AP/ML TTS of the TG for the post-test was smaller than that for CG (AP:  $p = 0.000$ ; ML:  $p = 0.046$ ). ML TTS of the TG for post-test was smaller than at pre-test ( $p = 0.041$ ), and AP TTS of the CG for ankle joint moment ( $p < 0.05$ ). There was an interaction between TG and CG in terms of dorsiflexion (DF) and plantarflexion (PF) of joint moment ( $p < 0.05$ ). Ankle moment of the CG for post-test decreased than at pre-test (DF:  $p = 0.040$ , PF:  $p = 0.032$ ), and ankle dorsiflexion moment of the CG for post-test was decreased than at pre-test ( $p = 0.046$ ). **CONCLUSIONS** Balance ability was achieved more effectively through visual biofeedback training than Y-balance training. Therefore, we recommend balanced training with visual feedback on chronic ankle instability.

## 서론

발목관절은 정강뼈(tibia), 종아리뼈(fibula)와 목말뼈(talus)로 구성되어 있는 경첩관절(hinge joint) 형태이고 그 주변에는 앞목말종아리인대(anterior talofibular ligament), 발꿈치종아리인대(calcanefibular ligament), 뒤목말종아리인대(posterior talofibular ligament) 등으로 연결되어 있다(Al-Mohrej & Al-Kenani, 2016b; Golano et al., 2010; Leardini et al., 2014). 발목관절은 과도한 안쪽틀림(inversion)으로 인

해 급성 손상이 쉽게 발생할 수 있는 구조이며 이러한 급성 손상이 반복적으로 발생할 경우 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability: CAI) 증상이라고 부르며 인대의 내구성이 감소하는 증상을 말한다(Al-Mohrej & Al-Kenani, 2016a, 2016b; Golano et al., 2010). 만성 발목 불안정성은 기능적 불안정성(functional ankle instability: FAI)과 기계적 불안정성(mechanical ankle instability: MAI)으로 분류된다. 그 중 기능적 불안정성은 발목 부상 이후 충분히 못한 재활로 인해 관절 주위를 지지하고 있는 구조물인 근육, 인대 및 건이 이전의 정상상태로 회복되지 못하여 근력 약화, 균형 및 협응 능력 저하 등의 증상이 나타나는 것을 말한다(Gribble et al., 2013). 따라서 발목 불안정성 환자 중 기능적 불안정성 증상에 해당되는 경우 동적인 운동 수행 시 엉덩관

© 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.

절과 무릎관절의 움직임은 통해 발목관절의 움직임을 보완하려는 경향을 보이며 이로 인해 하지관절의 각도 및 모멘트, 지면반력, 압력중심 등의 운동역학적인 요소에서 새로운 변화가 나타난다(Delahunt et al., 2010; Jeon et al., 2018; Kim et al., 2004; Yang & Kim, 2016).

이전부터 발목관절의 안정성을 향상시키기 위해 다양한 형태의 평형 유지 훈련 연구가 실시되었다. 이 중 시각적 바이오피드백(Visual Biofeedback: VBF) 훈련은 시각적 정보를 인지하여 전정감각(Vestibular sense), 체성감각(Somatosenses)과 청각피드백(Auditory feedback)을 통해 고유수용성 감각 정보를 재입력시키고 이를 운동 감각 정보와 통합시켜 비정상적인 자세를 정상적인 자세로 교정하는 대표적인 외부 피드백 훈련 방법 중 하나이다(Brauer et al., 2001; Dault et al., 2003; Sackley & Lincoln, 1997; Zijlstra et al., 2010). 시각적 정보는 감각운동의 손실을 보상할 수 있는 방법으로 신체평형에 필요한 근육만을 정확하게 사용할 수 있도록 도움을 주며 수축시키고자 하는 근육 이외의 근육축을 배제시키는데 큰 역할을 한다(Henry & Westervelt, 2005). 또한 시각적 정보를 통해 감각신경으로부터 근육에 전해지는 신호전달 속도가 증가시키는 효과가 있어 의식적 또는 무의식적으로 관절에서의 큰 움직임 또는 미세한 움직임을 조절하는 능력을 향상시킬 수 있다(Dj, 1999). 그렇기 때문에 체간 근육은 사지의 움직임을 조화롭게 만들어 기능적인 움직임을 수행할 수 있고 이는 시각적 정보를 통해 신체평형을 유지하는데 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Tyson et al., 2006). 시각적 바이오피드백 훈련의 특징으로 스스로 반복적인 훈련과 학습이 가능하고 자신이 수행한 과제에 대한 결과를 객관적으로 분석할 수 있다(Rizzo et al., 2009). 이러한 과정들을 통해 최종 운동의 목표에 쉽게 달성할 수 있으며 본 연구에서는 만성 발목 불안정성 환자들의 평형성 유지능력을 효과적으로 향상시킬 수 있을 것으로 판단하였다(Scoppa et al., 2013; Vos et al., 2022).

본 연구에서는 평형 훈련효과를 평가하는 방법으로 안정화 소요 시간(Time-to-Stabilization: TTS)을 선택하였다. 안정화 소요시간은 연구참여자들이 지면반력 측정기 위에 한발로 착지하는 동작의 지면반력 데이터를 사용하여 계산된다. 이는 지면반력 데이터가 임의로 설정한 임계점 즉 안정화 시점까지 도달하는 시간을 통해 정의된다(Fransz et al., 2015; Webster & Gribble, 2010). 안정화 소요시간의 의미는 움직이는 신체가 외적인 요인에 의해 반응하면서 신체의 불안정한 균형상태를 감각계가 감지한 후 불안정한 자세가 완벽하게 제어되는 소요시점을 말한다(Pollock et al., 2000; Riemann & Lephart, 2002). 선행연구에서 만약 안정화 소요시간이 증가할 경우 신체 내 균형 유지를 담당하는 신경근육의 제어에 문제가 있다고 판단하였고 이를 통해 신체 내 근 신경계의 수준을 간접적으로 평가할 수 있다고 보고하였다(Brown et al., 2004; Gribble & Robinson, 2009; Liu & Heise, 2013; Ross et al., 2009; Wikstrom et al., 2004).

