

Immediate Effect between Graston Technique and Self-Myofascial Release Technique on Calf Muscle Function and Walking of Young Adults: A Cross-Sectional Study

Hyerim Lee^a, Minkyong Kwon^b, Jooyoung Kim^c
 Hyunsoo Kim^d, Eunbin Lee^e, Wonjae Choi^{f*}

^aPediatric physical therapy center, Boram convalescent hospital, Daejeon, Republic of Korea

^bDepartment of Oriental Medicine and Rehabilitation Medicine, Saerom Oriental Medicine Hospital, Seoul, Republic of Korea

^cDepartment of Physical Therapy, Sema green Rehabilitation Hospital, Gyeonggi-do, Republic of Korea

^dDepartment of Rehabilitation Medicine, New Korea Hospital, Gimpo-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

^eDepartment of Physical Therapy, Seoul Barun Orthopedics, Gyeonggi-do, Republic of Korea

^fDepartment of Physical Therapy, Joongbu University, Geumsan, Republic of Korea

Objective: The Graston technique and self-myofascial release technique using foam roller are used to fascia release. The purpose of this study was to compare the immediate effects of the Graston technique and self-myofascial release technique using foam roller to improve calf muscle function and walking speed.

Design: A cross-sectional study

Methods: Total fifty-two healthy adults participated in this study. Subjects randomly were conducted the Graston technique and self-myofascial release technique using foam roller to the right and left calf muscles for 5 minutes each. Calf muscle function was assessed by ankle dorsi flexion range of motion, and walking speed was assessed by 10m walking test on preferred walking and fast walking.

Results: Both the Graston technique and self-myofascial release technique using foam roller significantly improved the ankle dorsiflexion angle, viscoelastic properties of the calf muscle, and preferred walking speed ($p < 0.05$), but there was no significant difference in vertical jump and fast walking speed. Also, there was no significant differences between the two techniques in all variables ($p > 0.05$).

Conclusions: This study showed that both the Graston technique and self-myofascial release technique using foam roller can affect muscle function and walking speed by relaxing the fascia of the calf muscles. Because the immediate effects are similar between the two interventions, the self-myofascial release technique using foam roller is recommended for economic savings.

Key Words: Myofascial release therapy, Graston, Foam roller, Muscle

서론

정상적인 보행은 정강이뼈의 원활한 관절 움직임이 이뤄져야 하기 때문에, 10°의 발목의 발등 굽힘 각도가 필요하다[1]. 추진력이 요구되는 보행의 후기 흔들기 단계에서는 발이 지면을 밀고 발뒤꿈치가 떨어지기 직전 최대 발목의 발등굽힘 각도가 발생한다[2]. Jordan 등[3]

의 연구에서 건강한 남성 50명의 보행하는 동안 발목의 발등 굽힘을 분석한 결과, 보행 주기 동안 최대 발목의 발등 굽힘 각도 가동 범위가 4°에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 건강한 성인도 보행 중 종아리근의 수축이 반복되면, 종아리근 단축이 생길 수 있음을 시사한다[4]. 보행 속도는 종아리근 단축 상태에 따라 영향을 받을 수 있고[2], 종아리근을 과사용 할 경우에

Received: Dec 3, 2023 Revised: Dec 24, 2023 Accepted: Dec 26, 2023

Corresponding author: Wonjae Choi (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2232-6744>)

Department of Physical Therapy, Joongbu University, 201, Daehak-ro, Chubu-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

Tel: +82-41-750-6715 Fax: +82-41-750-6166 E-mail: wjchoi@joongbu.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 © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

근막의 유착, 단축이 유발될 수 있음을 알 수 있다[5]. 유착으로 인한 관절 움직임의 제한은 근육 조직의 구조 및 성질 변화를 일으킬 수 있기 때문에[6], 이러한 원인으로 근육의 손상이 발생하면 발목의 고유수용성 감각 감소로 이어질 수 있다[7].

연부 조직 근막 유착을 느슨하게 하기 위한 다양한 기법들이 있으며[8], 그 중 대표적으로 근막 이완기법이 있다[9]. 이 방법은 개인이나 치료사가 도구를 사용하여 근막에 압력을 가하는 방법으로 민첩성, 유연성, 근력을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다[10]. 근막 이완기법은 적용 방법에 따라 기구보조 연조직동원법과 자가 근막 이완기법으로 나뉜다.

