KJAB

Korean Journal of Applied Biomechanics 2025; 35(2): 107-116
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2025.35.2.107
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Immediate Effects of Talocrural Joint Mobilization on Ankle Mobility, Balance, and Alignment in Chronic Ankle Instability

목말종아리관절 가동술이 만성발목 불안정성 대상자의 발목 가동성, 균형 및 정렬에 미치는 즉각적 효과

Hyeon Seop Sim[1], Myong Ho Ham[2], Da Young Park[1], Seo Yeon Park[1], Eun Seo Park[1], Byong Hun Kim[1]

[1]Department of Sports Medicine, Dongguk University WISE Campus, Gyeongu-si, South Korea
[2]Department of Sports Science, Dongguk University WISE Campus, Gyeongu-si, South Korea

Received : 26 March 2025
Revised : 08 May 2025
Accepted : 08 May 2025

Corresponding Author
Byong Hun Kim
Department of Sport Medicine, Dongguk University-Wise Campus, WonHyo Complex 4031, 123 Dongdae-ro, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do, 38066, South Korea

Email : bhkim2022@dongguk.ac.kr

Objective: The purpose of this study was to examine the immediate effects of Maitland Grade IV talocrural joint mobilization with posterior talar glide against tibia.

Method: A total of 21 healthy adults in their 20s participated in this study and received joint mobilization. Based on the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) for Activities of Daily Living (ADL) and Sports (S), participants were classified into 10 individuals with chronic ankle instability (CAI) and 11 healthy controls. Measurements were taken before and after mobilization, including standing rearfoot angle (SRA), dorsiflexion range of motion (DFROM), navicular drop (ND), the Star Excursion Balance Test (SEBT), the Y-Balance Test (YBT). Within-group and between-group differences in pre- and post-intervention values were analyzed.

Results: After joint mobilization, both the CAI and control groups showed significant improvements in DFROM and SEBT posterior and posteromedial reach distances ($p < .05$). The CAI group exhibited additional significant improvements in SEBT posterolateral and medial directions, while the control group showed significant enhancements in SEBT anterior, anterolateral, and YBT anterior and posterolateral directions ($p < .05$).

Conclusion: Maitland Grade IV posterior talar glide mobilization increased the dorsiflexion range of motion and improved balance performance in both CAI and healthy individuals. However, the control group demonstrated greater improvements in anterior dynamic stability, whereas the CAI group showed significant changes only in the posterolateral and medial directions. These findings suggest that CAI patients may have compensatory movement patterns that limit immediate structural adaptations, indicating the need for further research on long-term effects and broader clinical applications.

Keywords: Chronic ankle instability, Maitland Grade IV, Joint mobilization, Dorsiflexion, Dynamic balance

Copyright © 2025 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

2020년 국내에서 발목 염좌 환자는 116만 명이었으나, 코로나 팬데믹 이후 신체 활동 증가로 2023년에는 약 147만 명으로 증가하였다(Health Insurance Review & Assessment Service, 2024). 매년 100만 명 이상이 병원을 찾을 정도로 발목 손상은 흔하며, 특히 발목 외측 염좌(lateral ankle sprain)는 스포츠 및 일상생활에서 가장 자주 발생하는 정형외과적 손상이다(Waterman, Belmont, Cameron, DeBerardino & Owens, 2010). 급성 발목 염좌의 70%는 만성발목 불안정성(chronic ankle instability)으로 발전할 수 있으며, 재발 위험도 유사하다(Hintermann, Boss & Schäfer, 2002). 만성발목 불안정성이 발생하면 근신경 및 고유수용 감각이 손상되어 보행 중 휘청거리거나 발목이 자주 꺾이는(giving way) 증상이 나타나며, 부종, 통증, 관절 이완(joint laxity)으로 2차 손상의 위험이 증가한다(Beynnon, Murphy & Alosa, 2002; van Rijn et al., 2008). 장기적으로는 기능 저하와 삶의 질 감소뿐만 아니라 관절염으로 이어질 수 있다(Houston, Van Lunen & Hoch, 2014; Valderrabano Horisberger, Russell, Dougall & Hintermann, 2009; Vallandingham, Gaven & Powden, 2019). 따라서 만성발목 불안정성의 병리학적 특성을 규명하고 적절한 치료적 중재를 적용하는 것이 중요하다.