지금까지 발목 불안정성 환자를 대상으로 훈련 방법에 따른 운동역학적 비교 및 평가에 관한 연구는 진행되었지만, 본 연구진이 파악하기로는 안정화 소요시간을 통한 시각적 바이오피드백 훈련 효과를 평가한 연구는 보고된 바 없다(Ardakani et al., 2019; Herb et al., 2018; Koldenhoven et al., 2022). 특히 동적 자세 안정화는 동적인 상태에서 정적인 상태로 움직이는 동안 평형 상태를 유지하는 능력으로 안정화 소요시간이라는 변인을 통해 시각적 바이오피드백의 훈련 효과를 명확하게 평가할 수 있고 새로운 연구 방법으로 높은 가치를 지니고 있다(Wikstrom et al., 2005). 따라서 본 연구의 목적은 시각적 바이오피드백 훈련의 효과성을 입증하기 위해 점프 후 착지 시

동적 자세 안정화 및 운동학적 변인에 어떠한 영향을 미치는지 평가하는데 있다. 이에 본 연구의 가설은 1) 시각적 바이오피드백 훈련 시 Y-balance 훈련 보다 안정화 소요시간이 짧고 발목관절 모멘트를 감소시킬 것이다. 2) 시각적 바이오피드백 훈련 시 하지 관절각도와 모멘트는 Y-balance 훈련 후 보다 작고 3) 무릎과 엉덩관절의 보상작용이 나타날 것이라는 가설을 검증하고자 한다.

## 연구방법

### 연구참여

본 연구에서는 B 지역 소재 대학에 재학 중인 남자 운동선수(육상, 축구, 배구, 핸드볼)를 대상으로 만성 발목 불안정 환자군 38명을 연구 참여자로 선정하였다(age:  $22.6 \pm 1.12$  years, height:  $175 \pm 3.54$  cm, weight:  $65.5 \pm 5.11$  kg). 본 연구를 참여하기 3~6개월 전에 최소 1회 급성 발목염좌 이력이 있는 연구참여자들을 모집하였다. 또한 3개월 이내 발목관절의 부상 이력이 없고 과거 부상으로 인해 발목관절로부터 불안정감을 느끼는 선수들만이 본 연구를 참여할 수 있도록 하였다(Gribble et al., 2004). 자발적으로 참여를 결정한 신청자로부터 최종적으로 만성 발목 불안정 환자군을 선별하기 위해 기존의 선행연구를 참고하여 두가지 검사단계를 거쳤다(de Noronha et al., 2008; Hiller et al., 2006). 첫번째는 CAIT(Cumberland Ankle Instability Tool) 설문지를 사용하였다(de Noronha et al., 2008). 이미 선행연구에서 높은 신뢰도(ICC=.963)와 타당도( $\alpha=.831$ )를 확보한 검사방법으로 본 연구에서는 27점 이하인 중증도 불안정성 단계에서 경도 불안정성 단계의 결과가 도출된 선수들을 1차적으로 선별하였다. 이들을 대상으로 두 번째 검사방법인 발목관절의 균형 오차 점수 평가(balance error scoring system: BESS)를 실시하였다. BESS 평가에서 24점 이상 기록한 대상자를 본 연구의 참여자로 최종 선별하였다(Bell et al., 2011). 본 연구에 참여할 연구참여자를 결정하기 위해 G-power 3.1.9.2 프로그램을 이용하였으며, 유의수준 (.05, 효과크기 <.025, 검정력 <.95에서 산출하였을 때 적절한 총 표본수는 38명이 요구되었다(Faul et al., 2007). 모든 참여자에게는 연구의 목적 및 내용에 대해 충분히 설명하였고 참가 동의서에 서명 후 실험을 진행하였다.

### 연구장비

본 연구의 실험장비의 훈련효과 평가장비로 Biodex Balance System(BBS)(Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA)를 사용하였다. BBS는 정적/동적 균형 능력 평가와 훈련 방법으로도 널리 사용되고 있다(Youssef et al., 2018). BBS 시스템 내 사용되는 척도는 ML-SI(Medio-Lateral Stability Index), APSI(Antero-Posterior Stability Index) 및 OASI(Overall Stability Index)로써 COM와 COP 간의 관계를 통해 점수를 부여하여 동적 자세 안정성을 평가하는 방법이다(Rozzi et al., 1999).

Y-balance 훈련에서는 Y-balance kit(Move 2 Perform, Evansville, IN, USA)를 사용하였다. Y-balance kit는 기존의 Star excursion balance(8방향)의 신뢰도 개선, 불필요한 중복과정의 제외, 평가시간 단축을 위해 세가지 방향(전방-anterior, 후내측-posteromedial, 후외측-posterolateral)으로 축소시킨 도구이다. Y-balance 수

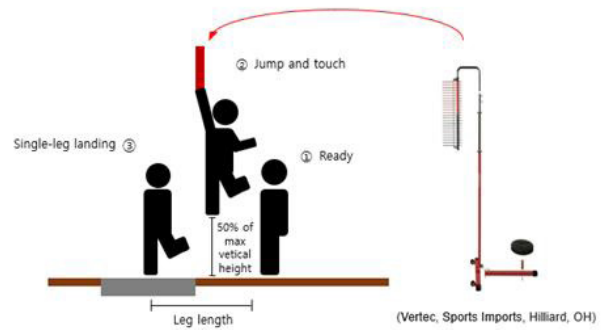
행 방법으로는 한발 서기 후 지면에 놓여져 있는 박스(indicator box)를 순서대로 최대한 멀리 밀어낸 후 제자리로 돌아오면 1회 수행한 것으로 계산한다. 선행연구에서 Y-balance 훈련을 통해 하체 근육의 협응, 평형, 유연성 및 근력과 같은 근신경학적인 요소를 강화시킬 수 있었고, 실제 현장에서 운동선수들의 부상 회복 정도, 시합 복귀 기간을 예측하기 위한 하나의 검사척도로 사용되었다(Paterno et al., 2004; Shaffer et al., 2013).

본 연구에서 훈련 전후 측정 시 운동학적 데이터를 추출하기 위해 8대의 적외선 카메라(Oqus 7+; Qualisys, SWE)와 동역학적 자료를 획득하기 위해 1대의 지면반력 측정기(Type 9260AAG; Kistler, SWI)를 사용하였다.