기구보조 연조직동원법으로 그라스톤이 대표적으로 사용된다[9]. 근막에 반복적인 자극을 가하면서 염증 반응을 유도하는 방법으로, 이 때 콜라겐 합성 반응이 증가되기 때문에 유착이 느슨하게 되는 효과가 있다[8]. 느슨해진 근육은 유연성과 운동범위를 개선하고, 움직임 기능 향상에 도움을 준다[11]. Rowlett 등[12]의 건강한 성인을 대상으로 한 연구에서 20명은 그라스톤을 사용하여 2분 동안 종아리근의 근막을 이완시키고, 다른 20명은 30초 동안 정적 스트레칭을 3회 진행하였다. 그 결과, 그라스톤과 정적 스트레칭 모두 가자미근의 유연성을 유의하게 향상되었다($p < 0.05$). 자가 근막 이완기법으로 대표적으로 사용되는 폼롤러는 다양한 질감·밀도를 가진 원통형 모양으로 자신의 체중을 이용해 직접적으로 근막에 압력을 가하며 이완하는데 도움을 주는 도구이다[13]. 폼롤러를 움직이면서 도구와 근막사이에서 발생하는 마찰력이 근막의 온도를 증가시켜 세포 외점도 변화를 일으키는 것으로 알려졌으며, 이러한 작용이 근막층 사이의 유착을 느슨하게 하여 근 긴장도 감소에 도움이 된다[8]. Junker와 Stöggli[14]의 연구에서 8주간 젊은 성인 40명에게 주 1회, 90초 동안 종아리 근육에 폼롤러를 적용한 결과 관절 가동 범위를 유의하게 증가시킨 결과도 있다($p < 0.05$).

근막 이완을 위한 방법으로 그라스톤과 폼롤러를 이용한 선행연구가 많지만, 주요 적용 부위는 뒤넙다리근(hamstring)이었으며[15], 종아리근에 적용한 선행 연구에서도 관절의 가동범위, 유연성, 등속성 근력과 같은 1차적인 변수 결과에 대한 조사 연구나 기능적인 변수로 균형의 차이에 대한 연구가 많았다[16, 17]. 차별화되는 선행연구에서도 대상자가 운동선수였을 뿐 기능적인 변수의 측정이 부족하였다[18]. 서두에서 언급한 대로 일상생활 중에 뒤넙다리근 뿐만 아니라 종아리근의 단축도 쉽게 발생할 수 있기 때문에 그라스톤과 폼롤러를 사용한 중재 기법 중 종아리근을 더 효과적으로 이완시킬 수 있는 방법인지 확인하고, 느슨해진 종아리근이 보

행에 긍정적인 영향을 줄 수 있는지 확인하는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기구보조 연조직동원 방법 중 그라스톤기법과 자가 근막 이완기법 중 폼롤러를 사용하여 종아리근을 이완하여 근 기능 및 보행에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

연구방법

연구대상자

본 연구는 단면 조사 설계로 청주시 C 병원 원내 게시판에 2023년 10월 1일부터 10월 31일까지 모집 공고를 통해 병원 내 직원을 대상으로 모집하였다. 연구의 선정 기준은 20~30세의 건강한 성인남녀로 연구에 대한 설명을 들은 후 자발적으로 동의서를 작성한 자로 하였다. 제외 기준은 하지에 정형외과적 수술 이력이 있는 자, 신경계 관련 질환이 있는 자, 발목 불안정성이나 발목 염좌와 같은 근골격계 손상이 있는 자, 임신부로 하였다.

연구 대상자의 표본크기는 G Power (Version 3.1.9.6, Universität Kiel, Germany)을 사용하여 산출하였으며, 효과 크기는 선행연구의 결과값을 바탕으로 0.40으로 설정하였고[11], 검정력 0.80 유의수준 0.05로 산출된 최소 표본 크기는 52명이었다[14]. 하지만 중도 탈락률을 20%를 고려하여 60명의 대상자를 모집하였다. 본 연구는 생명윤리 위원회의 승인 후 시행되었다(JIRB-2023100601-01).

연구절차

본 연구에서 선정 기준에 부합하는 60명의 대상자를 모집한 후 대상자의 나이, 성별, 키, 몸무게와 같은 일반적 특성을 자가 기입식으로 작성하였다. 모집된 대상자 중 2명은 최근 1주일 내 발목 염좌가 발생했고 4명은 발목불안정성을 가지고 있었으며, 2명은 마사지 크립 알레르기 반응으로 인한 중단 요청으로 제외되었다. 그라스톤 기법과 자가근막 이완기법의 즉각적인 효과를 확인하기 위해 중재 적용 전·후로 근기능과 보행 능력을 평가하였다. 근기능을 평가하기 위해 근긴장도, 발목의 관절가동범위, 수직 점프검사를 실시하고 보행 능력을 평가하기 위해 선호하는 보행속도와 빠른 보행속도로 10m 보행 검사를 실시하였다. 중재는 동일한 대상자의 한쪽 다리에는 그라스톤 기법을 먼저 적용하고, 다른 한쪽에는 폼롤러를 이용한 자가근막 이완기법을 적용하여 두 가지 중재를 비교하였다. 이 때 적용순서에 따른 편차를 최소화 하기 위해 밀봉된 상자에서 중재방법을 무