발목 염좌 시 목말종아리인대(talofibular ligament) 손상이 가장 흔하며, 이로 인해 목말뼈가 전방으로 아탈구(subluxation)될 수 있다. 이를 방치하면 목말뼈 후방 활주 제한이 발생하며(Wikstrom & Hubbard, 2010), 발등굽힘(dorsiflexion) 가동범위 감소로 이어진다(Hoch, Farwell, Gaven & Weinhandl, 2015). 발등굽힘 제한은 하지의 운동 사슬에 영향을 미치며, 체중 부하 상태에서 수행되는 동작과 동적 균형에도 부정적 영향을 미친다(Grindstaff, Dolan & Morton, 2017; Hoch, Staton & McKeon, 2011). 특히 보행 중 발목 엎침(pronation)이 원활하지 않아 반복적인 염좌 위험이 증가한다(Lee, Jeong, Kim, Jeon & Lee, 2021). 반면, 과도한 발 엎침(foot pronation) 또는 뒤침(supination)이 발목 염좌와 관련되는지 평가하기 위해 발배뼈 하강 검사(navicular drop test)가 사용된다(Kannus, 1992; Menz, 1998). 만성발목 불안정성 환자는 종종 발 아치가 과도하게 하강하는데, 이는 발목의 동적 안정성을 저하시켜 반복적 염좌 위험을 높인다(Cote, Brunet, Gansneder & Shultz, 2005; Lundgren et al., 2008). 또한, 발목 불안정성 환자는 보행 중 발바닥의 압력 중심(center of pressure; COP)이 정상보다 가쪽으로 치우치는 경향이 있으며(Drewes et al., 2009; Willems et al., 2005), 이로 인해 보행 마지막 91-100% 구간에서 발바닥 굽힘이 두드러지고 기계적 불안정성이 발생한다. 후족부 각도(rearfoot angle)가 내반(varus) 정렬을 보이는 것도 기능적 안정성 저하의 원인이 된다(Docherty, Moore & Arnold, 1998; Hertel, 2002). 이러한 구조적 문제뿐만 아니라, 만성발목 불안정성 환자는 Star Excursion Balance Test (SEBT)에서 동적 균형 유지 능력이 저하되는 경향이 있으며(Gribble, Hertel & Plisky, 2012; Munn, Sullivan & Schneiders, 2010; Vallandingham et al., 2019), 이는 지속적인 부상으로 이어질 수 있다. 따라서 발목 기능 회복을 위한 재활 중재 효과를 평가하는 데 SEBT가 중요한 지표로 활용된다.

만성발목 불안정성 개선을 위해 발목관절 가동술이 중요한 치료법으로 활용되며, 특히 목말종아리관절 가동술(talocrural joint mobilization)은 전방 전위된 목말뼈를 후방으로 이동시켜 정상 해부학적 정렬을 회복시키고, 발등굽힘 가동범위를 증가시킨다(Harkey et al., 2014; Hoch & McKeon, 2011; McKeon & Wikstrom, 2016). 또한, 관절가동술이 감각운동 시스템(sensory motor system)을 자극하여 동적 균형 능력을 향상시킬 수 있다. 특히, Maitland 기법을 1세트당 최소 2분 이상 적용하면 세트 수와 관계없이 발등굽힘 가동범위에 긍정적인 영향을 미쳤으며, 단일 세션에서도 즉각적인 효과가 나타났다(Vallandingham et al., 2019). 발등굽힘 증가를 목표로 적용한 관절가동술은 SEBT에서 후내측(posteromedial) 및 후외측(posterolateral) 거리 개선을 유도하며, 이는 만성발목 불안정성 환자의 동적 균형 능력 향상 가능성을 시사한다(Hoch et al., 2011; Vallandingham et al., 2019). 또한, 목말뼈 후방 활주 가동술을 60초간 3세트 적용했을 때, 발등굽힘 가동범위와 내반된 후족부 정렬이 즉각적으로 개선되었으나, 발배뼈 하강 검사에서는 유의한 변화가 없었다(Kim, Kim, Kang, Cho & Lee, 2018). 아울러, 관절가동술을 통해 발등굽힘 범위가 증가하고 후족부 내반 정렬이 개선되면, 보행 시 회내(pronation) 기전이 정상화되지만, 과도한 발 아치 하강(overpronation)은 충격 흡수 기능을 저하시켜 새로운 부상을 유발할 수 있다. 따라서 관절가동술 연구에서는 아치 하강 여부를 확인하고, SEBT에서의 균형 능력 향상과 연관성을 평가할 필요가 있다.

이에 따라, 본 연구는 목말종아리관절 가동술이 만성발목 불안정성 환자의 발등굽힘 가동범위, 동적 균형, 후족각 및 발배뼈 하강 검사에 미치는 영향을 종합적으로 분석하는 것을 목표로 한다. 또한, 지속적인 도수 요법이 어려운 경우를 고려하여, 단일 세션 관절가동술의 즉각적인 효과를 평가하는 데 중점을 두었다. 이에 따라, 본 연구는 Maitland Grade IV 방식의 목말종아리관절 가동술이 발등굽힘 가동범위, 동적 균형 능력, 정렬 상태에 따라 즉각적으로 긍정적인 영향을 미칠 것이라는 가설 하에 수행되었다.

METHOD

1. 연구대상자 모집

본 연구의 대상자는 20대 성인 남여 25명을 모집하였으며, 이는 표본 수 계산 프로그램(G*power, version 3.1.9.2, University of Kiel, Kiel, Germany)을 이용하여 산출한 결과에 근거하였다. 두 집단간의 차이 분석을 위해 선행연구의 발목관절 가동범위 변인을 이용하여, 유의수준 0.05, 그리고 검정력 0.80으로 설정한 결과 필요한 연구대상자는 21명(CAI=10, Control=11)으로 나타나(Vallandingham et al., 2019), 4명(20%)을 추가 모집하여 실험을 진행하였다. 연구대상자는 자발적으로 연구참여동의서를 작성한 대상만을 선정하였으며, 만성발목 불안정성 유무 판별을 위해 Foot and Ankle Ability Measure (FAAM)- Activities of Daily Living (ADL)와 FAAM-Sport (S) 설문을 실시하여 100점 만점을 기준으로 FAAM-ADL 90점 이하, FAAM-S 80점 이하를 기록한 대상자는 만성발목 불안정성 그룹으로(Gribble et al., 2013), 이에 모두 해당하지 않는 경우는 건강한 대조군으로 분류하였으며, 근골격계 수술 및 하지 골절 이력이 있거나, 하지의 신경병증 및 최근 3개월 이내에 발목 염좌 이외의 다른 급성 근골격계 손상이 있는 경우는 연구 대상에서 제외하였다.