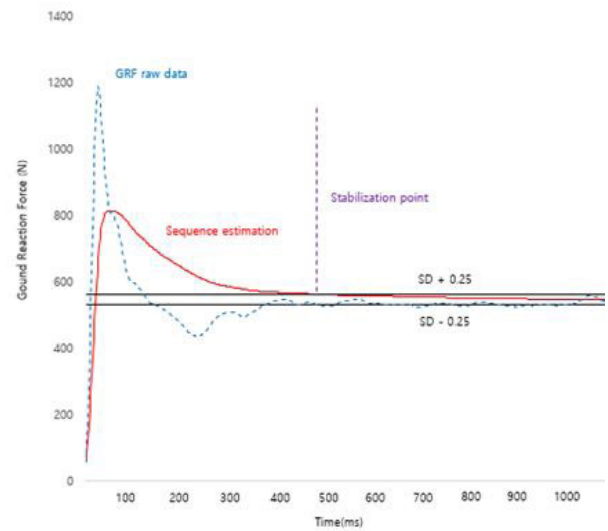
**훈련절차**

연구참여자들은 CAI와 관련된 두가지 검사방법을 실시한 후 BBS를 사용한 시각적 바이오피드백 훈련집단(training group: TG; n=19)과 Y-balance kit를 사용한 Y-balance 훈련집단(control group: CG; n=19)을 무작위 배정하였다. 두 가지 균형훈련은 동일한 시기에 총 4주에 걸쳐 일주일에 3회씩 총 12회 실시되었다(Hoch & Silkman, 2010). TG는 BBS 위에 서서 우세다리로 외발서기를 1분씩 6세트 수행하였다. 훈련을 수행하는 동안 연구참여자들에게 전방에 있는 모니터를 지속적으로 주시하게 하여 최대한 중앙에 점이 모이고 유지될 수 있도록 요구하였다. 세트 당 중간 휴식시간은 3분으로 설정하였다. CG는 선행연구에서 수행한 방법을 이용하여 각각의 연구참여자에게 Y-balance 수행 방법을 명시적으로 자세하게 설명하였다(Kim et al., 2021). 이러한 설명은 훈련 수행 중 연구참여자들이 Y-balance 동작에 대한 내부 피드백을 유도할 수 있다(Kim et al., 2021). 연구참여자들은 우세다리를 이용하여 1회 훈련 시 3바퀴씩 9세트를 실시하였고 중간 휴식시간은 3분을 제공하였다(Cavio Gonell et al., 2015; Kim et al., 2021; Salas-Gomez et al., 2020). 두가지 훈련방법 모두 동일 수행 시 인당 25~30분에 걸쳐 훈련을 실시하였다. 모든 연구참여자들은 부상위험을 최소화하기 위해 훈련 전 5~10분 간 준비운동을 실시하였고 훈련 중 중심을 잃고 지지하지 않는 발이 바닥에 닿을 경우를 제외한 성공한 시도만을 계산하여 훈련을 진행하였다.

사전/사후 평가로 점프 후 착지 동작을 수행하였다. 전방으로의 점프거리는 연구참여자의 다리 길이로 일반화하여 신장으로 인한 점프거리의 차이가 결과에 반영되지 않도록 하였다. 다리 길이는 누운 상태에서 주동 다리의 위앞엉덩뼈가시(Anterior Superior Iliac Spine: ASIS)지점부터 내측복사뼈(medial malleolus)까지를 줄자로 측정하였다(Sipe et al., 2019). 수직 점프의 높이는 최대 수직 점프 높이의 50%로 설정하였다. 수직 높이는 수직반동점프(Countermovement jump: CMJ)를 수행하여 ASIS 마커의 서있을 때의 높이와 CMJ 최대 높이를 3회 측정된 평균 높이의 50%로 계산하였다(Webster & Gribble, 2010). 연구참여자들은 점프 시 전상방으로 점프 후 위에 설치해 놓은 구조물(Vertec, Sports Imports, Hilliard, OH)을 터치한 뒤 지면반력 위에 한발서기(착지)를 20초간 실시하였다(Figure 1)(Shaw et al., 2008). 총 3회씩 실시하였으며, 점프 후 구조물을 터치하지 못할 경우, 착지 시 지면반력 측정기 위에 착지하지 못하였을 경우 혹은 착지 후 중심을 잃을 경우를 제외하고 정확하게 점프 및 착지가 되었다고 판단되는 3회 동작에 대한 데이터를 수집하였다.



**Fig. 1. Jump-landing protocol**



**Fig. 2. Time to stabilization information**

**자료 분석**

본 연구에서 획득한 3차원 영상분석 원자료(raw data)는 차단주파수를 6Hz로 설정한 뒤 4차 버터워스 저역통과필터(4th order Butterworth low-pass filter)를 적용하였으며(McErlain-Naylor et al., 2014). 지면반력 데이터는 차단주파수를 10Hz로 정한 뒤 4차 버터워스 저역통과필터를 사용하여 필터링을 수행하였다(MacKenzie et al., 2014).

안정화 소요시간 계산하기 위해 GRF, 순차적 평균(sequential estimation), 표준편차(standard deviation)를 사용하여 분석하였다(Colby et al., 1999; Liu & Heise, 2013). 이 세가지 요소를 사용하여 안정화 소요시간을 결정하는 GRF 신호와 임계값 사이의 교차점을 계산하였다. 안정화 소요시간 산출 방법은 다음과 같다. 1) AP(anterior-posterior), ML(medial-lateral), V(vertical) 방향의 GRF 데이터 적용, 2) GRF 신호 처리는 필터링을 적용하지 않으며, 순차적 평균을 사용하여 한번에 하나의 데이터를 추가하면서 평균 계산, 즉 1행과 2행 평균, 1행에서 3행까지의 평균, 1행에서 4행까지의 평균 1행에서 n행까지의 평균 산출, 3) 임계점은 순차적 평균의 전체 표준편차의 25% 범위로

설정, 4) GRF의 순차적 평균의 표준편차 25 %에 포함되는 시점을 안정화된 것으로 판단, 5) GRF의 시작 시점에서 표준편차 25 %에 포함되는 시점의 시간을 계산하였다.

신체중심(center of mass: COM)은 각 분절의 중심위치를 기준으로 전후(anterior-posterior), 좌우(medial-lateral), 수직(vertical) 방향의 최대 변위를 산출하였고, 압력중심(center of pressure: COP)은 전후 및 좌우 방향의 최대 변위를 산출하였다. 관절각도, 관절모멘트는 시상면(sagittal plane)의 최대/최소 변인을 추출하였다.

