종아리근 단축 대상자에게 목말뼈 후방활주 테이핑을 이용한 관절가동술 적용과 근막이완기법의 적용이 동적 균형의 운동학적 변화에 미치는 영향

서민아¹, 정규나¹, 김유진¹, 이유진¹, 황영인^{1,2}

¹호서대학교 생명보건대학 물리치료학과, ²호서대학교 스마트 헬스케어 융복합 연구센터

Effects of Mobilization With Movement Using Posterior Talus Glide Taping Added Myofascial Release on Kinematic Data of Dynamic Balance in Individuals With Calf Shortening

Min-A Seo¹, Kyu-Na Jeong¹, Yu-Jin Kim¹, Yu-Jin Lee¹, Young-In Hwang^{1,2}, PT, PhD

¹Department of Physical Therapy, College of Life and Health Science, Hoseo University, ²Smart Healthcare Convergence Research Center, Hoseo University, Asan, Korea

Article Info

Received January 6, 2022
Revised January 20, 2022
Accepted January 22, 2022

Corresponding Author

Young-In Hwang
E-mail: young123@hoseo.edu
<https://orcid.org/0000-0002-7314-1678>

Key Words

Ankle limitation
Dynamic balance
Myofascial release

Background: Individuals with calf muscle shortening may have decreased dynamic balance.

Objects: This study aimed to investigate the effect of mobilization with movement (MWM) and myofascial release (MFR) on kinematic changes in dynamic balance in individuals with calf muscle shortening.

Methods: Thirteen participants were randomly assigned to the MWM or the mobilization with movement added myofascial release (MWM-MFR) group. The MWM group received treatment with only MWM, whereas the MWM-MFR group was treated with MWM and MFR. Pre- and post-intervention passive range of motion (PROM), maximum reaching lengths, and modified star excursion balance test (MSEBT) results were compared for all participants. Wilcoxon signed-rank test and Mann-Whitney U test were used for statistical analysis.

Results: The results showed significant within-group differences in ankle PROM, but no significant between-group differences. The maximum reaching length in the MWM-MFR group in the posterolateral direction was significantly different before and after the intervention ($p = 0.005$). This group also showed significantly reduced ankle abduction in MSEBT during the posteromedial direction section 3 ($p = 0.007$) and posterolateral direction section 5 ($p = 0.049$) compared with the MWM group.

Conclusion: Combined MWM and MFR intervention improves ankle stability in the coronal plane during the posteromedial and posterolateral forward movement in dynamic balance compared with only MWM in individuals with calf shortening.

INTRODUCTION

발은 신체의 체중을 지지하며 보행을 하고 균형을 잡는데 매우 중요하다. 이러한 균형은 자신에게 주어진 환경에서 지지하는 기저면 내에 중력 중심을 유지하는 능력으로[1], 신체의 안정성과 독립성을 위해 필요하다. 발목 관절에 문제가 생기면 신체 움직임 및 자세 안정성과 관

련이 될 수 있으며 정도의 심각성과 연령에 따라 삶의 질에 영향을 줄 수 있다[2]. 만성 발목 관절의 불안정성은 관절의 기계적 불안정성이 있거나 또는 없는 상태에서도 반복적인 염좌가 발생하는 특징이 있으며 [3,4] 이로 인해 체중의 움직임이 어려워져 보행 패턴의 변화가 발생한다[5].

이러한 발목 관절의 불안정성의 원인으로는 흔히 발목 염좌, 무릎 과

신전(genu recurvatum), 종아리 근육의 단축 등이 있는데[6], 이러한 원인 중에서도 종아리 근육이 단축되면 발의 과도한 엽침(foot pronation)과 발등 굽힘(ankle dorsiflexion)의 관절가동범위의 감소를 유발하며 이는 통증을 유발시킬 수 있다[7]. 발목 발등 굽힘의 감소는 무릎 손상, 발목 손상과 같은 심각한 임상적인 손상을 일으키며 보행과 지면 닿기 같은 동적인 활동을 수행 시 발목의 안정적인 자세를 제한하는 것으로 나타난다[8].

종아리 근육은 신체의 균형을 잡는데 필요한 일련의 탄성 성분을 통해 장력을 생성한다[9]. 이로 인해 몸이 앞으로 천천히 움직이면서 종아리 근육이 늘어나면서 점성 증가를 자극하여 몸의 균형과 안정성을 제공한다[9]. 두 발로 서 있거나 한발 지지 시 균형을 유지하는데 사용되는 종아리 근육으로는 가자미근(soleus)과 장딴지근(gastrocnemius)이 있으며, 이러한 근육이 활성화되면 균형 능력이 향상되는 것으로 나타났다[10]. 발목 관절의 움직임은 가자미근과 장딴지근의 교대적인 활성으로 이루어져 있으며[10], 종아리 근육(calf muscles)과 근막은 발목 관절의 동적 안정성과 발바닥 굽힘(ankle plantar flexion) 및 전방 이동(forward movement)을 촉진하며 서 있는 동안 발목 관절이 앞으로 넘어가는 것을 제지하는 역할을 한다[11].