2. 연구 절차

선정된 대상자들은 측정으로 인한 피로의 영향을 최소화하고자 검사 간의 상호 영향을 줄이기 위해 검사 종목 간 최소 2분 이상의 휴식 시간을 부여하였으며, 발의 안정성과 정적 형태를 평가하는 검사에서, 동적 균형 및 기능적 체력을 평가하는 검사 순으로 진행하였다. 이 연구에서는 발배뼈 하강 검사, 후족부 정렬 평가, 발등굽힘 가동범위 평가, Star excursion Balance test (SEBT), Y-balance test (YBT) 순으로 측정을 진행한 후, Maitland Grade IV 관절가동술을 적용하였으며, 관절가동술 종료 이후, 즉각적인 효과를 파악하고자 상기한 7가지 항목을 재측정한 후, 대상자에게 데이터의 변화값에 대한 설명을 실시한 후, 실험을 종료하였다. 이 연구의 전반적인 실험 절차에 대해 <Table 1>에 기재하였다.

Table 1. Experiment procedures

No.	Measurement & treatment
1	Inform consent form & FAAM-ADL, FAAM-S questionnaires
2	Measurements before mobilization 1. Navicular drop test 2. Standing rearfoot angle 3. Active ankle dorsiflexion range of motion 4. Star excursion balance test 5. Y-balance test
3	Maitland Grade IV joint mobilization
4	Measurement after mobilization 1. Navicular drop test 2. Standing rearfoot angle 3. Active ankle dorsiflexion range of motion 4. Star excursion balance test 5. Y-balance test
5	End of experiment, analysis of effects, and provision of feedback

3. 측정 항목

1) 발배뼈 하강 검사(navicular drop test)

대상자는 편하게 서 있는 상태에서, 측정자는 대상자의 발 내측을 촉진하여 발배뼈의 가장 돌출된 부위(navicular tuberosity)를 찾아 피부에 표시하였으며, 그 상태에서 지면에서 발배뼈 돌출부까지의 높이를 자를 활용하여 mm 단위로 기록하였다. 이후, 측정자는 대상자의 양 발에 체중을 균등하게 나누어 실은 중립 자세(neutral position of weight bearing)를 찾기 위해 발목의 내, 외측(talar dome)을 둘러서 촉진한 후, 양쪽이 동일한 강도로 촉진될 때가지 대상자의 목말밑관절을 움직이게 하였다(Shultz, Nguyen & Levine, 2009). 중립 자세를 찾으면, 측정자는 촉진을 멈추고, 바로 지면에서 발배뼈 돌출부까지의 높이를 기록하였다. 이후, 두 기록의 차이를 구하여 기록하였으며, 값이 클수록 발이 회내된 형태를 띠기 때문에 아치가 과도하게 하강된 평발의 징후라고 평가하였다.

2) 후족부 정렬(standing rearfoot angle) 평가

대상자는 평평한 바닥에 자연스럽게 서 있게 한 상태에서 측정자는 후족부의 정렬을 평가하였다. 측정자는 각도계(goniometer)를 사용하여 축(vertex)은 아킬레스건과 근접한 발뒤꿈치뼈(calcaneus)의 후면에 위치하고, 고정된 팔(stationary arm)은 장딴지근(gastrocnemius)의 양 갈래 사이로 향하게 하여 하퇴골과 평행하게 하였으며, 움직이는 팔(moving arm)은 발뒤꿈치뼈와 평행하게 위치하였다. 이후 발의 내반

(varus) 또는 외반(valgus) 정도를 측정하여 도(°) 단위로 기록하였다.

3) 발등굽힘(ankle dorsiflexion) 가동범위 평가

대상자는 복부를 댄 상태로 엎드린 후(prone) 무릎을 90도 구부려 정강이뼈(tibia)와 발 사이 각을 90도로 하였다(Figure 1). 이후 측정자는 각도계(goniometer)를 사용하여 축(vertex)은 발목의 외복사뼈(lateral malleolus)에 위치하고, 고정된 팔은(stationary arm) 발뒤꿈치뼈와 평행하게, 움직이는 팔(moving arm)은 종아리뼈머리(fibula head)로 향하게 하여 하퇴 옆면과 평행하게 위치하였다. 이후 대상자의 발목을 최대한 발등굽힘 하게 하여 능동적 가동범위(active range of motion)를 도(°) 단위로 기록하였다.

Figure 1. Navicular drop test (left), standing rearfoot angle (middle), and measuring dorsiflexion range of motion

4) Star excursion balance test (SEBT)

대상자의 동적 균형 능력을 평가하기 위해 SEBT 검사를 실시하였다. 측정자는 C-tape를 이용해 45도 각도로 8방향(앞쪽, 앞-외측, 외측, 뒤-외측, 뒤쪽, 뒤-내측, 내측, 앞-내측)을 표시하고, 지지발(stance leg)의 위치를 명확히 하였다(Figure 2).