통계처리

통계처리에 앞서 모든 산출 변인에 대한 One sample Kolmogorov Smimov를 통해 정규성 검증을 실시하였다. 그 결과 모든 변인의 정규성이 확보되었고 집단 간 동일성 여부를 판단하기 위해 사전검사에 대한 독립표본 t-test를 실시하였다. 그리고 상호작용을 판단하기 위해 보수검정인 이원 혼합 분산분석(Two-way mixed ANOVA)를 수행하였으며, 이때 다중비교로 인한 제1종 오류(Type I error)를 보정하기 위해 본페로니 교정(Bonferroni correction)을 적용한 유의수준에서 검정하였다. 모든 통계적 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

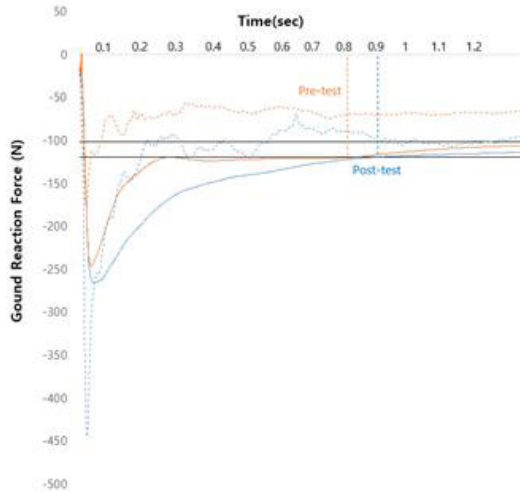


Fig. 3. The comparison of TTS between TG and CG groups for ML direction

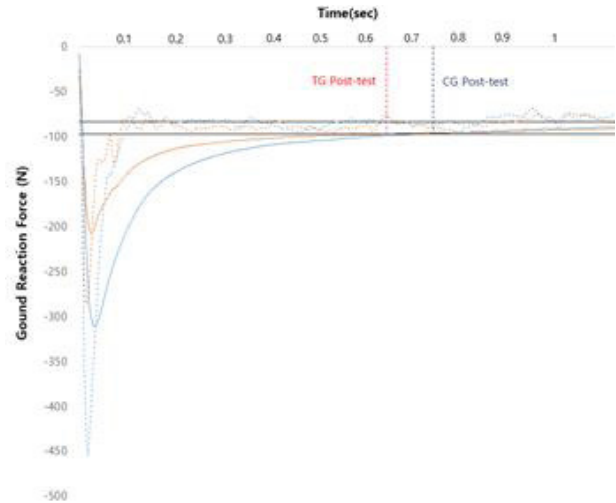


Fig. 4. The comparison of TTS between pre- and post-test of CG group for AP direction

Table 1. The results of data at force plate during jump-landing

		TG		CG		Group/test interaction		
		Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	F	p	$\eta^2$
TTS (sec)	AP	0.731±0.179	0.647±0.141	0.798±0.129	0.899±0.081	6.599	<b>.013*</b>	.099
	ML	0.766±0.174 <sup>a</sup>	0.658±0.156	0.683±0.183	0.757±0.111	4.991	<b>.029*</b>	.077
	V	0.727±0.196	0.674±0.197	0.789±0.189	0.697±0.166	.157	.693	.003
COM (m)	AP	0.080±0.020	0.098±0.070	0.110±0.110	0.093±0.021	1.174	.283	.019
	ML	0.345±0.056	0.348±0.049	0.365±0.051	0.359±0.045	.120	.730	.002
	V	0.235±0.206	0.203±0.052	0.257±0.215	0.216±0.057	.013	.909	.000
COP (m)	AP	0.367±0.239	0.323±0.117	0.479±0.258	0.467±0.267	.078	.781	.001
	ML	0.374±0.118	0.275±0.086	0.389±0.116	0.317±0.158	.200	.656	.003
GRF (N/kg)	AP	0.157±0.445	0.039±0.337	0.797±1.635	0.352±1.137	.467	.497	.008
	ML	0.400±1.217	0.176±0.317	0.628±0.736	0.320±0.479	.040	.842	.001
	V	20.62±2.92	19.80±2.96	21.45±2.35	21.06±3.31	.085	.772	.001

AP=Anterior-Posterior, ML=Medial-Lateral, V=Vertical

<sup>a</sup> indicates a statistically significant difference pre- and post-test in training group(TG)

<sup>b</sup> indicates a statistically significant difference pre- and post-test in control group(CG) \*  $p < .05$

## 연구결과

### 안정화 소요시간

본 연구에서 지면반력 측정기에서 추출된 변인들에 대해 통계분석을 실시한 결과는 다음과 같다(Table 1). 집단 간 사전검사는 모든 변인에서 통계적인 차이가 나타나지 않았고 이원 혼합 분산분석을 실시한 결과 안정화 소요시간의 AP, ML 방향에서 상호작용 효과가 나타났다(AP:  $F=6.599, p=.013$ ; ML:  $F=4.991, p=.029$ ). 사후검사 결과 TG의 훈련 후 ML 방향은 훈련 전 측정 보다 감소하였다( $p=.042$ ).

### 하지관절 운동역학 변인

본 연구에서 발목과 무릎관절의 운동역학적 변인들에 대해 통계분석을 실시한 결과는 다음과 같다(Table 2). 집단 간 사전검사는 모든 변인에서 통계적인 차이가 나타나지 않았고 이원 혼합 분산분석을 실시한 결과 발목관절의 배측굴곡과 저측굴곡 모멘트에서 상호작용 효과가 나타났다(DF:  $F=4.117, p=.047$ ; PF:  $F=8.977, p=.004$ ). 사후분석 결과 훈련 후 CG는 훈련 전 보다 배측굴곡, 저측굴곡 모멘트 모두 증가하였다(DF:  $p=.045, PF: p=.001$ ).

## 논의

본 연구는 내/외적 피드백 균형 훈련이 점프 후 착지 시 동적 자세 안정화 및 하지의 운동역학적 변인에 어떠한 영향을 미치는지 평가하는데 목적이 있다. 이를 위해 두 집단은 시각적 바이오피드백 훈련과 Y-balance 훈련을 각각 실시하였고 훈련 전후 점프 후 착지 동작을 통해 안정화 소요시간, 지면반력 그리고 하지관절의 운동역학적 정보를 수집 및 분석하였다.