이러한 발목의 통증과 운동범위를 개선하기 위한 수단의 하나로 테이핑을 이용한 발목 관절의 개선된 관절가동범(mobilization with movement, MWM)이 발목 염좌와 같은 근골격계 치료에 주로 사용된다[12]. 발목 관절의 MWM은 목말뼈 후방활주(posterior talus glide)와 능동적인 발목 발등 굽힘 운동에 효과가 있으며[13], MWM에 의한 발목 발등 굽힘의 관절가동범위의 회복은 종아리 근육인 장딴지근의 유연성을 활성화시키며 근 활동을 변화시킬 수 있다고 보고된 바 있다[14]. 이와 더불어 종아리 근육을 이완시켜 발목 굽힘의 각도를 증가시키는 데 효과가 있는 치료방법의 하나로 근막이완기법(myofascial

release, MFR)이 있다[15]. MFR은 최적의 길이를 복원하고 통증을 줄이며 기능을 개선하기 위한 기법으로 근막 복합체에 저부하, 장기간 스트레칭을 수동적으로 적용하는 방법이다[16]. 이러한 기법을 적용하였을 때 신체의 관절가동범위 및 근육의 기능을 증가시키는 것으로 보고된 바 있으며[17], 이러한 MFR 적용을 다른 치료 방법과 병행 시 더 효과적인 치료가 될 수 있다[18].

그러므로 본 연구에서는 종아리 근육 단축으로 인해 발목 발등 굽힘의 제한이 있는 사람들에게 비탄력적인 후방활주 테이핑을 하고 MWM 그룹과 MWM에 MFR을 동반한(mobilization with movement added myofascial release, MWM-MFR) 그룹을 비교하여 발목 발등 굽힘의 수동 관절가동범위(passive range of motion, PROM) 및 동적 균형에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해 알아보고자 하였다. 본 연구에서는 IBM SPSS Statistics 20.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 사용하여 그룹 내 변화를 알아보기 위해 Wilcoxon signed-rank test를 사용하였고, 그룹 간 변화를 알아보기 위해 Mann-Whitney U test를 사용하였으며, 유의수준 α 값은 0.05 미만으로 설정하였다.

본 연구의 가설은 다음과 같다. MWM-MFR 그룹이 MWM 그룹에 비해 발목 관절의 PROM이 더 많이 증가될 것으로 예상된다. MWM-MFR 그룹이 MWM 그룹에 비해 modified star excursion balance test (MSEBT) 시 최대 뻗침 길이(maximal reaching lengths)가 증가될 것으로 보인다. MWM-MFR 그룹이 MWM 그룹에 비해 MSEBT 시 발목 관절의 움직임에 유의한 변화가 있을 것이다.

MATERIALS AND METHODS

1. 연구대상

스크리닝 테스트를 하기 위해 자발적으로 참여한 연구대상자는 총

Figure 1. Flow chart of the study. PROM, passive range of motion; MSEBT, modified star excursion balance test; MWM, mobilization with movement; MWM-MFR, mobilization with movement added myofascial release; MFR, myofascial release.

40명이었으며, 이 중 종아리근 단축이 있는 자(calf shortening)를 선별하여 30명이 선정되었다. 본 연구의 선정 기준은 다음과 같다. (a) 20세 이상 건강한 성인인 자, (b) 체중 지지를 하지 않고 무릎을 편 상태에서 수동 발목발등굽힘 관절가동범위(ankle dorsiflexion PROM)가 8도 미만인 자, (c) 무릎을 편 상태에서 목발뼈 밑 중립 자세(subtalar neutral position)보다 무릎을 굽힌 상태에서의 발목 발등 굽힘(ankle dorsiflexion)이 적어도 5도 더 크게 나타나는 자, (d) 다리 길이 차이가 2 cm 미만인 자, (e) 6개월 안에 하지와 관련된 연구에 참가하지 않은 자, (f) 신경학적 장애가 없는 자이다. 본 연구에서 제외되는 기준은 다음과 같다. (a) 허리 근골격계 질환이 있는 자, (b) 발목관절 질환이 있거나 수술을 한 적이 있는 자, (c) 1년 이내에 다리 수술을 한 자이다.

스크리닝 검사를 통해서 허리 근골격계 질환 중 허리 추간판탈출증(lumbar herniated disc)으로 인해 3명, 발목 손상(ankle injury)으로 인해 10명, 1년 이내 다리를 수술한 이력이 있는 자 4명이 제외되었다(Figure 1). 본 연구에 참여한 모든 연구대상자는 총 13명, 전체 21발을 대상으로 하였다. 13명의 대상자들 중 양 발에 짧은 종아리 근육(Calf muscle)을 가진 사람이 총 8명이었고, 13명을 대상으로 무작위로 뽑기를 실시하여 MWM 그룹과 MWM-MFR 그룹을 선정하였다. MWM 그룹은 총 7명에 11발이었고 양 발 대상자는 4명이 포함되었다(Figure 1). MWM-MFR 그룹은 총 6명에 10발이었고 양 발 대상자는 동일하게 4명으로 구성되었다. 우세발이 오른쪽인 사람은 12명, 왼쪽인 사람은 1명이었다. Shapiro-Wilk 검정에서 두 그룹 대상자들의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 모든 대상자들의 일반적인 특성은 Table 1과 같으며, 사전 동의서에 서명을 한 후 진행되었다. 본 연구는 호서대학교 생명윤리위원회의 승인을 받아 진행되었다(IRB no. 1041231-211101-HR-135-02).