검사 전, 다리 길이에 따른 기록 차이를 보정하기 위해 환측 다리 길이를 측정하였다. 대상자는 바로 누운 자세에서 무릎을 굽혔다가 펴 정렬을 맞춘 후, 줄자로 전상장골극(anterior superior iliac spine, ASIS)에서 내측 복사뼈까지의 거리를 측정하였다. 검사 시 대상자는 양손을 허리에 두고 지지발을 고정한 채, 반대쪽 발을 가능한 멀리 뻗어 표시된 테이프를 가볍게 디딘 후 원래 위치로 돌아오도록 하였다. 발끝이 닿은 지점을 표시하고, 중심점부터 해당 지점까지의 거리를 cm 단위로 기록하였다. 각 방향별로 3회씩 측정했으며, 균형을 잃거나 중심점에서 발이 떨어질 경우는 무효 처리 후 재측정하였다. 최종 측정값은 각 방향의 평균 도달 거리(cm)이며, 다리 길이를 보정한 상대적 도달 거리(%)는 평균 도달 거리를 다리 길이로 나눈 후 100을 곱하여 산출하였다.

5) Y-balance test (YBT)

대상자의 동적 균형 감각 및 상호 보완적 역할을 수행하기 위해서 추가적으로 FMS사의 Y-balance test kit를 활용한 동적 균형 능력 검사를 실시하였다. 측정은 서 있는 다리(stance leg)를 기준으로 앞쪽 3회, 뒤-내측 3회, 뒤-외측 3회를 각각 실시하였으며 각 방향별로 최대 도달 거리를 cm 단위로 기록하였다. 발판을 관성의 힘으로 차거나, 검사 도중 과도하게 균형을 잃거나, 발이 닿은 경우 기록으로 인정하지 않았다. 이후 각 방향별 최대 측정값을 다리 길이로 나눈 값에 100을 곱한 표준화 값을 자료 분석에 활용하였으며, 총 합산 점수(composite score)를 3방향 도달 거리의 합 ÷ (다리 길이 ×3) ×100 공식을 활용하여 계산하였다.

Figure 2. Star excursion balance test (left), Y-balance test (right)

Figure 3. Maitland Grade IV talocrural joint mobilization

4. 목말종아리관절 가동술 적용 방법

측정을 마친 후, 이 연구에서는 스포츠의학 관련 전공 교육을 2년 이상 수료하고, 해당 임상 경력을 2년 이상 갖춘 임상전문가를 통해 Maitland Grade IV 진동형 관절 가동술을 실시하였으며, 대상자의 목말뼈를 뒤쪽으로 활주(posterior talar glide)하는 방법을 활용하여 발등굽힘 가동범위를 향상시키는 것을 목표로 진행하였다(Figure 3). 구체적으로, 대상자에게 무릎을 뻗은 상태로 베드에 앉아 발목은 중립 상태에서 약간의 발바닥 굴곡 상태를 유지하도록 하여 목말뼈의 전방 전위를 유도하였으며, 가동술 실시자는 한 손으로 하퇴의 원위부 아래를 고정한 후, 다른 손을 C자로 오므려 내측과 외측 복사뼈 아래의 목말뼈 앞쪽을 촉진하여 고정하였으며, 이 상태에서 목말뼈를 뒤쪽으로 활주시키는 가동술을 수행하였다. 관절가동술은 60초 동안 3세트에 걸쳐 진행되었으며, 각 세트 간 1분의 휴식 시간을 두었다. Maitland Grade IV 가이드에 따라, 가동술은 낮은 진폭으로, 관절의 생리학적인 가동범위의 끝 부분에서 1초 간격으로 규칙적이고 리드미컬한 진동형 움직임을 반복 수행하였다.

5. 자료분석 방법

연구대상자의 신장, 체중, 연령을 포함한 일반적 특성과, 측정 변인 값에 대한 기술통계량 분석을 실시하였으며, 평균과

Table 2. Characteristics of participants

	CAI (n=10)	Control (n=11)	
Man	6	6	
Woman	4	5	
Baseline	Mean ± SD		*t* (*p*)
Age	20.80±1.39	19.55±0.68	2.649 (.016)
Height (cm)	171.70±9.51	173.18±6.98	-0.41 (.687)
Weight (kg)	73.50±14.58	65.64±12.90	1.311 (.205)
Leg length (cm)	89.27±5.043	89.27±5.67	-0.158 (.876)
SRA	-4.20±5.30	-6.10±2.13	1.050 (.315)
DFROM	18.90±8.21	15.00±7.16	1.162 (.260)
ND	0.92±0.30	0.78±0.38	0.883 (.389)
SEBT1	78.25±7.02	74.15±7.23	1.316 (.204)
SEBT2	84.94±6.96	79.78±8.07	1.561 (.135)
SEBT3	91.86±10.80	90.14±9.94	0.381 (.708)
SEBT4	98.44±5.29	103.01±10.61	-1.116 (.280)
SEBT5	105.74±9.49	102.99±15.93	0.474 (.641)
SEBT6	101.75±7.80	96.54±17.52	0.864 (.398)
SEBT7	84.82±14.30	87.23±13.72	0.173 (.864)
SEBT8	63.20±18.92	73.91±10.92	-2.432 (.037)*
YBT1	77.51±12.06	78.56±7.49	-0.242 (0.811)
YBT2	100.50±10.05	96.30±9.05	1.008 (.326)
YBT3	100.83±5.81	105.36±2.51	-2.020 (.072)
YBT composite	92.46±4.47	91.62±6.84	0.315 (.756)

SD, standard deviation; CAI, chronic ankle instability; SRA, standing rearfoot angle; DFROM, dorsiflexion range of motion; ND, navicular drop; SEBT, star excursion balance test; YBT: Y-balance test, *p < .05

표준편차 값을 산출하였다. 이후, 목말종아리관절 가동술을 적용하여 만성발목 불안정성 그룹과 대조군 그룹 내 처치 후 변화량을 검증하고자 대응표본 *t* 검정(paired *t*-test)을 실시하였으며 그룹 간 변화량의 차이 비교를 위해 독립표본 *t* 검정(independent *t*-test)을 시행하였으며, 변화량의 정규성 검증을 위해 Kolmogorov-Smirnov 및 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다. 자료처리 과정에서 SPSS 28.0 소프트웨어(IBM Corp. Armonk, NY)를 활용하였으며, 모든 자료의 통계적 유의수준은 p=.05로 설정하였다.