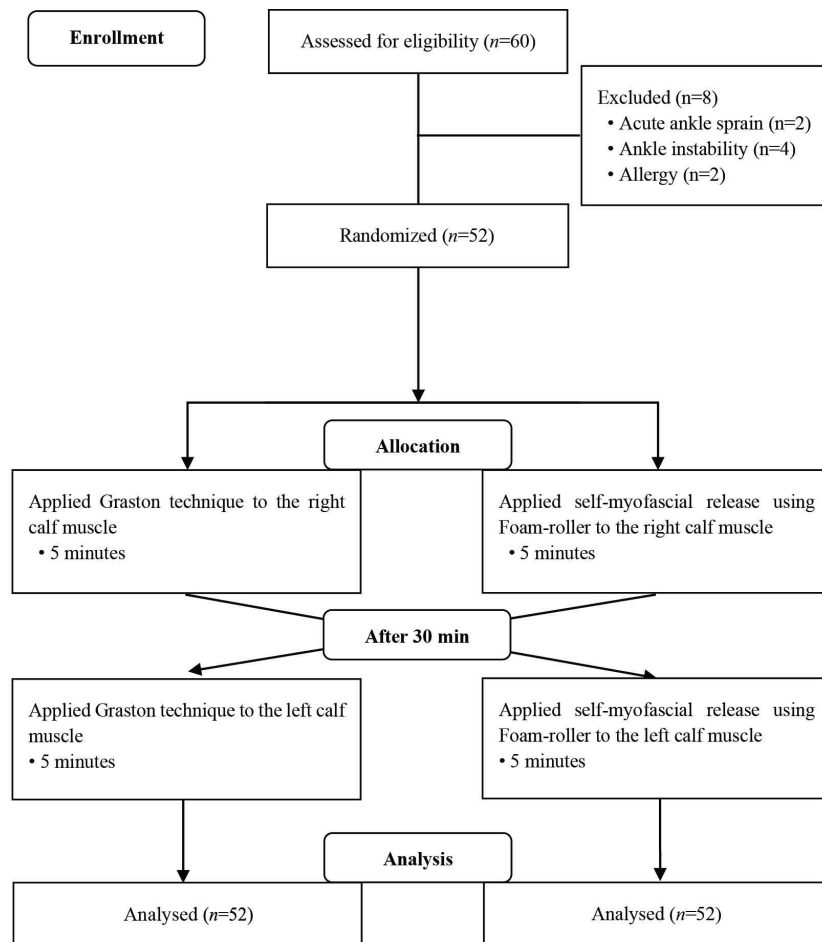


Figure 1. Flow chart of experimental procedure

작위로 뽑아 항상 오른쪽 다리부터 적용하였다. 각 중재는 5분씩 적용하였으며 중재사이에 30분 간의 간격을 두었다(Figure 1). 본 연구에서는 임상경력 3년 차 이상의 물리치료사가 중재를 적용하고 전·후 평가를 진행하였다.

중재방법

그라스톤기법

그라스톤 기법을 적용하기 위해 대상자는 엎드려 누운 자세를 취하고 검사자는 종아리근에 마사지 크림을 바른 후 중재를 실시하였다. 도구는 그라스톤 4번 도구(BT4, Bodywork Technique, Korea)를 사용하였다(Figure 2A). 중재 범위는 종아리근육이 시작하는 아킬레스건 힘줄부터 근육이 끝나는 지점인 종아리뼈 머리 아래 지점까지 하였다[11]. 중재는 60초 동안 20회 왕복 적용하고 총 5분 동안 시행하였다.

폼롤러자가근막이완기법

폼롤러 자가 근막 이완기법을 적용하기 위해 대상자는 종아리근의 중심부를 폼롤러에 위에 올린 후 그라스톤 적용 부위와 동일한 아킬레스건 힘줄 위 근육 시작점부터 근육이 끝나는 종아리뼈 머리 아래 지점까지 폼롤러를 상하 방향으로 이동시켰다(Figure 2B). 중재는 60초 동안 20회 왕복 적용하고 총 5분 동안 시행하였다.

측정도구

근기능

본 연구에서 근기능을 평가하기 위해 종아리근의 긴장도, 발목의 발등 굽힘관절가동범위, 수직 점프 검사를 검사하였다.

