

Effect of Elastic Compression Stocking and Kinesio Taping during Heel-raise Exercise on Muscle Activity, Mechanical Properties, and Muscle Fatigue in Healthy Women

SeongHo Yun¹, Yun Jung Kang², Ji Hyun Kim², Hyeon Hui Do², Seo Young Shin², Su Bin Lee², Jung Won Kwon²

¹Department of Public Health Sciences, Graduate School, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea; ²Department of Physical Therapy, College of Health & Welfare, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Purpose: The purpose of this study was to investigate the effectiveness of the elastic compression stockings and Kinesio taping on muscle activity and mechanical properties in healthy women during the heel raise exercise that causes muscle fatigue.

Methods: Participants were divided into the elastic compression stockings group (ESG, n = 8), Kinesio taping group (KTG, n = 8), and control group (CG, n = 8). All participants performed the heel raise exercise to cause muscle fatigue. Muscle activity, stiffness, and the muscle tone of the gastrocnemius and tibialis anterior were measured before and after the heel raise exercise.

Results: In the gastrocnemius, muscle activity was significantly increased after the heel raise exercise in both the ESG and KTG ($p < 0.05$). There was a significant difference in the change in the gastrocnemius muscle activity between the groups ($p < 0.05$). Post hoc analysis showed that the ESG exhibited a significantly greater change in gastrocnemius muscle activity than the CG ($p < 0.05$). The muscle stiffness of the gastrocnemius was significantly decreased after the heel raise exercise in the ESG ($p < 0.05$). The muscle tone of the gastrocnemius was significantly increased after the heel raise exercise in the control group ($p < 0.05$). There were no significant differences in the change in the gastrocnemius stiffness and muscle tone between the groups ($p > 0.05$). In the tibialis anterior, there were no significant differences in muscle activity, stiffness, and muscle tone between and within the groups ($p > 0.05$).

Conclusion: Our findings suggest that the use of elastic compression stockings and Kinesio taping during the heel raise exercise are beneficial and delay muscle fatigue in the gastrocnemius.

Keywords: Muscle fatigue, Elastic compression stocking, Kinesio taping, Heel raise exercise

서론

근피로(muscle fatigue)는 신체활동 이후 근육의 힘 생성 및 수축능력이 감소된 상태로 집중적으로 반복되는 최대 수축의 결과로 발생하거나 지속적인 최대 이하의 수축이 반복되어 발생한다.¹ 근피로의 발생기전은 근육 내 대사산물의 축적 및 근육으로 유입되는 혈류량이 감소됨에 따라 근육세포의 ATP 생산 능력 감소이다.^{2,3} 근육의 대사 및 에너지 생산 감소는 신경근의 기계적 특성에 변화를 초래한다.^{4,5} 일반적으로 근피로는 근육의 뻣뻣함(stiffness)과 근긴장도(muscle tone)의 증가 및 수축능력과 탄성(elasticity)능력의 감소를 동반한다.^{4,6} 근육의 뻣뻣함과 근긴장도의 증가는 근력 및 균형능력을 감소시키

고,⁷ 근육의 반응시간을 지연시킨다.⁸ 결과적으로 근피로 발생은 근육의 역학을 변화시켜 일상생활 동작 및 신체활동 간 근골격계 손상 및 장애를 유발할 수 있다.⁹ 또한, 근피로에 인한 근골격계 손상 및 장애의 유병률을 성별에 따라 조사한 결과, 여성이 남성 보다 발생률과 위험도가 높았다.¹⁰ 따라서 일상생활 동작 수행 간 근피로에 의해 발생할 수 있는 여성들의 근골격계 손상을 예방하기 위해 근피로를 지연시키거나 예방할 수 있는 처치가 필요하다.

근피로를 지연시키고 예방하는 대표적인 처치로는 마사지, 스트레칭, 탄력 압박 스타킹, 테이핑 등이 있다. 이 중 탄력 압박 스타킹(elastic-compression stocking)과 키네시오 테이핑(kinesio taping)은 다른 방법들에 비해 적용이 간편하여 임상 및 스포츠 분야에서 관절의 보강

Received January 16, 2023 Revised February 15, 2023

Accepted February 17, 2023

Corresponding author Jung Won Kwon

E-mail kjwonpt@gmail.com

Copyright ©2023 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://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.