RESULTS

연구대상자의 일반적 신체 특성에 대해 <Table 2>에 나와 있다. 아울러, 각 연구 변인의 변화량에 대한 정규성 검정 결과는 <Table 3>과 같다.

만성발목 불안정성 그룹과 대조군별로 관절가동술 전, 후 변화량을 비교한 결과, 만성발목 불안정성 그룹과 대조군 모두 발목 발등굽힘 가동범위, SEBT5, 6에서 유의한 개선이 있었으며(p < .05), 이외에 SBT4, 7은 만성발목 불안정성 그룹에

Table 3. Normality test for the pre-post variation of the variables

Variables	CAI				Control			
	Kolmogorov -Smirnov		Shapiro-Wilk		Kolmogorov -Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Statistic	*p*	Statistic	*p*	Statistic	*p*	Statistic	*p*
SRA	0.181	.200	0.909	.275	0.264	.149	0.887	.262
DFROM	0.267	.042*	0.902	.233	0.198	.200	0.896	.166
ND	0.150	.200	0.954	.736	0.174	.200	0.934	.455
SEBT1	0.144	.200	0.971	.897	0.150	.200	0.937	.491
SEBT2	0.150	.200	0.948	.641	0.188	.200	0.910	.241
SEBT3	0.225	.163	0.915	.320	0.147	.200	0.981	.969
SEBT4	0.194	.200	0.889	.227	0.223	.200	0.935	.563
SEBT5	0.203	.200	0.926	.414	0.101	.200	0.985	.988
SEBT6	0.143	.200	0.952	.697	0.175	.200	0.947	.609
SEBT7	0.144	.200	0.956	.743	0.120	.200	0.979	.961
SEBT8	0.161	.200	0.912	.293	0.245	.200	0.915	.468
YBT1	0.185	.200	0.963	.842	0.200	.200	0.883	.115
YBT2	0.156	.200	0.924	.425	0.217	.198	0.791	.011*
YBT3	0.158	.200	0.974	.928	0.182	.200	0.942	.635
YBT_Total	0.200	.200	0.929	.503	0.277	.168	0.861	.193

CAI, chronic ankle instability; SRA, standing rearfoot angle; DFROM, dorsiflexion range of motion; ND, navicular drop; SEBT, star excursion balance test; YBT: Y-balance test
*p < .05

Table 4. Comparison of changes within each group before and after application of joint mobilization

Variables	CAI				Control			
	Mean	SD	*t*	*p*	Mean	SD	*t*	*p*
SRA	0.5	2.46	0.643	.537	0.571	1.134	1.333	.231
DFROM	3.9	5.34	2.308	.046	2.545	2.77	3.048	.012*

Table 4. Comparison of changes within each group before and after application of joint mobilization (Continued)

Variables	CAI				Control			
	Mean	SD	*t*	*p*	Mean	SD	*t*	*p*
ND	-0.12	0.23	-1.537	.163	-0.064	0.383	-0.551	.594
SEBT1	-0.09	4.32	-0.072	.944	4.474	4.04	3.673	.004*
SEBT2	0.96	4.74	0.641	.537	4.353	6.341	2.276	.046*
SEBT3	1.90	7.23	0.831	.428	3.736	5.781	2.044	.071
SEBT4	2.61	2.75	2.688	.031	2.289	10.038	0.645	.539
SEBT5	5.24	6.42	2.581	.03	9.729	10.734	3.006	.013*
SEBT6	6.12	7.14	2.71	.024	8.58	10.256	2.775	.02*
SEBT7	8.79	8.48	3.278	.01	5.361	9.22	1.929	.083
SEBT8	2.43	10.26	0.75	.472	1.972	6.523	0.741	.492
YBT1	-0.46	3.08	-0.427	.682	4.96	4.544	3.62	.005**
YBT2	3.77	5.84	1.935	.089	5.432	5.923	2.9	.018*
YBT3	1.60	2.62	1.619	.157	-0.821	4.762	-0.488	.641
YBT_composite	1.52	2.28	1.882	.102	3.611	4.227	2.092	.091

CAI, chronic ankle instability; SRA, standing rearfoot angle; DFROM, dorsiflexion range of motion; ND, navicular drop; SEBT, star excursion balance test; YBT: Y-balance test
*$p < .05$, **$p < .01$

Table 5. Comparison of changes between groups before and after joint mobilization