종아리근의 근 긴장도의 변화를 측정하기 위해 휴대용 근 탄성 측정기(MyotonPRO, Myton Ltd, Estonia)를 이용해 종아리근의 근 긴장도, 근 강직도, 신체 회복 시

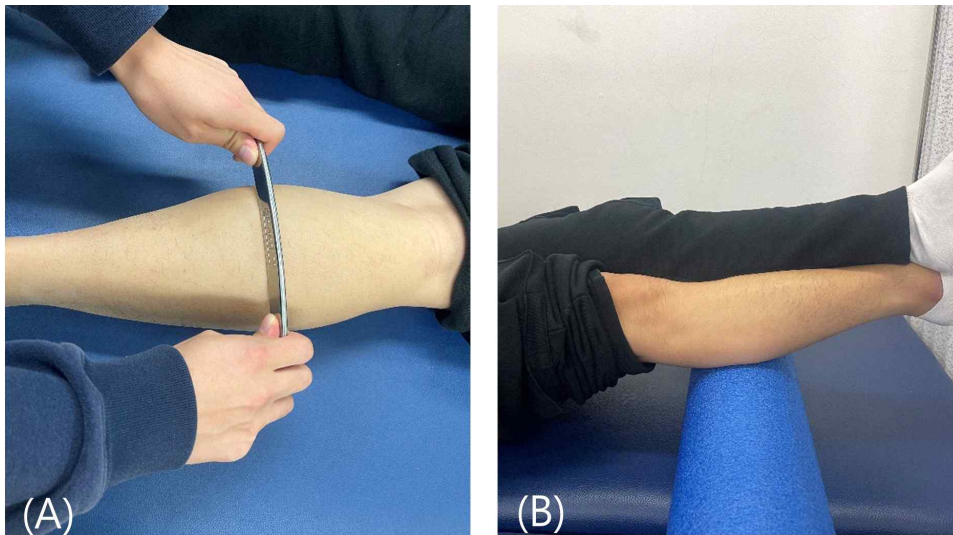


Figure 2. Intervention (A) Grastome technique (B) self-myofascial release technique

간을 평가하고 총 3회 측정 후 평균값을 사용하였다. 휴대용 근 탄성 측정기는 힘줄이나 근육 위의 피하 조직층에 일정한 힘(0.18N)을 가했을 때 조직의 저항을 측정하는 장비이다[19]. 이 검사 도구는 평가자 내 신뢰도는 $r=0.78$ 이며, 평가자 간 신뢰도는 $r=0.95$ 로서 신뢰성이 높은 도구이다[20].

발목의 관절가동범위는 고니어미터(Plastic ruler 360°, Seedtech, Korea)를 사용하여 발목의 발등 굽힘 각도 각도를 측정하였다. 대상자는 양쪽 다리를 모두 펴고 바로 누운 자세로 발을 중립 상태로 두고 각도계의 축을 가쪽 복사뼈에 기준하여 치료사가 수동으로 발목의 발등 굽힘각도를 만들어 수동 관절가동범위를 측정하였다[12]. 평가에 사용된 고니어미터는 측정자 내 신뢰도는 $r=0.74\sim0.90$ 이며 측정자 간 신뢰도가 $r=0.50\sim0.72$ 로서[21], 발목 관절의 운동 범위를 측정하기에 신뢰성이 높은 도구이다.

수직 점프 검사는 상향 수직 방향으로 1회에 가능한 한 높게 뛰어 높이를 측정하는 방식이다[22]. 본 연구에서는 대상자가 벽을 옆으로 본 자세로 서게 한 후 두손을 머리위로 올린 후 검사자가 ‘시작’이라는 구호를 듣고 가능한 한 높이의 점프를 하였다[23]. 대상자의 손끝에 잉크를 묻혀 점프 후 벽에 잉크를 남기는 방식으로 높이를 측정하였다. 3회 점프 후 가장 높은 기록을 사용하였다. 수직 점프의 신뢰도는 $r=0.989\sim0.995$ 로 높은 신뢰도를 보인다[24].

보행

보행을 평가하기 위해 10m 보행 검사를 사용할 것이며 대상자들이 10m를 걷는데 걸리는 시간을 초단위로

측정하였다[25]. 보행의 가속과 감속을 배제하기 위하여 10m 거리 시작과 끝지점에 각 2m를 예비구역으로 설정하여 총 14m를 걷게 하고 중간 10m 지점을 걷을 때 소요 되는 시간을 측정하였다[26]. 본 연구에서는 선호하는 보행 속도와 빠른 보행속도를 모두 측정하였다. 속도에 따라 각 3회씩 평가하여 평균값을 사용하였다. 이 검사의 측정자 내 신뢰도와 측정자 간 신뢰도는 $r=0.89\sim1.00$ 이며[27], 검사-재검사에서 신뢰도가 0.78로 보고되었다[28].