Table 1. General characteristics of subjects in MWM and MWM-MFR group

Group	MWM	MWM-MFR
Age (y)	22.86 ± 1.21	23.67 ± 3.78
Height (cm)	167.43 ± 9.13	167.5 ± 9.18
Weight (kg)	69.29 ± 16.41	64.33 ± 4.89
BMI (kg/m ²)	24.52 ± 4.14	22.97 ± 1.48
Sex		
Male	4 [57.14]	4 [66.67]
Female	3 [42.86]	2 [33.33]
Calf shortening side		
Right	4 (both = 4)	5 (both = 4)
Left	7 (both = 4)	5 (both = 4)
Dominant foot		
Right	7 [100.0]	5 [83.33]
Left	0 [0.0]	1 [16.67]

Values are presented as mean ± standard deviation or number (%). MWM, mobilization with movement; MWM-MFR, mobilization with movement added myofascial release; BMI, body mass index.

2. 측정장비 및 기기

1) 소형 관성운동장치(100Hz; Noraxon USA Inc., Scottsdale, AZ, USA)

3D 동작 분석 시스템(3D Motion analysis system)은 하지의 운동학적 변수를 분석하기 위해 사용되었다. 소형 관성운동장치(Inertial measurement unit, IMU)는 3차원 각도 정렬(3D angular orientation)에 대해 신체 분절 추적(body segment tracts)을 측정할 수 있는 장치로 동적 측정에 대해 1.2도의 정확도를 가지고 있다(Figure 2) [19].

3. 실험 방법

종아리근 단축이 있는 대상자들을 (1) MWM 그룹, (2) MWM-MFR 그룹으로 무작위(Randomization)로 배정하여 중재(intervention) 전 후 비교 및 군간 동적 균형 비교를 위해 MSEBT를 실시하였다. 균형 검사를 실시하기 전 대상자의 나이, 키, 몸무게, 성별, 체질량 지수, 하지 길이(위앞엉덩뼈가시[anterior superior iliac spine]부터 안쪽복사뼈[medial malleolus]까지 측정), 우세발을 체크하였다.

수동 발목발등굽힘 관절가동범위를 측정 시 한 명의 조사자가 측정하고, 한 명의 보조자가 보조하도록 하였다. 수동 발목발등굽힘 관절가동범위 측정을 위해 각 대상자는 엎드린 후 무릎을 90도 굽힌 자세를 취하고, 조사자는 대상자의 발목을 발등 굽힘하였다. 발목 관절가동범위 측정 시 고니오미터(goniometer)의 축은 바깥쪽 복사뼈에 위치하고, 고정 팔은 종아리뼈(fibula), 움직이는 팔(moving arm)은 5번째 발 허리뼈(fifth metatarsal)에 두도록 하고 측정하였으며, 총 3회 측정 후 평균값을 산출하여 분석하였다.

또한 동적 균형 시 운동학적 움직임 및 발에 주어지는 힘을 측정하기 위해 모든 대상자에게 IMU 센서를 골반(1개), 대퇴(2개), 하퇴(2개), 발(2개)에 각각 부착시켰다(Figure 3). 또한 각 대상자가 동적 균형을 측정하기 위한 MSEBT를 수행하기 전 조사자가 MSEBT를 어떻게 수행

Figure 2. Inertial measurement unit sensor.

Figure 3. Attachment of inertial measurement unit sensors. PSIS, posterior superior iliac spine.

Figure 4. Divisions of sections during modified star excursion balance test. (A) starting position, (B-C) 1 section- forward anterior, (C-D) 2 section- backward anterior, (D-E) 3 section- forward posteromedial, (E-F) 4 section- backward posteromedial, (F-G) 5 section- forward posterolateral, (G-H) 6 section- backward posterolateral direction.

해야 하는지 미리 시연하였다. 동적 균형을 측정하기 전에 바로 서 있는 자세에서 0점 조정(calibration)을 실시한 후 각 대상자는 MSEBT를 총 3회 실시하여 6구간으로 나누어 운동학적 움직임에 대한 평균값을 산출하여 분석하였다.

모든 참가자는 종아리근이 단축된 하지(양쪽 모두 종아리근 단축이 있을 경우, 오른쪽을 먼저 실시)를 스타트 라인으로 하여 중앙 발판에 선 다음(Figure 4A), 조사자가 시작이라는 구령과 동시에 측정하였다. 한 발 서기(single leg stance)를 시작 자세로 하였으며(Figure 4B), 대상자는 측정 다리를 각각 전방(anterior reach) (Figure 4C), 후내방(posteromedial reach) (Figure 4D, 4E), 후외방(posterolateral reach) (Figure 4F, 4G)으로 도달하였다가 다시 제자리로 돌아오는 것으로 측정하였다(Figure 4H). MSEBT 평가를 수행 시 대상자가 수동적으로 최대 도달한 길이(lengths)를 측정하였다. 대상자의 다리 길이에 대한 표준화 거리를 사용하여 분석하였다.