Variable	CAI (n=10)		Control (n=10)		*t*	*p*
	Mean	SD	Mean	SD		
SRA	0.50	2.46	0.57	1.13	-0.071	.944
DFROM	3.90	5.34	2.54	2.77	0.74	.468
ND	-0.12	0.23	-0.01	0.38	-0.399	.695
SEBT1	-0.09	4.32	4.47	4.04	-2.504*	.022
SEBT2	0.96	4.74	4.35	6.34	-1.375	.185
SEBT3	1.90	7.23	3.73	5.78	-0.626	.539
SEBT4	2.61	2.75	2.29	10.03	0.089	.93
SEBT5	5.24	6.42	9.72	10.73	-1.146	.266
SEBT6	6.12	7.14	8.58	10.25	-0.63	.537
SEBT7	8.79	8.48	5.36	9.22	0.886	.387
SEBT8	2.43	10.26	1.97	6.52	0.099	.923

CAI, chronic ankle instability; SRA, standing rearfoot angle; DFROM, dorsiflexion range of motion; ND, navicular drop; SEBT, star excursion balance test
*$p < .05$

서만 유의하게 개선되었고, SEBT1, 2 그리고 YBT1은 대조군에서만 유의하게 개선되었다(p < .05). 이에 대한 결과가 <Table 4>에 나와 있다. 다음으로, 그룹 간 관절가동술 전, 후 변화량의 차이를 검증한 결과 만성발목 불안정성 그룹에 비해 대조군에서 SEBT1과 YBT1이 유의한 수준으로 개선되었다(p < .05). 이에 대한 결과는 다음과 같다(Table 5).

Table 2는 대상자의 일반적 특성을 보여준다

Table 3는 정규성 검정 결과이며, 대부분의 변수에서 정규성이 충족되었음을 보여준다.

Table 4는 그룹 내 변화 및 그룹 간 차이를 보여준다.

Table 5는 그룹 내 변화 및 그룹 간 차이를 보여준다.

DISCUSSION

본 연구에서는 Maitland Grade IV를 적용하여 목말종아리관절에서 목말뼈를 후방으로 활주시키는 기법을 통해 즉각적인 효과를 검증하였다. 그 결과, 만성발목 불안정성과 대조군 모두 발등굽힘 범위에서 유의미한 개선이 나타났다. Maitland 분류에 따라 Grade I, II는 통증 감소를 목표로, Grade III와 IV는 관절 가동범위의 증가를 목표로 하는데(Maitland, 1978), 정강뼈를 기준으로 목말뼈를 후방으로 활주하는 가동술은 목말뼈의 아탈구를 교정하고 후방 활주 제한을 해소하여 발등굽힘 가동성을 증가시키는 기전이 잘 알려져 있다(Denegar & Miller III, 2002; Mulligan, 1999). 이러한 가동술은 발목 염좌가 재발하거나(Vicenzino, Branjerdporn, Teys & Jordan, 2006), 발목골절로 오랫동안 고정된 환자에게도 효과가 나타나며(Wilson, 1991), 또한 아급성 발목 염좌 환자에게도 발등굽힘이 개선되는 효과가 있다(Collins, Teys & Vicenzino, 2004). 본 연구에서는 만성발목 불안정성 그룹에서 3.9도, 대조군에서 약 2.5도의 즉각적인 개선이 나타나 임상적으로 유의미한 결과를 도출하였다.

본 연구에서 적용한 Maitland Grade IV 관절 가동술은 관절의 끝 범위에서 수행되므로 Type III 기계수용기(Golgi tendon-like ending mechanoreceptor)를 활성화하며(McKeon & Wikstrom, 2016), 발목 상해로 인한 과긴장을 조절하고, 근-협응을 향상시키는 것으로 판단된다. 그러나 발등굽힘 가동범위는 개선되었음에도 불구하고, 전방 동적 안정성은 대조군에서만 유의미하게 증가하였으며, 만성발목 불안정성 그룹에서는 개선 효과가 나타나지 않았다. 동적 자세 안정성 개선을 목표로 할 경우, 전방으로 체중을 싣는 런지 동작이 포함된 Mulligan 방법이 더 효과적이라는 연구 결과가 있으며(Vallandingham et al., 2019), 이는 본 연구에서 적용한 Maitland Grade IV 가동술이 만성발목 불안정성 그룹의 전방 균형을 개선하기에는 한계가 있음을 시사한다. 따라서, 대조군은 상대적으로 우수한 고유수용 감각과 근-협응 기능이 활성화되어, 앞정강근의 근 활성도가 증가하면서 발목 주변의 근신경 조절이 향상되었고, 그 결과 전방 동적 안정성이 개선된 것으로 보여지지만, 근전도, 심전도, 기능적 자기공명영상 등을 활용한 생리학적 평가가 후속 연구에서 필요하다.

Maitland Grade IV 방식은 작은 진폭의 규칙적인 움직임으로 관절의 끝 범위에 반복 적용되어, 기계수용기와 고유수용성 감각 및 신경근 조절을 개선하는 데 기여한다(Hertel, 2002; Kim & Jang, 2023; Martin et al., 2021; Yin, Yu, Wang & Sun, 2022). 후속 연구에서는 목말뼈를 전방 활주하거나 체중 부하 상황에서의 가동술 적용이 만성발목 불안정성 환자의 전방 동적 균형 능력 향상에 미치는 영향을 검토할 필요가 있으며, 연구 대상에 정상인까지 추가하여 연구할 가치가 있다. 아울러, SRA (standing rearfoot angle), ND (navicular drop), SEBT3 (오른발기준 lateral), YBT3(오른발기준 posteromedial), YBT 총점 기록에서는 유의미한 변화가 없었으며, 따라서 Maitland Grade IV의 즉각적인 효과가 발의 정적 정렬 상태나 고강도 운동 수행 능력에 변화를 일으키기에는 어려움이 있다는 점이 드러났다. 본 연구에서는 만성발목 불안정성 대상자의 평균 초기값이 -4.20°로 회외된 상태였기 때문에, Maitland Grade IV 적용 후에도 정상 정렬로 즉각적인 회복이 어려웠을 가능성이 있다. 만성발목 불안정성 대상자는 후족부 보상 전략이 장기간 고착화되어 있어(Hertel, 2002; Hertel & Corbett, 2019), 단기적인 가동술로는 구조적인 변화가 제한적일 수 있다고 판단된다.