본 연구에서 훈련 전후 비교 시 TG의 ML 방향에 대한 안정화 소요시간은 감소하였고 CG는 AP 방향에서 증가하였다. 또한 집단 간 AP와 ML 방향에 대한 훈련 후 결과들을 비교하였을 때 CG는 TG 보다 오랜시간을 소요한 것을 알 수 있었다. 안정화 소요시간은 착지 후 시상면 및 이마면 방향의 GRF 움직임 최소화하는데 필요한 시간이다(Letafatkar et al., 2018). 선행연구에서 만성 발목 불안정성 집단은 정상 집단 보다 GRF가 안정화되는데 오랜시간이 소요되었다고 보고하였다(Brown et al., 2004). 그렇기 때문에 오랜시간이 소요된 안정화 소요시간은 발목이 불안정하다는 의미로 해석될 수 있고 본 연구에서도 VFB 훈련 방법이 Y-balance 훈련 방법 보다 소요시간이 짧게 나타나 높은 효과가 나타난 것으로 사료된다. 특히, 동적 자세 안정화를 진행하기 위해 신체 내에서는 자체 수용 피드백, 사전 프로그래밍 된 근육 패턴, 근육 반사 및 자발적 반응에 의존한다(Wikstrom et al., 2005). Nam & Lee(2019)의 연구에서 시각적 피드백 훈련을 수행한 연구참여자들은 앞정강근(Tibialis Anterior), 긴종아리근(Peroneus Longus), 넙다리곧은근(Rectus Femoris), 넙다리두갈래근(Biceps Femoris), 장딴지근(Gastrocnemius) 등의 근 활성도가 높게 나타나면서 관절과 근육의 기계 수용체를 자극하고 주동근과 길항근의 동시수축(co-contraction)을 수행한다고 하였다. 근육의 동시수축이 수행되는 이유로 인체 내 감각 시스템의 지속적인 재투자(reinvestment)를 통해 여러 감각 시스템의 통합과 운동학적 피드백에 대한 수행 능력을 향상시키기 위해서이다(Manzoor et al., 2017; Nam & Lee, 2019). 이러한 기전의 반복 수행으로 인해 본 연구의 결과는 발목 불안정성을 가지고 있는 환자들이 대상으로 더욱 명확하게 나타난 것으로 판단된다. 또한 발목관절에 있는 근육, 건, 인대들이 강화되면서 발목관절의 불안정한 감각에 대해 서서히 사라지고 이로 인해 추후 부상 재발률도 낮아지는 효과도 예상된다(Dault et al., 2003; Doherty et al., 2014). 하지만 Y-balance 훈련 시에는 빠른 자세로 안정화 동작이 수행되지 못하였고 오히려 AP 방향의 안정화 소요시간이 증가하였다. 선행연구

**Table 2.** The results of kinematic and kinetic variables for lower extremity joints during jump-landing

		TG		CG		Group/test interaction		
		Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	F	p	$\eta^2$
Ankle angle (deg)	DF	6.82±8.29	4.68±4.61	7.53±3.48	8.91±14.33	.674	.415	.011
Ankle moment (N/kg)	DF	0.036±0.004	0.026±0.021	0.007±0.063 <sup>b</sup>	0.033±0.019	4.117	<b>.047*</b>	.055
	PF	-0.742±0.191	-0.699±0.161	-0.649±0.167 <sup>b</sup>	-0.902±0.256	8.977	<b>.004*</b>	.130
Knee angle (deg)	AP	-45.42±13.88	-52.20±10.46	-43.60±14.86	-55.25±7.44	.628	.431	.010
Knee moment (N/kg)	F	-0.305±0.150	-0.317±0.130	-0.482±0.458	-0.512±0.571	.011	.916	.000
	E	1.251±0.338	1.282±0.364	1.470±0.444	1.354±0.222	.670	.416	.011
Hip angle (deg)	F	48.92±10.33	53.12±7.21	53.11±11.87	56.62±11.54	.018	.894	.000
Hip moment (N/kg)	F	0.279±0.543	0.133±0.445	0.819±1.204	0.423±0.934	.391	.534	.006
	E	-0.989±0.512	-1.011±0.448	-1.355±1.238	-1.556±1.357	.151	.699	.003

DF=Dorsiflexion, PF=Plantarflexion, F=Flexion, E=Extension

<sup>a</sup> indicates a statistically significant difference pre- and post-test in training group (TG)

<sup>b</sup> indicates a statistically significant difference pre- and post-test in control group (CG) \* $p<.05$

에서 지면반력 측정기의 AP 방향 자세 흔들림은 발목관절의 배측굴곡과 저측굴곡에 의해 제한된다고 하였다(Mochizuki et al., 2006). 즉 4주 동안 Y-balance 훈련을 진행하면서 여전히 발목관절을 이용하는 비중이 높은 것으로 추측된다. 본 연구에서 연구참여자들은 Y-balance의 수행 방법에 대한 자세한 설명을 듣고 그 설명에 따라 동작을 수행하였는데 이는 내부 피드백에 의한 작업 기억에 동작을 의존하는 경향이 나타난 것으로 보인다. 초기 학습 시 의식적으로 동작을 수행하게 되고 높은 숙련도로 완성되기까지의 과정에서 예상치 못한 동작으로 인해 학습과정에 있어서 많은 문제가 발생할 수 있다(Sherwood et al., 2019). 그렇기 때문에 근 신경 제어를 통한 동작 수준의 향상 속도는 비교적 느리고 운동역학적인 관점에서는 관절의 기계적인 안정성 저하, 보상 동작의 수행력에 대해서도 미숙함이 나타난다(Liao & Masters, 2001). 따라서 본 연구에서는 내부 피드백의 의존으로 인해 균형의 목표 인지능력 및 운동학습 과정을 오히려 제약하는 결과가 나타난 것으로 판단된다.

하지만관절은 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절 중 오직 발목관절의 모멘트에서만 통계적인 차이가 나타났다. 훈련 후 TG의 발목관절 모멘트는 훈련 전 보다 감소하였고, CG의 배측굴곡 모멘트는 반대로 증가하였다. 선행연구에서 시각적 바이오피드백 훈련과 일반 균형훈련을 비교해본 결과 기능성 발목 불안정성을 가진 남성 성인이 시각적 바이오피드백 훈련을 수행하였을 때 일반 균형훈련 보다 발목의 모멘트가 감소한 결과가 나타나 본 연구결과와 유사하게 나타났다(Nam & Lee, 2019). Wilson et al.(2006)의 연구에서는 인체의 동적 자세 안정화를 지속적으로 유지하기 위해 1차적으로 발목전략(ankle strategy)이 사용되며 엉덩관절과 무릎관절은 발목관절의 움직임을 도와주는 2차적인 역할을 한다고 보고하였다. 일반적으로 충격이 가해지는 동작에 대해 한발 착지 시 체중의 약 4.5배에 해당하는 힘이 발목에 가중된다(Souza et al., 2014). 그럼에도 불구하고 발목의 최대 모멘트가 감소한 부분은 균형 훈련을 통한 근력 강화가 정강이 뼈 앞쪽 근육과 말초근육을 포함한 발목 주변의 근육활동을 증가시켜 큰 힘을 발휘하지 않아도 충분히 균형을 유지시킬 수 있었던 것으로 판단된다(Holme et al., 1999; Nam & Lee, 2019). 무릎과 엉덩관절의 각도 및 모멘트에서는 집단 내/집단 간 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 본 연구에서의 시각적 바이오피드백 결과에 따라 무릎과 엉덩관절의 보상작용이 나타날 것'이라는 가설을 세운 이유로 1) ML 방향의 자세 동요는 무릎과 엉덩관절의 움직임으로 제어할 수 있고(Mochizuki et al., 2006), 2) 무릎과 엉덩이 관절과 같은 발목관절 보다 높은 구조에서도 불안정한 자세를 제어시키는 역할을 하여 무릎관절과 엉덩관절에서도 차이가 나타날 것으로 예상하였다(Cote et al., 2005). 또한 3) 발목관절과 함께 무릎과 엉덩관절의 움직임 및 주변 근육의 활성화와 같은 다양한 보상 전략을 사용한다고 보고하였기 때문에 이와 같은 가설을 세웠다(Arampatzis et al., 2003; Boden et al., 2009). 하지만 위에서 언급하였다시피 점프 후 착지 동작에서 1차적으로 작용하는 관절은 발목관절이고 그 이상의 흔들림으로 인해 사용되는 엉덩관절과 무릎관절은 점프 후 착지에서 사용될 만큼 신체가 불안정하지 않았다고 판단된다. 따라서 연구참여자들이 발목관절의 움직임만으로 충분히 동적 자세 안정화 작업을 수행할 수 있었던 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점으로 1) 연구참여자의 수가 많지 않아 측정결과를 일반화시키기에는 어려움이 있고, 2) 고유수용성 감각 검사와 균형능력 검사와 같은 동적균형능력을 결정할 수 있는 감각 기능 검사를 사전에 실