자료분석

본 연구의 모든 작업은 SPSS(ver. 21.0, IBM Co., USA)를 이용하여 평균과 표준편차를 분석하였다. 전체 대상자는 정규성 검정을 위하여 Shapiro-Wilk 검정을 하였으며, 모든 변수가 정규 분포를 하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였다. 중재에 따른 전·후 변화는 대응표본 t-검정을 실시하였고 중재 간 차이는 독립 표본 t-검정을 사용하여 분석하였다. 자료의 모든 통계학적 유의수준은 0.05로 설정하였다.

연구결과

본 연구에 52명이 참가하였으며 대상자의 일반적 특성으로 연령, 나이, 키, 몸무게를 조사하여 Table 1에 제시하였다.

그라스톤 기법과 폼롤러 자가 근막 이완기법을 각 대상자의 종아리에 무작위로 적용한 결과 그라스톤 기법과 자가 근막 이완기법 모두 종아리근의 점탄성 특성, 발목

Table 1. The general characteristics of participants.

Variables	Participants (n=52)
Sex (male/female)	29 / 23
Age (years)	23.63±2.97
Weight (kg)	68.67±15.35
Height (cm)	170.17±8.34

Table 2. Comparison of muscle functions and walking speed according to the two techniques.

Variables	Graston technique (n=52)		Self-myofascial release technique (n=52)		t(p)
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	
Muscle functions					
Muscle tone (Hz)	16.43±2.12	15.47±1.96*	16.33±1.49	15.37±1.95*	0.001 (1.000)
Muscle stiffness (N/m)	297.00±59.70	271.12±52.43*	294.79±53.12	266.75±53.12*	0.459 (0.647)
Muscle relaxation (ms)	18.55±3.12	20.22±3.17*	18.75±3.24	20.41±3.04*	0.003 (0.997)
Ankle DF ROM (°)	-0.71±5.57	1.75±3.86*	-0.38±4.58	1.33±3.68*	1.053 (0.295)
Vertical Jump (cm)	30.06±9.34	30.48±10.12	30.06±9.34	29.79±9.75	0.725 (0.470)
Walking speed					
Normal Walking (s)	8.05±1.22	7.37±1.09*	8.05±1.22	7.36±0.91*	0.089 (0.929)
Fast Walking (s)	5.91±0.88	5.95±0.77	5.91±0.88	5.88±0.82	0.705 (0.482)

*was presented $p < 0.05$ by paired t-test.

DF: Dorsi Flexion.

의 발등 굽힘 각도, 선호하는 보행속도를 유의하게 향상시켰으나($p < 0.05$), 수직 점프, 빠르게 걷는 보행속도는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 또한 모든 변수에서 두 기법 사이에 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$)(Table 2).

고찰

본 연구는 그라스톤 기법과 폼롤러 자가 근막이완기법이 종아리 근 기능과 보행속도에 미치는 즉각적인 영향을 조사한 결과 두 중재 모두 관절가동범위, 근육의 점탄성 특성 및 선호하는 보행속도를 유의하게 향상시켰다.

2000년대부터 자가 근막 이완운동으로 폼롤러 자가 근막 이완기법[29], 필라테스[30], 요가[31] 등이 보편적으로 사용되고 있다. 그 중 그라스톤 기법과 폼롤러 자가 근막 이완기법은 근 긴장도 감소와 관절가동범위를 증가시키기 위해 선호되는 중재 방법이다[14, 32]. Kang 등[11]의 연구에서는 운동선수 30명을 대상으로 종아리 근에 그라스톤 기법을 1분 동안 총 30회 적용한 결과, 근 긴장도와 근 강직도에서 유의하게 감소하였고($p < 0.05$), Cheatham 등[33]의 연구에서는 건강한 성인 22명을 대상으로 뒤넵다리근에 10분 동안 폼롤러 자가 근막 이완기법을 적용한 결과 근 긴장도에서 유의한 감소가 나타났다($p < 0.05$). 본 연구에서도 그라스톤 기법과 폼롤러 자가 근막 이완기법 모두 종아리근육의 점탄