종아리근 단축 대상자에게 무작위 추첨을 통해 MWM과 MWM-MFR 그룹으로 나누었으며, MWM 그룹의 모든 대상자는 약 40 cm 높이의 의자에 발을 얹고 닫힌 사슬(closed-pack) 상태로 최대한의 발 등 굽힘 자세를 취하여 비탄력적 테이프로 거골(talus) 앞쪽(anterior)에서 아래쪽(inferior)과 뒤쪽(posterior)으로 활주(gliding)를 적용하였고(Figure 5), 트레드 밀에서 4.5 km/h 속도, 6도의 경사로 5분간 보행을 적용하였다(Figure 6). MWM-MFR 그룹은 테니스 공을 이용

Figure 5. Modified with mobilization using non-elastic taping.

하여 대상자가 견딜 수 있을 정도의 압력을 부여하여 5분동안 발바닥(sole, plantar fasciae), 장딴지세갈래근(triceps surae)에 근막이완법을 추가로 적용한 후 MWM 그룹과 동일하게 적용하였다(Figure 7). 모든 그룹은 증재 후 동일하게 PROM과 MSEBT를 각각 3회 측정하였으며, 이에 대한 평균값을 산출하여 분석하였다.

4. 자료분석

본 연구는 종아리근 단축이 나타나는 13명을 대상으로 MWM 그룹($N = 7$, feet = 11), MWM-MFR 그룹($N = 6$, feet = 10)로 무작위

로 나누어 각 그룹에 증재를 적용 시 전후의 변화와 그룹 간의 변화를 연구하고자 하였다. IBM SPSS Statistics 20.0을 사용하여 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였을 때 정규분포를 이루지 않아 그룹 내의 변화는 Wilcoxon signed-rank test를 사용하였고, 그룹 간의 변화는 그룹 내

Figure 6. Inclined treadmill training with mobilization with movement using non-elastic taping.

Figure 7. Intervention of myofascial release with tennis ball.

Table 2. Comparison of PROM in MWM and MWM-MFR group

	MWM	MWM-MFR	Z-value	p-value
Pre-intervention	22.54 ± 3.24	17.60 ± 5.80		
Post-intervention	26.54 ± 3.47	24.00 ± 7.30		
Differentiation	4.0 ± 4.82	6.4 ± 4.60	-1.140	0.253
Z-value	-2.263	-2.530		
p-value	0.024*	0.011*		

Values are presented as mean ± standard deviation. PROM, passive range of motion; MWM, mobilization with movement; MWM-MFR, mobilization with movement added myofascial release. * $p < 0.05$.

Table 3. Comparison of the maximal reaching lengths between MWM and MWM-MFR group

	MWM	MWM-MFR	Z-value	p-value
Anterior				
Pre-intervention	88.96 ± 8.08	84.36 ± 6.55		
Post-intervention	92.96 ± 6.84	84.27 ± 9.70		
Differentiation	3.24 ± 6.30	1.55 ± 4.93	-0.490	0.622
Z-value	-1.836	-0.255		
p-value	0.066	0.799		
Posteromedial				
Pre-intervention	106.27 ± 21.08	87.83 ± 15.11		
Post-intervention	107.06 ± 26.45	89.53 ± 15.58		
Differentiation	0.51 ± 12.02	1.72 ± 9.82	-1.900	0.512
Z-value	-0.059	-1.070		
p-value	0.953	0.285		
Posterolateral				
Pre-intervention	93.54 ± 16.77	77.85 ± 12.57		
Post-intervention	97.81 ± 25.40	87.24 ± 15.17		
Differentiation	2.96 ± 12.64	9.38 ± 7.85	-1.900	0.061
Z-value	-1.244	-2.803		
p-value	0.214	0.005*		

MWM, mobilization with movement; MWM-MFR, mobilization with movement added myofascial release. * $p < 0.05$.

전후차이값을 산출하여 Mann-Whitney U test를 사용하여 분석하였다. 이 때 통계적 유의수준 α 값은 0.05 미만으로 설정하였다.

RESULTS

1. MWM과 MWM-MFR 그룹의 수동 관절가동범위

MWM 그룹과 MWM-MFR 그룹의 PROM 각도를 측정한 결과는 Table 2와 같았다. MWM과 MWM-MFR의 그룹 내 변화는 모두 유의한 차이가 있었다(respectively; $p = 0.024$, $p = 0.011$). 그러나 그룹 간 비교에서는 유의한 차이가 없었다($p = 0.253$).