시하여 집단을 고르게 분류하지 않았다. 또한 3) 예를 들어 Y-balance 훈련 시 개개인의 Y-balance 능력의 80% 이상을 발휘할 수 있도록 훈련효과를 극대화시키기 위한 임계치 설정을 진행하지 않았다.

## 결론 및 제언

본 연구는 시각적 피드백 균형 훈련에 따라 점프 후 착지 시 동적 자세 안정화 및 운동학적 변인에 어떠한 영향을 미치는지 평가하는데 목적이 있고 이에 대해 도출된 결론은 다음과 같다.

두 집단의 훈련 전과 후 비교 시 훈련 후 TG의 ML 방향 안정화 소요시간은 감소하였고 CG는 AP 방향에서 훈련 전 보다 증가하였다. 집단 간 AP와 ML 방향의 훈련 후 결과를 비교하였을 때 CG는 TG 보다 더 오랜시간을 소요하였다. 하지관절의 운동역학적 측면에서는 훈련 후 TG의 발목관절의 배측굴곡 모멘트는 훈련 전 보다 감소하였고 CG는 훈련 전 보다 오히려 증가하였다. 따라서 시각적 바이오피드백 훈련을 수행한 연구참여자들은 발목관절의 움직임을 통해 착지 후 신체를 빠르게 안정시켰고 발목이 불안정한 환자에게 효과적인 훈련방법으로 시각적 바이오피드백 균형 훈련 방법이 추천된다.

현재 연구에서는 시각적 바이오피드백 훈련 후 동작의 차이를 분석하는데 그쳤으나, 향후 연구에서는 점프 후 착지 이외에 다양한 동작을 통해 검증하고 더 나아가 근육의 부상 가능성 예측 및 회복 여부 등의 연구들도 추가적으로 진행하여 발목 불안정성을 가진 환자 뿐만 아니라 어린이, 노인, 엘리트 선수들에게도 도움을 줄 수 있는 다양한 연구가 진행되길 기대한다.

## 참고문헌

- Al-Mohrej, O. A., & Al-Kenani, N. S. (2016a). Acute ankle sprain: Conservative or surgical approach? *EFORT Open Reviews*, 1(2), 34-44.
- Al-Mohrej, O. A., & Al-Kenani, N. S. (2016b). Chronic ankle instability: Current perspectives. *Avicenna Journal of Medicine*, 6(4), 103-108.
- Arampatzis, A., Morey-Klapsing, G., & Brüggemann, G. P. (2003). The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(6), 533-544.
- Ardakani, M. K., Wikstrom, E. A., Minoonejad, H., Rajabi, R., & Sharifnezhad, A. (2019). Hop-Stabilization Training and Landing Biomechanics in Athletes with Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Athletic Training*, 54(12), 1296-1303.
- Bell, D. R., Guskiewicz, K. M., Clark, M. A., & Padua, D. A. (2011). Systematic review of the balance error scoring system. *Sports Health*, 3(3), 287-295.
- Boden, B. P., Torg, J. S., Knowles, S. B., & Hewett, T. E. (2009). Video analysis of anterior cruciate ligament injury: Abnormalities in hip and ankle kinematics. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(2), 252-259.
- Brauer, S. G., Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2001). The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(8), M489-M496.
- Brown, C., Ross, S., Mynark, R., & Guskiewicz, K. (2004). Assessing functional ankle instability with joint position sense, time to stabilization, and electromyography. *Journal of Sport Rehabilitation*, 13(2), 122-134.
- Cavio Gonell, A., Pina Romero, J. A., & Maciá Soler, L. (2015). Relationship between the Y balance test scores and soft tissue injury incidence in a soccer team. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(7), 955-966.
- Colby, S. M., Hintermeister, R. A., Torry, M. R., & Steadman, J. R. (1999). Lower limb stability with ACL impairment. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 29(8), 444-454.
- Cote, K. P., Brunet, M. E. II, Gansneder, 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), 41-46.
- Dault, M. C., de Haart, M., Geurts, A. C. H., Arts, I. M. P., & Nienhuis, B. (2003). Effects of visual center of pressure feedback on postural control in young and elderly healthy adults and in stroke patients. *Human Movement Science*, 22(3), 221-236.
- de Noronha, M., Refshauge, K. M., Crosbie, J., & Kilbreath, S. L. (2008). Relationship between functional ankle instability and postural control. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 38(12), 782-789.
- Delahunt, E., Coughlan, G. F., Caulfield, B., Nightingale, E. J., Lin, C. W., & Hiller, C. E. (2010). Inclusion criteria when investigating insufficiencies in chronic ankle instability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(11), 2106-2121.
- Dj, M. (1999). *Instability and stabilization theory and treatment*. In 2nd Seminar Workbook.
- Doherty, C., Delahunt, E., Caulfield, B., Hertel, J., Ryan, J., & Bleakley, C. (2014). The incidence and prevalence of ankle sprain injury: A systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Medicine*, 44(1), 123-140.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191.
- Franz, D. P., Huurnink, A., de Boode, V. A., Kingma, I., & van Dieen, J. H. (2015). Time to stabilization in single leg drop jump landings: An examination of calculation methods and assessment of differences in sample rate, filter settings and trial length on outcome values. *Gait and Posture*, 41(1), 63-69.
- Golano, P., Vega, J., de Leeuw, P. A., Malagelada, F., Manzanares, M. C., Gotzens, V., & van Dijk, C. N. (2010). Anatomy of the ankle ligaments: A pictorial essay. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(5), 557-569.
- Gribble, P. A., Delahunt, E., Bleakley, C., Caulfield, B., Docherty, C. L., Fourchet, F., ... & Wikstrom, E. A. (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.
- Gribble, P. A., Hertel, J., Denegar, C. R., & Buckley, W. E. (2004). The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. *Journal of Athletic Training*, 39(4), 321-329.
- Gribble, P. A., & Robinson, R. H. (2009). Alterations in knee kinematics and dynamic stability associated with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 44(4), 350-355.
- Henry, S. M., & Westervelt, K. C. (2005). The use of real-time ultrasound feedback in teaching abdominal hollowing exercises to healthy subjects. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(6), 338-345.
- Herb, C. C., Grossman, K., Feger, M. A., Donovan, L., & Hertel, J. (2018). Lower extremity biomechanics during a drop-vertical jump in participants with or without chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 53(4), 364-371.
- Hiller, C. E., Refshauge, K. M., Bundy, A. C., Herbert, R. D., & Kilbreath, S. L. (2006). The Cumberland ankle instability tool: A report of validity and reliability testing. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(9), 1235-1241.
- Hoch, M., & Silkman, C. (2010). Balance training for patients with chronic ankle instability. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 15(1), 9-11.
- Holme, E., Magnusson, S. P., Becher, K., Bieler, T., Aagaard, P.,