그리고, 이 연구는 관절가동술의 장기적인 변화를 고려하지 않았으며, 연구 대상이 20대 성인으로 한정되어 있어 연령, 성별, 활동 수준에 따른 차이를 반영하기 어려웠다. 따라서, 고령자나 운동선수와 같은 집단에서의 적용 가능성을 검증하는 후속 연구가 필요하다. 또한, 이 연구는 목말종아리관절에서 목말뼈 후방 가동술만을 적용하여 즉각적인 효과를 검증했지만, 전방 및 측면 활주, 목말밑관절 가동술과의 비교 분석을 하지 못하였다. 후속 연구에서는 근전도(EMG), 모션캡처 분석, 초음파 영상 등을 활용한 신경근 조절 및 구조적 변화의 직접적인 측정을 진행할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고, 이 연구는 Maitland Grade IV 관절 가동술이 만성발목 불안정성 환자와 정상인 모두에서 발목 가동성과 균형 능력을 단기간 내 개선할 수 있음을 확인하였다. 특히, 정상인에서는 근신경 조절 기능이 더 효과적으로 활성화되어 전방 동적 안정성이 크게 향상되었음을 보였다는 점에서 임상적 의의가 있다.

CONCLUSION

본 연구는 Maitland Grade IV 중 목말뼈 후방 활주 관절가동술 방법이 발목 가동범위 증가와 균형 능력 향상에 미치는

영향을 검증하였으며, 만성발목 불안정성 환자와 정상인 모두에서 발등굽힘 가동범위가 증가하고, 특정 균형 지표(SEBT, YBT)가 개선됨을 확인하였다. 특히, 정상인 대조군에서는 전방 동적 안정성(SEBT1, YBT1)이 만성발목 불안정성 그룹보다 더 크게 향상되었으며, 만성발목 불안정성 그룹에서는 후외측(posteriolateral) 및 내측(medial) 방향 위주로 균형 능력이 유의하게 개선되었다. 이는 정상인에 비해 만성발목 불안정성 환자는 전방 균형 향상 폭이 제한적이었으며, 이는 장기간의 보상 움직임 고착 때문으로 판단된다. 따라서, 반복 중재에 따른 장기적 효과나 다양한 방향의 가동술 적용 방안을 탐색하는 후속 연구가 필요하다.

REFERENCES

Beynnon, B. D., Murphy, D. F. & Alosa, D. M. (2002). Predictive factors for lateral ankle sprains: a literature review. *Journal of Athletic Training*, *37*(4), 376-380.

Collins, N., Teys, P. & Vicenzino, B. (2004). The initial effects of a Mulligan's mobilization with movement technique on dorsiflexion and pain in subacute ankle sprains. *Manual Therapy*, *9*(2), 77-82.

Cote, K. P., Brunet, M. E., 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.

Denegar, C. R. & Miller III, S. J. (2002). Can chronic ankle instability be prevented? Rethinking management of lateral ankle sprains. *Journal of Athletic Training*, *37*(4), 430-435.

Docherty, C. L., Moore, J. H. & Arnold, B. L. (1998). Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles. *Journal of Athletic Training*, *33*(4), 310-314.

Drewes, L. K., McKeon, P. O., Paolini, G., Riley, P., Kerrigan, D. C., Ingersoll, C. D. & Hertel, J. (2009). Altered ankle kinematics and shank-rear-foot coupling in those with chronic ankle instability. *Journal of Sport Rehabilitation*, *18*(3), 375-388.

Gribble, P. A., Delahunt, E., Bleakley, C., Caulfield, B., Docherty, C., Fourchet, F., Fong, D., Hertel, J., Hiller, C., Kaminski, T., McKeon, 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.

Gribble, P. A., Hertel, J. & Plisky, P. (2012). Using the star excursion balance test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, *47*(3), 339-357.

Grindstaff, T. L., Dolan, N. & Morton, S. K. (2017). Ankle dorsiflexion range of motion influences lateral step down test scores in individuals with chronic ankle instability. *Physical Therapy in Sport*, *23*, 75-81.

Harkey, M., McLeod, M., Van Scoit, A., Terada, M., Tevald, M., Gribble, P. & Pietrosimone, B. (2014). The immediate effects of an anterior-to-posterior talar mobilization on neural excitability, dorsiflexion range of motion, and dynamic balance in patients with chronic ankle instability. *Journal of Sport Rehabilitation*, *23*(4), 351-359.

Health Insurance Review & Assessment Service (HIRA). (2024). National Disease Statistics of Public Interest. Healthcare Big Data Open System. https://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapMfrnIntrsIlnsInfoTab3.do

Hertel, J. (2002). Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *37*(4), 364-375.