2. MWM과 MWM-MFR 그룹의 최대도달거리(maximal reaching lengths)

MSEBT의 각 자세(anterior, posteromedial, posterolateral)에 측정된 최대도달거리(% leg length)를 측정한 값은 Table 3과 같다. MWM 그룹 내에서는 유의한 차이가 없었으나, MWM-MFR 그룹 내에서는 후외방 자세에서 유의하게 증가된 것으로 나타났다($p = 0.005$). 그러나, MWM 그룹과 MWM-MFR 그룹 간 비교에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

3. MWM과 MWM-MFR 그룹 내의 구간별 MSEBT 시 하지의 운동학적 변수의 차이

MWM 그룹의 MSEBT에서 구간별 하지의 운동학적 움직임의 변수는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나, MWM-MFR 그룹 내 MSEBT의 구간별 하지의 운동학적 움직임에서 1구간과 3구간에서 발

목 안쪽 번짐(ankle inversion)이 유의하게 감소되었고(respectively; $p = 0.037$, $p = 0.047$), ankle abduction이 3구간과 5구간에서 유의하게 감소한 것으로 나타났다(respectively; $p = 0.028$, $p = 0.047$) (Table 4).

4. MWM과 MWM-MFR 그룹 간의 구간별 MSEBT 시 하지의 운동학적 변수의 차이 비교

MWM과 MWM-MFR 그룹에서 MSEBT 시 하지의 운동학적 변수의 차이를 비교했을 때 MWM-MFR 그룹이 MWM 그룹에 비해 후내방 3구간과 후외방 5구간의 발목 벌림(ankle abduction)이 유의하게 감소된 것으로 나타났다(respectively; $p = 0.007$, $p = 0.049$) (Table 5).

DISCUSSION

본 연구는 종아리근 단축이 나타나는 사람을 대상으로 비탄력적 테이프를 이용한 관절가동법을 적용한 MWM 그룹과 동일한 관절가동법 적용에 MFR을 추가한 MWM-MFR 그룹을 무작위로 나누어 이에 따른 중재를 실시하였다. 그 결과로 수동 발목관절 발등 굽힘(ankle dorsiflexion)의 PROM에서는 그룹 내의 유의한 변화가 있었고($p < 0.05$), MSEBT에서 MWM-MFR 그룹 내의 중재 전후 후외방의 최대 뻗침 길이가 유의하게 증가되었으며($p < 0.05$) 운동학적 움직임(kinematic data)은 1구간(anterior direction)과 3구간(posteromedial direction)에서, ankle inversion과 3구간(posteromedial direction)과 5구간(posterolateral direction)에서 ankle abduction의 유의한 변화가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 또한 MWM-MFR 그룹이 MWM

Table 4. Comparison of kinematic data during MSEBT in MWM-MFR group

	Section	Pre-intervention	Post-intervention	Z-value	p-value
Ankle dorsiflexion					
Anterior	1	-4.11 ± 10.58	-0.00 ± 4.94	-0.260	0.799
	2	-9.96 ± 30.17	-11.01 ± 29.71	-0.460	0.646
Posteromedial	3	-3.91 ± 12.79	-5.96 ± 11.18	-0.460	0.445
	4	-9.85 ± 19.50	-9.77 ± 20.74	-0.050	0.959
Posterolateral	5	-9.85 ± 19.50	-9.77 ± 20.74	-0.050	0.445
	6	-9.26 ± 16.03	-9.79 ± 20.97	-0.260	0.799
Ankle inversion					
Anterior	1	-2.87 ± 7.46	0.19 ± 7.21	-2.090	0.037*
	2	-6.27 ± 10.85	-3.90 ± 5.83	-0.860	0.386
Posteromedial	3	-3.79 ± 8.10	-0.61 ± 7.79	-0.860	0.047*
	4	-4.55 ± 13.23	-1.41 ± 10.13	-1.170	0.241
Posterolateral	5	-2.51 ± 8.16	-0.10 ± 7.80	-1.170	0.241
	6	-1.45 ± 17.60	-0.64 ± 8.90	-6.660	0.508
Ankle abduction					
Anterior	1	1.69 ± 6.29	-3.58 ± 4.00	-1.890	0.059
	2	-3.03 ± 7.77	-7.93 ± 7.69	-1.270	0.203
Posteromedial	3	1.47 ± 6.18	-4.79 ± 4.88	-1.270	0.028*
	4	0.49 ± 9.60	-4.51 ± 8.00	-1.680	0.093*
Posterolateral	5	1.49 ± 7.21	-4.14 ± 4.68	-1.990	0.047*
	6	-4.87 ± 12.67	-6.24 ± 8.58	-0.560	0.575

MSEBT, modified star excursion balance test; MWM-MFR, mobilization with movement added myofascial release. * $p < 0.05$.