및 보호, 부종 감소, 고정, 근피로 예방을 목적으로 사용되고 있다. 탄력 압박 스타킹은 종과 횡 방향의 탄력성을 가지고 있으며, 원위부에서 근위부로 압력이 감소하도록 고안된 기능성 의복이다.¹⁰ 탄력 압박 스타킹은 부위별 압박력의 차이를 통해 말초 순환과 정맥의 환류를 촉진하여, 조직 간 체액이 축적되는 것을 방지하여 부종생성을 억제한다.^{11,12} 또한, 근육 펌프(muscle pump)를 자극함으로써, 확장된 혈관 내부의 판막기능을 강화시켜 하지의 혈류 저하를 개선한다.¹² 특히 운동 간 탄력 압박 스타킹은 근 섬유가 수축하는 방향으로 지지함으로써 운동 수행 능력을 향상시킬 뿐만 아니라 혈중 젖산 농도와 근피로 유발에 기여하는 크레아틴 효소(creatine kinase) 생성을 감소시켜 근피로를 예방하는 데 효과적이다.¹⁴⁻¹⁶

키네시오 테이핑은 탄성을 가진 테이프를 이용하는 기법으로 피부 밑 기계적 수용기를 자극함으로써, 고유수용성 감각을 촉진하고, 유해자극수용기에 가해지는 압력을 감소시켜 통증을 완화시킨다.^{17,18} 또한, 키네시오 테이핑을 통한 피부 견인 및 자극은 중추 및 말초신경계에서 모두 운동단위의 발화를 촉진하고 운동피질을 흥분시키는 것으로 알려져 있다.^{19,20} 특히 운동 간 키네시오 테이핑을 적용하는 경우 근육으로 가는 혈류량과 산소의 양을 증가시킴으로써 세포 대사를 촉진함으로써 근육의 수행능력을 향상시키고 근피로 발생을 지연시키거나 예방하는 데 효과가 있다.²¹

이와 같이 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑이 근피로 발생에 미치는 영향에 대한 연구는 다수 보고되고 있으나, 대부분 근피로 발생 기전인 말초 순환 저하 및 대사산물 생성에 중점을 두었다.^{14-16,21} 근피로 발생에 따른 근육의 기계적 특성의 변화는 일상생활 동작 수행에 영향을 미치기 때문에 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑이 근피로 발생과 근육의 기계적 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 정상 여성 성인을 대상으로 근피로를 유발하는 운동 간 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑 적용이 근피로 유발 운동 후 즉각적으로 근활성도, 근육의 뻣뻣함, 근긴장도에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 D 대학교에 재학 중인 20대 여성 30명을 대상으로 실시하였다. 연구 대상자 수는 G-power software (G*power 3.1.9.7, Heinrich-Heine-University, Germany)를 사용하여 결정하였으며, 선행연구를 바탕으로 효과크기 0.8, 유의수준 0.05, 검정력 90%로 산출하였다.²² 대상자의 선정 기준은 다음과 같다. 1) 과거 발목 부위에 외과적인 수술을 받지 않은 자, 2) 말초혈관 질환 및 당뇨가 없는 자, 3) 키네시오 테이핑에 대한 알레르기 반응이 없는 자, 4) 최근 1주일 이내에 하지 근력

운동을 수행하지 않은 자, 5) 발 뒤꿈치 들기 운동(heel raise exercise)을 50회 이상 수행 가능한 자. 모든 대상자는 연구의 목적 및 실험 방법에 대한 설명을 듣고, 연구 참여 동의서를 작성하였다. 대상자들은 탄력 압박 스타킹 그룹(elastic compression stocking, ESG), 키네시오 테이핑 그룹(kinesio taping group, KTG), 대조군으로 각각 10명씩 무작위로 배정되었으며, 데이터 처리 간 오류로 인해 각 그룹당 2명이 제외되어 총 24명의 데이터를 분석하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 근전도(electromyogram, EMG)

근피로 유발 운동 전·후 장딴지근과 앞정강근의 근활성도는 무선 표면 근전도 Telemyo DTS Desk Receiver (Noraxon, USA)를 사용하여 측정되었다. 피부 저항을 최소화하기 위하여 전극 부착 부위를 알코올 솜으로 닦아내고 각 근육에 전극을 부착하였다. 장딴지근은 오금 중 심선으로부터 안쪽으로 2 cm 위치,²³ 앞정강근은 정강뼈 선을 기준으로 가쪽으로 2 cm 위치에 전극을 부착하였다.²⁴ 근활성도 데이터의 표본추출률(sampling rate)은 1,024 Hz로 설정하였으며, 수집된 데이터는 20-250 Hz 대역 통과 필터(band-pass filter)를 적용한 후 실효치 진폭(root mean square, RMS) 처리하였다.