- & Kjaer, M. (1999).** The effect of supervised rehabilitation on strength, postural sway, position sense and re-injury risk after acute ankle ligament sprain. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 9(2), 104-109.
- Jeon, K. K., Kim, K. W., Ryew, C. C., & Hyun, S. H. (2018).** Effect of functional ankle instability and surgical treatment on dynamic postural stability and leg stiffness variables during vertical-drop landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 28(2), 135-141.
- Kim, S. M., Qu, F., & Lam, W. K. (2021).** Analogy and explicit motor learning in dynamic balance: Posturography and performance analyses. *European Journal of Sport Science*, 21(8), 1129-1139.
- Kim, Y. J., Ji, J. G., Kim, J. T., Hong, J. H., Lee, J. S., Lee, H. S., & Park, S. B. (2004).** A comparison study for mask plantar pressure measures to the difference of shoes in 20 female. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(3), 83-98.
- Koldenhoven, R., Simpson, J. D., Forsyth, L., Donovan, L., & Torp, D. M. (2022).** Utility of gait biofeedback training to improve walking biomechanics in patients with chronic ankle instability: A critically appraised topic. *Journal of Sport Rehabilitation*, 31(6), 819-825.
- Leardini, A., O'Connor, J. J., & Giannini, S. (2014).** Biomechanics of the natural, arthritic, and replaced human ankle joint. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7, 8.
- Letafatkar, A., Mantashloo, Z., & Moradi, M. (2018).** Comparison the time to stabilization and activity of the lower extremity muscles during jump-landing in subjects with and without Genu Varum. *Gait & Posture*, 65, 256-261.
- Liao, C. M., & Masters, R. S. (2001).** Analogy learning: A means to implicit motor learning. *Journal of Sports Sciences*, 19(5), 307-319.
- Liu, K., & Heise, G. D. (2013).** The effect of jump-landing directions on dynamic stability. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(5), 634-638.
- MacKenzie, S. J., Lavers, R. J., & Wallace, B. B. (2014).** A biomechanical comparison of the vertical jump, power clean, and jump squat. *Journal of Sports Sciences*, 32(16), 1576-1585.
- Manzoor, S., Afzal, F., Gulraiz, Qurratulain, Khalid, M., Nadeem, S., & Irshad, A. (2017).** Effects of joints weight bearing exercises combine with range of motion exercises on affected limbs in patents with stroke. *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 5(3), 410-412.
- McErlain-Naylor, S., King, M., & Pain, M. T. G. (2014).** Determinants of countermovement jump performance: A kinetic and kinematic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 32(19), 1805-1812.
- Mochizuki, G., Semmler, J. G., Ivanova, T. D., & Garland, S. J. (2006).** Low-frequency common modulation of soleus motor unit discharge is enhanced during postural control in humans. *Experimental Brain Research*, 175(4), 584-595.
- Nam, S.-M., & Lee, D.-Y. (2019).** Effects of visual feedback closed kinetic chain exercise on the lower limb muscles activity and ankle instability in adult men with chronic ankle instability. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*, 14(1), 131-138.
- Paterno, M. V., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004).** Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(6), 305-316.
- Pollock, M. L., Franklin, B. A., Balady, G. J., Chaitman, B. L., Fleg, J. L., Fletcher, B., ... & Bazzarre, T. (2000).** Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: Benefits, rationale, safety, and prescription an advisory from the committee on exercise, rehabilitation, and prevention. *Circulation*, 101(7), 828-833.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002).** The sensorimotor system, part I: The physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71-79.
- Rizzo, A. A., Bowerly, T., Buckwalter, J. G., Klimchuk, D., Mitura, R., & Parsons, T. D. (2009).** A virtual reality scenario for all seasons: The virtual classroom. *CNS Spectrums*, 11(1), 35-44.
- Ross, S. E., Guskiewicz, K. M., Gross, M. T., & Yu, B. (2009).** Balance measures for discriminating between functionally unstable and stable ankles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(2), 399-407.
- Rozzi, S. L., Lephart, S. M., Sterner, R., & Kuligowski, L. (1999).** Balance training for persons with functionally unstable ankles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 29(8), 478-486.
- Sackley, C. M., & Lincoln, N. B. (1997).** Single blind randomized controlled trial of visual feedback after stroke: Effects on stance symmetry and function. *Disability and Rehabilitation*, 19(12), 536-546.
- Salas-Gomez, D., Fernandez-Gorgojo, M., Sanchez-Juan, P., Bercero, E. L., Isabel Perez-Nunez, M., & Barbado, D. (2020).** Quantifying balance deficit in people with ankle fracture six months after surgical intervention through the Y-Balance test. *Gait & Posture*, 95, 249-255.
- Scoppa, F., Capra, R., Gallamini, M., & Shiffer, R. (2013).** Clinical stabilometry standardization: Basic definitions—acquisition interval—sampling frequency. *Gait & Posture*, 37(2), 290-292.
- Shaffer, S. W., Teyhen, D. S., Lorenson, C. L., Warren, R. L., Koreerat, C. M., Straseske, C. A., & Childs, J. D. (2013).** Y-balance test: A reliability study involving multiple raters. *Journal of Military Medicine*, 178(11), 1264-1270.
- Shaw, M. Y., Gribble, P. A., & Frye, J. L. (2008).** Ankle bracing, fatigue, and time to stabilization in collegiate volleyball athletes. *Journal of Athletic Training*, 43(2), 164-171.
- Sherwood, S. M., Smith, T. B., & Masters, R. S. W. (2019).** Decision reinvestment, pattern recall and decision making in rugby union. *Psychology of Sport and Exercise*, 43, 226-232.
- Sipe, C. L., Ramey, K. D., Plisky, P. P., & Taylor, J. D. (2019).** Y-Balance Test: A valid and reliable assessment in older adults.