Table 5. Comparison of the kinematic differences during MSEBT between MWM and MWM-MFR group

	Section	MWM	MWM-MFR	Z-value	p-value
Ankle dorsiflexion					
Anterior	1	1.31 ± 11.28	-0.34 ± 5.30	-0.210	0.833
	2	2.85 ± 9.49	-1.04 ± 5.66	-0.960	0.360
Posteromedial	3	2.13 ± 4.25	-2.05 ± 7.68	-1.340	0.181
	4	1.64 ± 16.68	0.007 ± 6.81	-0.140	0.888
Posterolateral	5	-1.28 ± 5.67	-1.60 ± 6.97	-0.070	0.944
	6	2.42 ± 14.57	-0.52 ± 9.51	-0.420	0.673
Ankle inversion					
Anterior	1	0.57 ± 3.17	3.08 ± 3.53	-1.620	0.105
	2	0.23 ± 10.61	2.38 ± 9.38	-0.210	0.833
Posteromedial	3	0.17 ± 4.06	3.19 ± 4.25	-1.340	0.181
	4	-0.19 ± 8.94	3.14 ± 15.62	-1.200	0.231
Posterolateral	5	0.77 ± 4.56	2.42 ± 6.84	-0.990	0.324
	6	0.70 ± 7.05	0.80 ± 16.25	-0.140	0.888
Ankle abduction					
Anterior	1	1.86 ± 6.26	-5.28 ± 3.73	-1.830	0.067
	2	2.13 ± 1.50	-4.90 ± 3.46	-1.620	0.105
Posteromedial	3	3.38 ± 2.39	-6.26 ± 4.43	-2.680	0.007*
	4	-2.61 ± 1.85	5.00 ± 3.53	-1.900	0.057
Posterolateral	5	-1.94 ± 1.37	-5.63 ± 3.98	-1.970	0.049*
	6	3.36 ± 2.37	-1.37 ± 0.97	-1.550	0.121

MSEBT, modified star excursion balance test; MWM, mobilization with movement; MWM-MFR, mobilization with movement added myofascial release. *p < 0.05.

그룹에 비해 3구간과 5구간의 발목관절 벌림에서 유의한 변화가 큰 것으로 나타났다(p < 0.05).

본 연구의 결과에서 MWM 그룹과 MWM-MFR 그룹 내에서 PROM의 각도 변화는 모두 유의한 차이가 있었으나 그룹 간 비교에서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 본 연구와 유사하게 적용된 선행연구에서도 본 연구의 결과와 동일하게 PROM이 증가된 것으로 보고되었다[20]. 또한, 본 연구의 그룹 간 비교에서 PROM의 유의한 차이가 없는 것과 동일하게 장딴지근 스트레칭 그룹과 장딴지근 스트레칭 후 가동술(mobilization)을 적용한 그룹을 비교 시에도 PROM에서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다[21]. 최근 MWM에 대한 메타 분석 연구에서 체중부하를 기반으로 한 MWM(weight-bearing MWM)은 발목관절 발등 굽힘 관절가동범위를 향상시키는데 효과적인 것으로 보고되었다[14]. 따라서 본 연구에서의 그룹 간의 발목관절 발등 굽힘 PROM의 유의한 차이가 없었던 것은 두 그룹 모두 동일하게 체중을 기반으로 한 MWM이 적용된 것이 이유가 될 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 결과에서는 발목관절 발등 굽힘 PROM에 MFR을 부가적으로 적용한 것이 MWM만 적용한 그룹과 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. Škarabot et al. [22]의 연구에서는 정적 스트레칭과 MFR 적용했을 때와 MFR만 적용한 세 그룹을 비교하였을 때 정적 스트레칭과 MFR을 적용한 그룹에서의 발목의 PROM이 유의하게 증가된 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 선행연구와 달리 체중을 부하하여 MFR을 적용하지 않았던 것이 이러한 차이가 발생한 이유로 사료된다.

본 연구 결과, MWM-MFR 그룹 내에서 중재 전후 후외방의 최대도달거리가 유의하게 증가된 것으로 나타났으며(p < 0.05) 운동학적 움

직임은 1구간(anterior direction)과 3구간(posteromedial direction)에서, 발목관절 안쪽변짐과 3구간(posteromedial direction)과 5구간(posterolateral direction)에서 발목관절 벌림의 유의한 변화가 있는 것으로 나타났다(p < 0.05). Hadadi et al. [23]의 연구에서는 만성 발목 불안정성이 있는 사람을 대상으로 종아리뼈 정복 테이핑(fibular reposition taping)을 적용한 그룹이 대조군에 비해 후외방의 최대도달거리가 유의하게 증가된 것으로 나타났다. 이전 연구에서 후외방의 최대도달거리는 3.62 cm 증가된 것으로 보고되었으나, 본 연구에서는 9.39 cm가 증가되었다[23]. Munro and Herrington [24]의 연구에 따르면 Star excursion balance test (SEBT)에서는 후외방 최대도달거리가 최소 6%~8% 이상 증가되어야 정상적인 점수의 변화로 볼 수 있는데, 본 연구에서는 10% 이상 증가하였으므로 동적 균형의 향상에 있어 신뢰할 만한 결과라고 할 수 있다. 또한 발목 관절에 대한 고유수용성 훈련 전후 비교에서 SEBT의 후외방에서 안정성이 향상되는 것으로 나타났는데[25], 이는 MFR의 적용으로 인해 근막의 이동성(fascial mobility)이 증가되어 고유수용성 감각을 향상시킨 결과로 사료된다[26].