성 특성을 유의하게 향상시켰다($p < 0.05$). 근막 이완 기법은 피부 마찰을 통해 열을 발생시키고 피부 수용기인 루피니 말단을 흥분시키며, 이는 교감신경 억제에 기여하여 근 긴장도를 감소시킬 수 있다. 또한 근막 이완 기법을 적용하는 위치에 따라 근건 접합부를 압박하고 근건 접합부에 발생하는 장력은 골지건기관을 흥분시켜 근 긴장도를 감소시켰을 것으로 사료된다[34]. 결국, 근육의 긴장도와 강직도의 감소는 근육의 탄력성을 증가시켜 신체 회복 시간의 유의한 향상에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다[35]. Stanek 등[36]의 연구에서는 건강한 성인 44명을 대상으로 종아리근에 그라스톤 기법을 4분 동안 적용한 결과, 발목 굽힘 관절가동범위가 유의하게 증가하였고($p < 0.05$), Chang 등[37]의 연구에서는 건강한 성인 50명을 대상으로 종아리근에 폼롤러를 1분 동안 20회, 총 3세트에 걸쳐 적용한 결과, 발등 굽힘 관절가동범위는 11.4% 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 본 연구에서도 두 중재 기법 모두 발등 굽힘 관절가동범위를 유의하게 향상시켰다($p < 0.05$). 근육은 요변성의 성질을 가지고 있기 때문에 근막 이완기법을 통한 기계적인 자극을 반복적으로 가함으로써 근육의 긴장도를 감소시키고 탄력성을 향상시켜 발목 굽힘 관절가동범위를 증가시킬 수 있었던 것으로 사료된다[38].

Ballaz 등[39]의 발목 관절가동범위와 보행 속도 사이의 상관관계를 비교한 연구에서는 발목 관절가동범위의 증가가 보행속도의 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나라고 하였으며, 발목의 관절가동범위 감소와 근 강직도의 증가는 보행의 부하반응기 동안 정강이뼈가 전방으로 진행되는 것을 제한시킨다[40]. 본 연구에서 선호하는 보행속도의 유의한 증가는 발등 굽힘 관절가동범위 증가와 근 강직도의 유의한 감소로 인해 보행을 위한 발목의 생체역학적 움직임 중 발목 구르기(ankle rocker)의 향상에 기인했을 것으로 사료된다.

MacDonald[41]은 건강한 성인 48명을 대상으로 종아리근에 그라스톤 기법을 3분 동안 적용한 후 수직 점프 높이를 평가한 결과 유의한 차이가 없었으며($p > 0.05$), Baumgart 등[42]은 운동선수 20명을 대상으로 종아리근에 폼롤러 자가 근막 이완기법을 적용 후 수직 점프 높이를 평가한 결과 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 수직 점프는 하지 펌근들의 동시 수축에 따른 근력과 적절한 수축 순서에 영향을 받기 때문에 종아리근의 이완시키는 그라스톤 기법과 폼롤러 자가 근막 이완 기법은 수직 점프를 향상시키기 어려웠을 것으로 사료된다[8]. 빠른 보행 속도에 가장 크게 영향을 미치는 것은 전흔듬기 단계에서 발생하는 추진력이다[43, 44]. 보행의 추진력은 발바닥 굽힘근의 근력에 크게 영향을 받기 때문에 근막 이완기법을 통해 근력 향상을 기대할

수 없어 본 연구에서 빠른 보행 속도가 유의하게 향상되지 않은 것으로 사료된다[45].

본 연구의 제한점은 대상자들이 건강한 성인으로 종아리 근육의 단축이 없었기 때문에 실제 단축이 있는 대상자들에게 그라스톤 기법과 폼롤러 자가 근막 이완 기법의 적용 결과를 예측할 수 없다는 것이다. 본 연구는 각 중재의 즉각적인 효과만을 비교하였기 때문에 장기간 적용했을 때와 그 효과를 비교하기 어렵다. 또한 각 중재는 5분씩 적용되었기 때문에 적용 시간의 차이에 따른 효과를 규명하기 어렵다. 또한 보행은 양쪽 하지의 조화로운 움직임이 요구되기 때문에 대상자에게 시간적 차이는 두었으나 두 가지 중재를 양쪽 종아리근에 적용하였기 때문에 각 중재의 효과를 명확히 구분하여 설명하기 어려울 수 있다. 따라서, 추후 연구에서는 각 중재에 따라 적용 대상자를 구분하고 중재 적용시간에 따른 변화나 장기간 중재 적용에 따른 효과를 입증하기 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