본 연구는 근활성도의 정규화를 위해 %최대 수의적 수축(%maximal voluntary contraction, %MVIC)을 사용하였다. 근피로 유발 운동 전·후 장딴지근과 앞정강근의 근활성도 측정은 우세측 한 발로 선 자세에서 발바닥굽힘을 10초간 유지하며, 총 3회 측정하여 평균값을 사용하였다. 정규화의 기준 값은 선행연구를 기반으로 장딴지근(gastrocnemius, GCM)과 앞정강근(tibialis anterior, TA)의 최대 수의적 등척성 수축을 5초 동안 유지하였으며,²² 3회 반복 측정하여 평균 근전도 신호량을 기준으로 표준화하였다.²⁵

2) 접촉식 연부조직 측정기

근육의 기계적 특성을 측정하기 위해 MyotonPRO (Myoton AS, Tallinn, Estonia)를 사용하였다. MyotonPRO는 탐침부(probe)를 0.18 N의 힘으로 근육(belly) 중앙 부위에 수직으로 접촉한 후, 15 ms 동안 0.4 N의 힘을 가할 때 발생하는 근육의 진동과 가속도를 기반으로 근육의 기계적 특성인 뻣뻣함, 근긴장도, 탄성을 측정하는 기구이다.²⁶ 탄성의 경우 측정의 표준오차가 높아 본 연구에서는 뻣뻣함과 근긴장도의 값을 분석에 사용하였다.²⁷

측정은 근피로 유발 운동 전·후 우세측 장딴지근과 앞정강근의 최대 등척성 수축 자세에서 동일한 측정자에 의해 측정되었으며, 장딴지근의 경우 엎드려 누운 자세에서 최대 발바닥굽힘에서 측정하였으며, 앞정강근의 경우 바로 누운 자세에서 최대 발등굽힘에서 측정하였다. 모든 측정은 MyotonPRO의 멀티스캔 모드를 사용하여, 타진

(tap) 반복 횟수를 5회로 설정하여 측정하여 평균값을 분석에 사용하였다. 측정 부위는 근활성도 측정 부위와 동일하도록 기준점을 표시하였으며, 측정 시 실험에 영향을 주는 주변 소음과 같은 환경적 요인을 배제하였고, 최대 등척성 수축 자세에서 대상자의 움직임이 발생하지 않도록 하였다.

3. 실험방법

대상자들은 근피로 유발 운동 전 근활성도 및 근육의 기계적 특성을 측정하였다. 이후 ESG와 KTG는 각각 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑을 적용한 상태에서 장딴지근의 근피로 유발 운동인 발뒤꿈치 들기 운동(heel-raise exercise)을 실시하였다. 대조군의 경우 어떠한 처치도 적용하지 않은 상태에서 발뒤꿈치 들기 운동을 실시하였다. 발뒤꿈치 들기 운동 간 대상자는 우세측 다리로 한 발 서기 한 자세에서 엉덩·무릎 관절은 펴를 유지하면서 최대 발바닥압력을 반복하였다. 발뒤꿈치 들기 운동은 50회 반복을 1세트로 하여 총 5세트를 진행하였으며, 세트 사이에 3분의 휴식시간을 제공하였다. 근피로는 대상자가 더 이상 운동을 수행하지 못하거나 5세트 모두 수행한 후에 유발된 것으로 판정하였다. 근피로 유발 운동 후 즉각적으로 근활성도 및 근육의 기계적 특성을 측정하였다.