MWM-MFR 그룹내에서 1, 3구간의 발목관절 안쪽변짐과 3, 5 구간의 발목관절 벌림에서 유의한 차이가 있었던 것으로 나타났고, MWM-MFR 그룹이 MWM 그룹에 비해 3, 5구간에서 발목관절 벌림이 유의하게 감소된 것으로 나타났다. 이러한 그룹 간의 유의한 차이가 나타난 이유로, 종아리근 및 아킬레스 힘줄과 발바닥 내재근에 MFR을 추가적으로 적용한 것이 동적 균형 증진에 효과적이었던 것으로 사료된다. 종아리근에서 세 개의 근육근막구조물이 아킬레스 힘줄에 있는데, 표면

은 장딴지근, 심부는 가자미근, 중간축은 장딴지밧근(plantaris)으로 연결되어 있다. 이러한 근육의 긴장은 발뒤꿈치를 목발밑관절(subtalar joint)을 향해 앞으로 밀어낸다[27]. 본 연구에서 사용했던 테니스 공을 이용한 MFR은 Park and Hwang [28]의 연구에서도 유사하게 적용되었고, 이는 대상자의 동적 균형을 증진시키는 것으로 보고되었다. 이러한 MFR 기법의 적용이 발바닥 굽힘 근육의 최대 구심성 수축 토크를 감소시켜 발목관절 발등 굽힘의 구심성 수축을 증가시킨 것으로 보고된 바 있는데[29], 이는 발목관절 발등굽힘근으로 작용하면서 발목의 안쪽번짐과 별립에도 관여하는 앞장강근의 구심성 수축이 증가하면서 나타난 변화인 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 연구에 참여한 대상자의 수가 적어 일반화하기 어렵다. 그러나 유사한 선행 연구에 참여하였던 대상자의 수가 본 연구에 참여한 대상자의 수와 유사하고 종아리근 단축이 있는 사람을 대상으로 실시하였기에, 같은 조건에 있는 사람들을 대상으로 본 연구의 결과를 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 둘째, 같은 대상자의 두 발을 포함하는 경우 변수의 독립성이 확보되지 않는다. 셋째, MWM 그룹과 MWM-MFR 그룹에 적용된 중재 시간이 다르다. 선행연구를 참고하여 MWM 그룹은 5분, MWM-MFR 그룹은 MWM에 추가로 5분을 더 적용하였던 것이 시간적 가중이 될 수 있다. 이를 보완하여, 추후 변수의 독립성을 확보하여 시간적 가중을 제외한 연구를 진행한다면 보다 정확한 연구 결과가 나타날 것으로 사료된다.

CONCLUSIONS

본 연구는 종아리근 단축이 있는 대상자를 MWM과 MWM-MFR 그룹으로 무작위로 분류하여 각각 중재를 적용하고 동적 균형을 유지하기 위하여 발목의 운동학적 움직임에 어떠한 변화가 발생하는지를 알아보고자 하였다. 연구 결과, MWM-MFR 그룹이 MWM 그룹에 비해 후내측 3구간과 후외측 5구간의 발목관절 별립에서 유의한 감소가 나타났다. 따라서 종아리근 단축이 있는 환자에게 MWM 기법만 적용하는 것보다 근막이완기법을 추가로 적용한다면, 동적 균형의 후내측 및 후외측 구심성 이동 시 발목관절 이마면(Frontal plane)의 안정성에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded by the university innovation support project of Hoseo University, grant number 221-01.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: YIH. Data curation: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Formal analysis: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Funding acquisition: YIH. Investigation: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Methodology: YIH. Project administration: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Resources: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Software: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Supervision: YIH. Validation: YIH. Visualization: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Writing - original draft: MAS, KNJ, YJK, YJL, YIH. Writing- review & editing: YIH.

ORCID

Min-A Seo, <https://orcid.org/0000-0002-2301-4697>

Kyu-Na Jeong, <https://orcid.org/0000-0001-5052-3676>

Yu-Jin Kim, <https://orcid.org/0000-0002-8588-9587>

Yu-Jin Lee, <https://orcid.org/0000-0002-3681-2110>

REFERENCES

- Nichols DS, Miller L, Colby LA, Pease WS. Sitting balance: its relation to function in individuals with hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil* 1996;77(9):865-9.
- Menz HB, Dufour AB, Katz P, Hannan MT. Foot pain and pronated foot type are associated with self-reported mobility limitations in older adults: the Framingham foot study. *Gerontology* 2016;62(3):289-95.
- Wikstrom EA, McKeon PO. Predicting balance improvements following STARS treatments in chronic ankle instability participants. *J Sci Med Sport* 2017;20(4):356-61.
- Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, Caulfield B, Docherty CL, 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):585-91.
- Kim MK, Shin YJ. Immediate effects of ankle balance taping with kinesiology tape for amateur soccer players with lateral ankle sprain: a randomized cross-over design. *Med Sci Monit* 2017;23:5534-41.
- Kim DW, Sung KS. Chronic lateral ankle instability. *J Korean Foot Ankle Soc* 2018;22(2):55-61.
- Morales-Muñoz P, De Los Santos Real R, Barrio Sanz P, Pérez JL, Varas Navas J, Escalera Alonso J. Proximal gastrocnemius release in the treatment of mechanical metatarsalgia. *Foot*