Hertel, J. & Corbett, R. O. (2019). An updated model of chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *54*(6), 572-588.

Hintermann, B., Boss, A. & Schäfer, D. (2002). Arthroscopic findings in patients with chronic ankle instability. *The American Journal of Sports Medicine*, *30*(3), 402-409.

Hoch, M. C. & McKeon, P. O. (2011). Joint mobilization improves spatiotemporal postural control and range of motion in those with chronic ankle instability. *Journal of Orthopaedic Research*, *29*(3), 326-332.

Hoch, M. C., Farwell, K. E., Gaven, S. L. & Weinhandl, J. T. (2015). Weight-bearing dorsiflexion range of motion and landing biomechanics in individuals with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *50*(8), 833-839.

Hoch, M. C., Staton, G. S. & McKeon, P. O. (2011). Dorsiflexion range of motion significantly influences dynamic balance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *14*(1), 90-92.

Houston, 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.

Kannus, V. (1992). Evaluation of abnormal biomechanics of the foot and ankle in athletes. *British Journal of Sports Medicine*, *26*(2), 83-89.

Kim, B. H., Kim, C. Y., Kang, T. K., Cho, Y. J. & Lee, S. Y. (2018). Immediate effects of joint mobilization techniques on clinical measures in individuals with CAI. *Korean Journal*

of Applied Biomechanics, *28*(4), 219-225.

Kim, S. & Jang, S. (2023). Immediate effects of ankle mobilization on range of motion, balance, and muscle activity in elderly individuals with chronic ankle instability: A pre-post intervention study. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, *29*, e941398-1-e941398-13.

Lee, I. J., Jeong, H. S., Kim, M. J., Jeon, H. G. & Lee, S. Y. (2021). Alterations of muscle activation in individuals with chronic ankle instability during gait. *The Korea Journal of Sports Sciences*, *30*(3), 1123-1131.

Lundgren, P., Nester, C., Liu, A., Arndt, A., Jones, R., Stacoff, A., Wolf, P. & Lundberg, A. (2008). Invasive in vivo measurement of rear-, mid-and forefoot motion during walking. *Gait & Posture*, *28*(1), 93-100.

Martin, R. L., Davenport, T. E., Fraser, J. J., Sawdon-Bea, J., Carcia, C. R., Carroll, L. A., Benjamin, R. K. & Carreira, D. (2021). Ankle stability and movement coordination impairments: lateral ankle ligament sprains revision 2021: clinical practice guidelines linked to the international classification of functioning, disability and health from the academy of orthopaedic physical therapy of the American physical therapy association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *51*(4), CPG1-CPG80.

Maitland, G. D. (1978). Peripheral Manipulation. London, UK: Butterworths.

McKeon, P. O. & Wikstrom, E. A. (2016). Sensory-targeted ankle rehabilitation strategies for chronic ankle instability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(5), 776-784.

Menz, H. B. (1998). Alternative techniques for the clinical assessment of foot pronation. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *88*(3), 119-129.

Mulligan, B. R. (1999). Manual therapy "NAGS," "SNAGS," "MWMS," etc. 4th ed. Wellington, NZ: Plane View Services.

Munn, J., Sullivan, S. J. & Schneiders, A. G. (2010). Evidence of sensorimotor deficits in functional ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *13*(1), 2-12.

Shultz, S. J., Nguyen, A. D. & Levine, B. J. (2009). The relationship between lower extremity alignment characteristics and anterior knee joint laxity. *Sports Health*, *1*(1), 54-60.

Valderrabano, V., Horisberger, M., Russell, I., Dougall, H. & Hintermann, B. (2009). Etiology of ankle osteoarthritis. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, *467*(7), 1800-1806.

Vallandingham, R. A., Gaven, S. L. & Powden, C. J. (2019). Changes in dorsiflexion and dynamic postural control after mobilizations in individuals with chronic ankle instability: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Athletic Training*, *54*(4), 403-417.

van Rijn, R. M., Van Os, A. G., Bernsen, R. M., Luijsterburg, P. A., Koes, B. W. & Bierma-Zeinstra, S. M. (2008). What is the clinical course of acute ankle sprains? A systematic literature review. *The American Journal of Medicine*, *121*(4), 324-331, e327.

Vicenzino, B., Branjerdporn, M., Teys, P. & Jordan, K. (2006). Initial changes in posterior talar glide and dorsiflexion of the ankle after mobilization with movement in individuals with recurrent ankle sprain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *36*(7), 464-471.

Waterman, B. R., Belmont, P. J., Cameron, K. L., DeBerardino, T. M. & Owens, B. D. (2010). Epidemiology of ankle sprain at the United States Military Academy. *The American Journal of Sports Medicine*, *38*(4), 797-803.

Wikstrom, E. A. & Hubbard, T. J. (2010). Talar positional fault in persons with chronic ankle instability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *91*(8), 1267-1271.

Willems, T. M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Mahieu, N., De Bourdeaudhuij, L. & De Clercq, D. (2005). Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in male subjects: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, *33*(3), 415-423.

Wilson, F. M. (1991). Manual therapy versus traditional exercises in mobilisation of the ankle post-ankle fracture: a pilot study. *New Zealand Journal of Physiotherapy*, *19*, 11-16.

Yin, Y., Yu, Z., Wang, J. & Sun, J. (2022). Effectiveness of the rehabilitation training combined with maitland mobilization for the treatment of chronic ankle instability: A randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(22), 15328.