1) 탄력 압박 스타킹(elastic compression stocking)

본 연구의 ESG는 20-30 mmHg 압력의 의료용 탄력 압박 스타킹(Rx-tar 505 compression stocking, Elastic Therapy, Inc., USA)을 착용한 상태에서 발뒤꿈치 들기 운동을 실시하였다. 대상자가 의자에 앉은 상태에서 우세측 종아리의 가장 굵은 부위의 둘레를 측정한 후, 종아리

둘레가 29.5-36 cm 인 경우 S size를 36-42 cm인 경우 M size를 착용하였다. 탄력 압박 스타킹은 우세측 다리의 복사뼈 위에서부터 오금 밑까지 착용하였다(Figure 1A).

2) 키네시오 테이핑(Kinesio taping)

본 연구의 KTG는 너비 5cm의 키네시오 테이프(Nitto kinesiology tape, Nitto Denko, Japan)를 장딴지근과 앞정강근에 적용한 후 발뒤꿈치 들기 운동을 실시하였다. 장딴지근은 엎드려 누운 자세에서 발목관절을 최대한 발등굽힌 상태에서 발뒤꿈치를 시작 지점으로 하여 종아리의 가쪽과 안쪽을 따라 종아리를 감싸듯 키네시오 테이프를 부착하였다(Figure 1B).²⁸ 또한, 보강을 위해 일자 모양의 테이프를 발뒤꿈치에서 시작하여 오금아래까지 부착하였다.²⁸ 앞정강근의 경우 바로 누운 자세에서 발목관절을 최대한 발바닥굽힌 상태에서 첫 번째 췌기뼈와 발허리뼈 바닥을 시작 지점으로 하여, 정강뼈 가쪽관절 용기까지 키네시오 테이프를 부착하였다(Figure 1C).²⁹

4. 자료분석

본 연구에서 수집된 모든 데이터는 SPSS ver. 28.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)를 사용하여 분석하였다. 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였으며, 정규성을 만족하지 못하여 비모수적 검정을 실시하였다. 연구 대상자의 연령, 신장, 몸무게는 기술통계를 실시하였으며, 그룹 간 비교를 위해 Kruskal-Wallis test를 사용하였다.

근피로 유발 운동 전·후 근육의 기계적 특성 및 근활성도에 대한 그룹 내 비교를 위해 Wilcoxon signed rank test를 사용하였으며, 근피로 유발 운동 전·후 변화량에 대한 그룹 간 비교를 위해 Kruskal-Wal-



Figure 1. Elastic compression stocking and Kinesio taping. (A) Elastic compression stocking, (B) Kinesio taping in gastrocnemius, (C) Kinesio taping in tibialis anterior.

lis test를 사용하였다. 그룹 간 유의한 차이가 있을 경우 사후검정을 위해 Mann-Whitney U 검정과 Bonferroni 보정($p < 0.017$)을 사용하였다. 모든 통계 분석의 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

본 연구의 그룹 간 대상자들의 일반적인 특성에는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 1).

Table 1. General characteristics of each group

	ESG (n=8)	KTG (n=8)	CG (n=8)	p
Age (yr)	23.5±2.5	22.8±0.9	22.6±0.9	0.908
Height (cm)	165.1±5.8	161.6±7.8	160.9±6.2	0.650
Weight (kg)	54.8±6.4	53.0±16.0	57.3±13.6	0.653

ESG: elastic compression stocking group, KTG: kinesio taping group, CG: control group.

Table 2. Comparison of muscle activity between and within groups

Muscle	Group	Pre-test	Post-test	p [†]	Difference	p [‡]	Post-hoc
GC (%MVIC)	ESG	41.81±14.33	59.03±15.18	0.017*	17.21±14.62	0.025*	CG<ESG
	KTG	44.05±11.38	58.93±21.52	0.017*	14.88±13.44		
	CG	57.21±10.55	58.08±10.90	0.575	0.87±9.86		
TA (%MVIC)	ESG	11.52±6.76	14.30±15.18	0.575	2.78±11.64	0.954	
	KTG	14.19±9.56	15.58±9.48	0.123	1.39±3.10		
	CG	9.56±4.46	10.81±3.84	0.161	1.25±2.65		

GC: gastrocnemius, TA: tibialis anterior, ESG: elastic compression stocking group, KTG: kinesio taping group, CG: control group. * $p < 0.05$, [†]Wilcoxon signed rank test, [‡]Kruskal-Wallis test.