- Ankle Int 2016;37(7):782-9.
8. Jaber H, Lohman E, Daher N, Bains G, Nagaraj A, Mayekar P, et al. Neuromuscular control of ankle and hip during performance of the star excursion balance test in subjects with and without chronic ankle instability. *PLoS One* 2018;13(8):e0201479.
 9. Loram ID, Maganaris CN, Lakie M. Active, non-spring-like muscle movements in human postural sway: how might paradoxical changes in muscle length be produced? *J Physiol* 2005;564(Pt 1):281-93.
 10. Almeida GL, Carvalho RL, Talis VL. Postural strategy to keep balance on the seesaw. *Gait Posture* 2006;23(1):17-21.
 11. Zhou JP, Yu JF, Feng YN, Liu CL, Su P, Shen SH, et al. Modulation in the elastic properties of gastrocnemius muscle heads in individuals with plantar fasciitis and its relationship with pain. *Sci Rep* 2020;10(1):2770.
 12. Weerasekara I, Osmotherly PG, Snodgrass SJ, Tessier J, Rivett DA. Effects of mobilisation with movement (MWM) on anatomical and clinical characteristics of chronic ankle instability: a randomised controlled trial protocol. *BMC Musculoskelet Disord* 2019;20(1):75.
 13. Vicenzino B, Branjerdporn M, Teys P, Jordan K. Initial changes in posterior talar glide and dorsiflexion of the ankle after mobilization with movement in individuals with recurrent ankle sprain. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006;36(7):464-71.
 14. Weerasekara I, Deam H, Bamborough N, Brown S, Donnelly J, Thorp N, et al. Effect of mobilisation with movement (MWM) on clinical outcomes in lateral ankle sprains: a systematic review and meta-analysis. *Foot (Edinb)* 2020;43:101657.
 15. Stanek J, Sullivan T, Davis S. Comparison of compressive myofascial release and the Graston technique for improving ankle-dorsiflexion range of motion. *J Athl Train* 2018;53(2):160-7.
 16. Ajimsha MS, Shenoy PD. Improving the quality of myofascial release research - a critical appraisal of systematic reviews. *J Bodyw Mov Ther* 2019;23(3):561-7.
 17. Mauntel TC, Clark MA, Padua DA. Effectiveness of myofascial release therapies on physical performance measurements: a systematic review. *Athl Train Sports Health Care* 2014;6(4):189-96.
 18. Ko HF, Chen CH, Dong KR, Wu HC. Effects of acupuncture on postoperative pain after total knee replacement: systematic literature review and meta-analysis. *Pain Med* 2021;22(9):2117-27.
 19. Struzik A, Konieczny G, Stawarz M, Grzesik K, Winiarski S, Rokita A. Relationship between lower limb angular kinematic variables and the effectiveness of sprinting during the acceleration phase. *Appl Bionics Biomech* 2016;2016:7480709.
 20. Yoon JY, Hwang YI, An DH, Oh JS. Changes in kinetic, kinematic, and temporal parameters of walking in people with limited ankle dorsiflexion: pre-post application of modified mobilization with movement using talus glide taping. *J Manipulative Physiol Ther* 2014;37(5):320-5.
 21. Kang MH, Oh JS, Kwon OY, Weon JH, An DH, Yoo WG. Immediate combined effect of gastrocnemius stretching and sustained talocrural joint mobilization in individuals with limited ankle dorsiflexion: a randomized controlled trial. *Man Ther* 2015;20(6):827-34.
 22. Škarabot J, Beardsley C, Štirn I. Comparing the effects of self-myofascial release with static stretching on ankle range-of-motion in adolescent athletes. *Int J Sports Phys Ther* 2015;10(2):203-12.
 23. Hadadi M, Haghighat F, Sobhani S. Can fibular reposition taping improve balance performance in individuals with chronic ankle instability? A randomized controlled trial. *Musculoskelet Sci Pract* 2020;46:102128.
 24. Munro AG, Herrington LC. Between-session reliability of the star excursion balance test. *Phys Ther Sport* 2010;11(4):128-32.
 25. Peres MM, Cecchini L, Pacheco I, Pacheco AM. [Effects of proprioceptive training on the stability of the ankle in volleyball players]. *Rev Bras Med Esporte* 2014;20(2):146-50. Portuguese.
 26. Langevin HM. Fascia mobility, proprioception, and myofascial pain. *Life (Basel)* 2021;11(7):668.
 27. Myers TW. *Anatomy trains: myofascial meridians for manual therapists and movement professionals*. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2009;95-107.
 28. Park DJ, Hwang YI. A pilot study of balance performance benefit of myofascial release, with a tennis ball, in chronic stroke patients. *J Bodyw Mov Ther* 2016;20(1):98-103.
 29. Nakamura M, Sato S, Kiyono R, Yoshida R, Yasaka K, Yahata K, et al. Comparison between foam rolling with and without vibration on passive and active plantar flexor muscle properties. *J Strength Cond Res* 2021. [Epub]. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004123>.