- Journal of Aging and Physical Activity*, 27(5), 663-669.
- Souza, T. R., Mancini, M. C., Araujo, V. L., Carvalhais, V. O., Ocarino, J. M., Silva, P. L., & Fonseca, S. T. (2014).** Clinical measures of hip and foot-ankle mechanics as predictors of rearfoot motion and posture. *Manual Therapy*, 19(5), 379-385.
- Tyson, S. F., Hanley, M., Chillala, J., Selley, A., & Tallis, R. C. (2006).** Balance disability after stroke. *Physical Therapy*, 86(1), 30-38.
- Vos, L. A., Prins, M. R., & Kingma, I. (2022).** Training potential of visual feedback to improve dynamic postural stability. *Gait & Posture*, 92, 243-248.
- Webster, K. A., & Gribble, P. A. (2010).** Time to stabilization of anterior cruciate ligament-reconstructed versus healthy knees in national collegiate athletic association division 1 female athletes. *Journal of Athletic Training*, 45(6), 580-585.
- Wikstrom, E. A., Powers, M. E., & Tillman, M. D. (2004).** Dynamic stabilization time after isokinetic and functional fatigue. *Journal of Athletic Training*, 39(3), 247-253.
- Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Smith, A. N., & Borsa, P. A. (2005).** A new force-plate technology measure of dynamic postural stability: The dynamic postural stability index. *Journal of Athletic Training*, 40(4), 305-309.
- Wilson, E. L., Madigan, M. L., Davidson, B. S., & Nussbaum, M. A. (2006).** Postural strategy changes with fatigue of the lumbar extensor muscles. *Gait & Posture*, 23(3), 348-354.
- Yang, S.-B., & Kim, J.-H. (2016).** Dose effects of bee venom pharmacopuncture for the acute ankle sprain in rats. *Korean Journal of Acupuncture*, 33(4), 194-203.
- Youssef, N. M., Abdelmohsen, A. M., Ashour, A. A., Elhafez, N. M., & Elhafez, S. M. (2018).** Effect of different balance training programs on postural control in chronic ankle instability: A randomized controlled trial. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 20(2), 159-169.
- Zijlstra, A., Mancini, M., Chiari, L., & Zijlstra, W. (2010).** Biofeedback for training balance and mobility tasks in older populations: A systematic review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 7(1), 58.

# 시각적 피드백 균형 훈련이 안정화 소요시간 및 발목의 운동역학적 변인에 미치는 영향

김성민<sup>1</sup>, 문제헌<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국교원대학교 학교체육연구소 연구원

<sup>2</sup>한국교원대학교 체육교육과 교수

[목적] 본 연구의 목적은 시각적 바이오피드백 훈련의 효과성을 입증하기 위해 점프 후 착지 시 동적 자세 안정화 및 운동학적 변인에 어떠한 영향을 미치는지 평가하는 데 있다.

[방법] 본 연구에서는 B 지역 소재 대학에 재학 중인 남자 운동선수(육상, 축구, 배구, 핸드볼)를 대상으로 만성 발목 불안정 환자군 38명을 연구참여자로 선정하였다(age:  $22.6 \pm 1.12$  years, height:  $175 \pm 3.54$  cm, weight:  $65.5 \pm 5.11$  kg). 만성 발목 불안정 환자군을 선별하기 위해 CAIT(Cumberland Ankle Instability Tool) 설문지와 균형 오차 점수 평가(balance error scoring system: BESS)를 사용하였고 무작위로 19명씩 시각적 바이오피드백 훈련 집단과 Y-balance 집단으로 배정하였다. 훈련은 총 4주간 진행하였고, 훈련 전후 점프 후 착지 동작을 통해 안정화 소요시간, 신체중심, 압력중심, 지면반력, 그리고 하지관절의 운동역학적 변인을 분석하였다. 모든 통계적 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

[결과] 안정화 소요시간의 AP, ML 방향에서 상호작용 효과가 나타났다(AP:  $F=6.599$ ,  $p=.013$ ; ML:  $F=4.991$ ,  $p=.029$ ). 사후검사 결과 TG의 AP, ML방향은 CG 보다 감소하였다(AP:  $t=-5.790$ ,  $p=.000$ ; ML:  $t=-2.084$ ,  $p=.046$ ) (Table 3). 집단 내 분석으로 TG의 훈련 후 ML 방향은 훈련 전 측정 보다 감소하였고( $t=2.285$ ,  $p=.041$ ), 훈련 후 CG의 AP방향은 훈련 전보다 증가하였다( $t=-2.961$ ,  $p=.012$ ). 발목관절의 배측굴곡과 저측굴곡 모멘트에서 상호작용 효과가 나타났다(DF:  $F=4.117$ ,  $p=.047$ ; PF:  $F=8.977$ ,  $p=.004$ ). 사후분석 결과 훈련 후 TG는 훈련 전 보다 배측굴곡, 저측굴곡 모멘트 모두 감소하였고(DF:  $t=2.555$ ,  $p=.040$ , PF:  $t=-2.787$ ,  $p=.032$ ), 훈련 후 CG의 배측굴곡 모멘트는 훈련 전 보다 증가하였다( $t=2.084$ ,  $p=.046$ ).

[결론] 시각적 바이오피드백 훈련을 수행한 연구참여자들은 발목관절의 움직임을 통해 착지 후 신체를 빠르게 안정시켰고 발목이 불안정한 환자에게 효과적인 훈련방법으로 시각적 바이오피드백 균형 훈련 방법이 추천된다.

## 주요어

만성 발목 불안정성, 안정화 소요시간, 시각적 바이오피드백, 점프 후 착지