Table 3. Comparison of muscle stiffness between and within groups

Muscle	Group	Pre-test	Post-test	p [†]	Difference	p [‡]	Post-hoc
GC (N/m)	ESG	346.06±63.39	299.82±71.25	0.036*	-46.24±50.95	0.008*	CG<ESG
	KTG	292.13±61.89	280.69±54.97	0.575	-11.44±52.90		
	CG	295.75±55.41	343.25±75.63	0.050	47.50±49.83		
TA (N/m)	ESG	713.88±101.40	749.75±122.27	0.208	35.88±85.52	0.756	
	KTG	689.00±99.22	698.44±89.18	0.401	9.44±39.02		
	CG	693.25±103.30	720.94±100.01	0.161	27.69±49.51		

GC: gastrocnemius, TA: tibialis anterior, ESG: elastic compression stocking group, KTG: kinesio taping group, CG: control group. * $p < 0.05$, [†]Wilcoxon signed rank test, [‡]Kruskal-Wallis test.

Table 4. Comparison of muscle tone between and within groups

Muscle	Group	Pre-test	Post-test	p [†]	Difference	p [‡]	Post-hoc
GC (Hz)	ESG	17.17±2.47	17.60±2.79	0.779	0.43±2.20	0.229	
	KTG	15.71±2.12	15.79±1.70	0.833	0.08±1.35		
	CG	16.30±1.96	17.39±2.03	0.012*	1.09±0.75		
TA (Hz)	ESG	26.01±3.54	26.19±4.42	0.833	0.18±2.14	0.573	
	KTG	23.46±3.39	23.20±3.31	0.362	-0.26±0.74		
	CG	25.24±3.05	25.74±2.82	0.327	0.49±1.36		

GC: gastrocnemius, TA: tibialis anterior, ESG: elastic compression stocking group, KTG: kinesio taping group, CG: control group. * $p < 0.05$, [†]Wilcoxon signed rank test, [‡]Kruskal-Wallis test.

근피로 유발 운동 전·후 그룹 내 장딴지근의 근활성도를 비교한 결과, ESG와 KTG에서 근피로 유발 후 장딴지근의 근활성도가 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 장딴지근 근활성도의 변화량에 대한 그룹 간 비교에서 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 사후분석 결과 ESG의 장딴지근 근활성도 변화량이 대조군에 비해 유의하게 컸다($p < 0.017$)(Table 2). 하지만 앞정강근의 근활성도는 근피로 유발 운동 전·후 모든 그룹에서 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 2).

장딴지근의 뻣뻣함은 ESG에서 근피로 유발 운동 후 유의하게 감소하였으며($p < 0.05$), 그룹 간 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 사후분석 결과 대조군에서는 장딴지근의 뻣뻣함이 증가하였으나 ESG에서는 감소하였으며 유의한 차이가 있었다($p < 0.017$). KTG에서도 장딴지근의 뻣뻣함이 감소하였으나 대조군과 유의한 차이가 없었다($p > 0.017$)(Table 3). 앞정강근의 뻣뻣함은 근피로 유발 운동 전·후 모든 그룹에서 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 3).

근피로 유발 운동 후 장딴지근의 근긴장도는 대조군에서 유의하

게 증가하였으나($p < 0.05$), ESG와 KTG에서는 유의한 차이가 없었으며, 근긴장도의 변화량에 대한 그룹 간 비교에서도 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 4). 앞정강근의 경우 모든 그룹에서 근피로 유발 운동 전·후 근긴장도에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 4).

고 찰

본 연구는 20대 여성을 대상으로 근피로를 유발하는 운동 간 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑 처치가 근피로 유발 운동 직후 장딴지근과 앞정강근의 근활성도 및 근육의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 1) 발뒤꿈치 들기 운동 시 탄력 압박 스타킹 착용은 근피로 유발 운동 직후 장딴지근의 근활성도를 증가시키며, 근육의 뻣뻣함을 크게 감소시킨다. 2) 키네시오 테이핑은 근피로 유발 동작 직후 장딴지근의 근활성도를 증가시키고, 근육의 뻣뻣함을 약간 감소시킨다. 3) 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑은 근피로 유발 동작 직후 장딴지근의 근긴장도를 유지시킨다. 발뒤꿈치 들기 운동으로 유발된 근피로는 장딴지근의 근활성도를 감소시키고, 뻣뻣함과 근긴장도를 증가시키기 때문에 본 연구의 결과는 발뒤꿈치 들기 운동 시 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑 처치가 장딴지근의 근피로를 지연시키거나 예방하는 데 효과가 있다는 것을 의미한다.