결론

본 연구에서 그라스톤 기법과 폼롤러 자가 근막 이완 기법은 종아리근의 점탄성 특성, 발목의 발등 굽힘 가동범위, 선호하는 보행 속도를 향상시킬 수 있었으나 두 중재 사이의 즉각적인 변화의 유의한 차이가 없었다. 임상에서 근막이완을 위해 그라스톤 기법은 목표 근육을 국소화하여 적용할 수 있는 장점을 가지고 폼롤러는 넓은 근육 부위에 적용할 수 있다는 장점을 가지기 때문에 치료의 목표에 따라 중재의 선택적인 접근이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. Jung D-Y, Koh E-K, Kwon O-Y, Yi C-H, Oh J-S, Weon J-H. Effect of medial arch support on displacement of the myotendinous junction of the gastrocnemius during standing wall stretching. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39:867-74.
2. Sung KH, Chung CY, Lee KM, Kwon KB, Lee JH, Park MS. Discrepancy between true ankle dorsiflexion and gait kinematics and its association with severity of planovalgus foot deformity. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21:1-8.
3. Cornwall MW, McPOIL TG. Effect of ankle dorsiflexion range of motion on rearfoot motion during walking. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1999;89:272-7.

4. Krupenevich RL, Beck ON, Sawicki GS, Franz JR. Reduced Achilles Tendon Stiffness Disrupts Calf Muscle Neuromechanics in Elderly Gait. *Gerontology*. 2022;68:241-51.
5. Wheeler AH. Myofascial pain disorders: theory to therapy. *Drugs*. 2004;64:45-62.
6. Ikeda N, Otsuka S, Kawanishi Y, Kawakami Y. Effects of instrument-assisted soft tissue mobilization on musculoskeletal properties. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51:2166.
7. Han J, Anson J, Waddington G, Adams R, Liu Y. The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury. *Biomed Res Int*. 2015;2015.
8. Pişirici P, Ekiz MB, İlhan CA. Investigation of the acute effect of myofascial release techniques and dynamic stretch on vertical jump performance in recreationally active individuals. *J Phys Educ Sport*. 2020.
9. Stroiney DA, Mokris RL, Hanna GR, Ranney JD. Examination of self-myofascial release vs. instrument-assisted soft-tissue mobilization techniques on vertical and horizontal power in recreational athletes. *J Strength Cond Res*. 2020;34:79-88.
10. Queiroga MR, Lima LS, de Oliveira LEC, Fernandes DZ, Weber VMR, Ferreira SA, et al. Effect of myofascial release on lower limb range of motion, sit and reach and horizontal jump distance in male university students. *J Bodyw Mov Ther*. 2021;25:140-5.
11. Kang H-S, Lee J-H. The immediate effects of graston instrument-assisted soft-tissue mobilization and self-stretching on the muscular properties of the gastrocnemius in athletes. *Korean Soc Phys Med*. 2020;15:29-35.
12. Rowlett CA, Hanney WJ, Pabian PS, McArthur JH, Rothschild CE, Kolber MJ. Efficacy of instrument-assisted soft tissue mobilization in comparison to gastrocnemius-soleus stretching for dorsiflexion range of motion: A randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2019;23:233-40.
13. Anand B, Gupta G, Deshmukh R. Effects of Foam Rolling and Static Stretching on Lower Back, Hamstrings and Calf Muscles. *Call for Editorial Board Members*.75.
14. Junker D, Stöggel T. The training effects of foam rolling on core strength endurance, balance, muscle performance and range of motion: a randomized controlled trial. *J Sports Sci Med*. 2019;18:229.
15. Lee J, Young A, Erb NJ, Herzog VW. Acute and residual effects of IASTM and roller massage stick on hamstring range of motion. *J Allied Health*. 2020;49:51E-5E.
16. Rhyu HS, Han HG, Rhi SY. The effects of instrument-assisted soft tissue mobilization on active range of motion, functional fitness, flexibility, and isokinetic strength in high school basketball players. *Technol Health Care*. 2018;26:833-42.
17. Seever TC, Mason J, Zech A. Chronic and Residual Effects of a Two-Week Foam Rolling Intervention on Ankle Flexibility and Dynamic Balance. *Front Sports Act Living*. 2022;4:799985.
18. Hussey MJ, Boron-Magulick AE, McLeod TCV, Bacon CEW. The comparison of instrument-assisted soft tissue mobilization and self-stretch measures to increase shoulder range of motion in overhead athletes: a critically appraised topic. *J Sport Rehabil*. 2018;27:385-9.
19. Huang J, Qin K, Tang C, Zhu Y, Klein CS, Zhang Z, et al. Assessment of Passive Stiffness of Medial and Lateral Heads of Gastrocnemius Muscle, Achilles Tendon, and Plantar Fascia at Different Ankle and Knee Positions Using the MyotonPRO. *Med Sci Monit*. 2018;24:7570-6.
20. Yu J-f, Chang T-t, Zhang Z-j. The reliability of MyotonPRO in assessing masseter muscle stiffness and the effect of muscle contraction. *Med Sci Monit*. 2020;26:e926578-1.
21. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang A-G. Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods*. 2009;41:1149-60.
22. Ciacci S, Bartolomei S. The effects of two different explosive strength training programs on vertical jump performance in basketball. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018;10:1375-82.
23. Ayán-Pérez C, Cancela-Carral JM, Lago-Ballesteros J, Martínez-Lemos I. Reliability of sargent jump test in 4-to 5-year-old children. *Percept Mot Skills*. 2017;124:39-57.
24. Rodríguez-Rosell D, Mora-Custodio R, Franco-Márquez F, Yáñez-García JM, González-Badillo JJ. Traditional