본 연구결과 ESG는 근피로 유발 동작 이후 장딴지근의 근활성도가 유의하게 증가하였으며, 대조군에 비해 더 큰 근활성도의 변화량을 보였다. 현재까지 탄력 압박 스타킹이 근활성도에 미치는 영향은 여전히 논란의 여지가 되고 있다. 일부 선행연구들에서는 탄력 압박 스타킹 착용이 운동 수행 능력은 향상시키지만, 근활성도에는 영향을 미치지 않거나, 감소시킨다고 보고하였다.³⁰⁻³² 반면, 탄력 압박 스타킹을 장기간 착용 후 근활성도를 분석한 선행연구에 따르면, 착용 기간이 길어질수록 장딴지근과 앞정강근의 근활성도가 증가되었으며, 이는 탄력 압박 스타킹의 압박력이 저항으로 작용하여 해당 근육의 근활성도를 증가시킨 것이라고 보고하였다.³³ 또한, 운동 시 국소 부위에 적절한 압력이 주어지는 경우 운동 단위(motor unit)의 동원을 촉진하고,³⁴ 피부 촉각 기계 수용체(cutaneous tactile mechanoreceptor)를 자극하여 근활성도를 증가시킬 수 있다.^{35,36} 탄력 압박 스타킹이 근활성도에 미치는 영향에 대한 선행연구들의 상반된 결과는 압박력의 차이가 원인으로 사료된다.³⁷ 본 연구의 결과는 탄력 압박 스타킹의 압박력이 발뒤꿈치 들기 운동 시 근육 수축에 대한 저항으로 작용하여 장딴지근의 운동 단위를 추가 동원하였으며, 이에 따라 근피로 유발 동작 후 즉각적으로 근활성도를 증가시킨 것으로 생각된다.

본 연구결과에서 KTG의 경우 근피로 유발 동작 이후 장딴지근의 근활성도가 유의하게 증가하였다. 다양한 적용 조건 및 근육에서 키

네시오 테이핑 적용에 따른 근활성도 증가는 여러 선행연구들을 통해 입증되었다.³⁸⁻⁴⁰ 장딴지근에 키네시오 테이핑을 적용한 선행연구에서는 테이핑 적용 후 안쪽 장딴지근의 근활성도가 증가하였으며,³⁶ 다른 연구에서는 넙다리내갈래근에 키네시오 테이핑을 적용하고 근피로를 유발시킨 결과 넙다리내갈래근의 근활성도가 증가하였다.⁴⁰ 키네시오 테이핑이 근활성도를 증가시키는 정확한 기전은 밝혀져 있지 않지만, 키네시오 테이핑의 촉각 자극이 피부 밀 기계 수용체와 근육의 Ia 섬유를 자극하고,^{41,42} 이에 따라 중추 신경계를 활성화시킬 수 있기 때문으로 알려져 있다.¹⁹ 이러한 선행연구를 기반으로 본 연구의 결과는 키네시오 테이핑으로 인한 들심성 자극이 중추 신경계의 운동단위를 활성화시켜, 근피로 유발 동작 후 즉각적으로 근활성도를 증가시킨 것으로 생각된다. 하지만, 그룹 간 장딴지근의 근활성도의 변화량을 비교한 결과, KT그룹과 대조군 사이에는 장딴지근의 근활성도 변화량에 유의한 차이가 없었다. 이 결과는 발뒤꿈치 들기 운동은 장딴지근 근섬유의 동원을 촉진하는 운동이므로, 대조군에서도 발뒤꿈치 들기 운동이 장딴지근 근활성도에 영향을 미쳤기 때문에 유의한 차이가 없는 것으로 생각된다.