- vs. sport-specific vertical jump tests: reliability, validity, and relationship with the legs strength and sprint performance in adult and teen soccer and basketball players. *J Strength Cond Res.* 2017;31:196-206.
25. Miyagawa D, Matsushima A, Maruyama Y, Mizukami N, Tetsuya M, Hashimoto M, et al. Gait training with a wearable powered robot during stroke rehabilitation: a randomized parallel-group trial. *J NeuroEng Rehabil.* 2023;20:54.
 26. Dobkin BH. Short-distance walking speed and timed walking distance: redundant measures for clinical trials? *Neurology.* 2006;66:584-6.
 27. Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age-and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Physical therapy.* 2002;82:128-37.
 28. Cleland BT, Arshad H, Madhavan S. Concurrent validity of the GAITRite electronic walkway and the 10-m walk test for measurement of walking speed after stroke. *Gait & posture.* 2019;68:458-60.
 29. Miller JK, Rockey AM. Foam rollers show no increase in the flexibility of the hamstring muscle group. *J Undergrad Res.* 2006;9:1-4.
 30. Kloubec JA. Pilates for improvement of muscle endurance, flexibility, balance, and posture. *J Strength Cond Res.* 2010;24:661-7.
 31. Gothe NP, McAuley E. Yoga is as good as stretching-strengthening exercises in improving functional fitness outcomes: Results from a randomized controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2016;71:406-11.
 32. Lee J-H, Lee D-K, Oh J-S. The effect of Graston technique on the pain and range of motion in patients with chronic low back pain. *J Phys Ther Sci.* 2016;28:1852-5.
 33. Cheatham SW, Kolber MJ, Cain M, Lee M. The effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10:827.
 34. Schleip R. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation: Part 1. *J Bodyw Mov Ther.* 2003;7:11-9.
 35. Aird L, Samuel D, Stokes M. Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: reliability and symmetry using the MyotonPRO. *Arch Gerontol Geriatr.* 2012;55:e31-e9.
 36. 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;53:160-7.
 37. Chang T-T, Li Z, Zhu Y-C, Wang X-Q, Zhang Z-J. Effects of self-myofascial release using a foam roller on the stiffness of the gastrocnemius-achilles tendon complex and ankle dorsiflexion range of motion. *Front physiol.* 2021;12:718827.
 38. Proske U. Kinesthesia: the role of muscle receptors. *Muscle Nerve.* 2006;34:545-58.
 39. Ballaz L, Plamondon S, Lemay M. Ankle range of motion is key to gait efficiency in adolescents with cerebral palsy. *Clin Biomech.* 2010;25:944-8.
 40. Rao S, Saltzman C, Yack HJ. Ankle ROM and stiffness measured at rest and during gait in individuals with and without diabetic sensory neuropathy. *Gait & posture.* 2006;24:295-301.
 41. MacDonald GZ, Penney MD, Mullaley ME, Cuconato AL, Drake CD, Behm DG, et al. An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. *J Strength Cond Res.* 2013;27:812-21.
 42. Baumgart C, Freiwald J, Kühnemann M, Hotfiel T, Hüttel M, Hoppe MW. Foam rolling of the calf and anterior thigh: biomechanical loads and acute effects on vertical jump height and muscle stiffness. *Sports.* 2019;7:27.
 43. Hayafune N, Hayafune Y, Jacob H. Pressure and force distribution characteristics under the normal foot during the push-off phase in gait. *The foot.* 1999;9:88-92.
 44. Ballaz L, Raison M, Detrembleur C. Decomposition of the vertical ground reaction forces during gait on a single force plate. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2013;13:236-43.
 45. Wade L, Birch J, Farris DJ. Walking with increasing acceleration is achieved by tuning ankle torque onset timing and rate of torque development. *J R Soc Interface.* 2022;19:20220035.