근육의 기계적인 특성 측면에서 본 연구의 ESG는 발뒤꿈치 들기 운동 이후 장딴지근의 뻣뻣함이 유의하게 감소하였으며, 변화량을 분석한 결과 대조군과 유의한 차이가 있었다. 뻣뻣함은 외부 힘이나 근수축에 의해 근섬유의 조직이 전위(displacement)를 일으키는 데 요구되는 강도로 높을수록 수축에 대한 저항력이 크다는 것을 의미한다.⁴³ 일반적으로 근피로가 유발되면 해당 근육의 뻣뻣함은 증가하기 때문에,^{44,45} 본 연구의 결과는 탄력 압박 스타킹이 발뒤꿈치 들기 운동 간 장딴지근의 근피로 발생을 지연시키거나 예방한다는 것을 의미한다. 운동 시 탄력 압박 스타킹 적용이 근육의 뻣뻣함에 미치는 영향을 조사한 연구에 따르면, 탄력 압박 스타킹은 사이질액(interstitial fluid)의 생성을 감소시킴으로써 근육의 뻣뻣함을 감소시키는 데 효과적이라고 보고하였다.⁴⁶ 또한, 운동 간 탄력 압박 스타킹 착용은 근육 내 진동(muscle oscillation)을 감소시킴으로써 근육의 에너지 소비를 줄여 근피로를 지연시키거나 예방하는 데 효과적이다.¹³ 따라서 근피로 유발 동작 간 탄력 압박 스타킹 착용은 최적의 신경근 환경을 제공함으로써, 근피로를 지연시키거나 예방하는 데 효과적인 것으로 생각된다.

한편, 본 연구에서 KTG는 발뒤꿈치 들기 운동 후 장딴지근의 뻣뻣함이 감소되긴 했지만 유의한 차이는 없었다. 키네시오 테이핑은 부착 방향에 따라 근육의 기시점(origin)을 시작으로 정지점(insertion)까지 붙이는 촉진법과 근육의 정지점을 기준으로 시작점까지 붙이는 억제법으로 분류된다.^{47,48} 키네시오 테이핑의 부착 방향이 근육의 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 조사한 연구에 따르면, 촉진법은 근육의 뻣뻣함과 긴장도에 영향을 미치지 않지만, 억제법은 영향을 미치

지 않는다.⁴⁹ 본 연구의 장딴지근 키네시오 테이핑 부착 방법은 장딴지근의 정지점인 뒤꿈치부터 기시점인 넓다리뼈 위관절 용기 방향으로 부착하였기 때문에, 장딴지근의 팽팽함에 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다.

근육의 기계적인 특성 중 근긴장도의 경우 대조군에서만 발뒤꿈치 들기 운동 후 장딴지근의 근긴장도가 유의하게 증가하였고, ESG와 KTG에서는 유의한 차이가 없었다. 근긴장도는 자발적인 근수축이 없는 상태에서도 존재하는 근육의 고유 진동으로 일반적으로 근피로도와의 양의 상관 관계가 있다.⁵ 따라서 ESG와 KTG에서 발뒤꿈치 들기 운동 후 장딴지근의 근긴장도에 변화가 없었던 본 연구의 결과는 운동 간 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑 적용이 장딴지근의 근피로를 지연시키는 데 효과가 있다는 것을 의미한다.

본 연구의 앞정강근의 경우 모든 그룹에서 발뒤꿈치 들기 운동 전·후 근활성도, 근육의 팽팽함, 근긴장도에 유의한 차이가 없었다. 발뒤꿈치 들기의 주동근은 장딴지근이며, 앞정강근은 발가락뺨근과 함께 길항근으로 작용한다.⁵⁰ 발뒤꿈치 들기 운동을 통해 장딴지근에 근피로도를 유발한 뒤 하지의 근활성도를 분석한 선행 연구에서는 앞정강근의 근활성도에는 변화가 없었다고 보고하였다.⁵¹ 또한, 주동근의 근피로 유발 동작은 길항근의 근활성도와 근피로 발생에 큰 영향을 미치지 않는다.⁵² 따라서 본 연구의 결과는 앞정강근은 발뒤꿈치 들기 운동에 대한 피로 저항성이 장딴지근에 비해 크며, 이에 따라 발뒤꿈치 들기 운동 후 앞정강근의 근활성도, 팽팽함, 근긴장도에 변화가 없었던 것으로 생각된다.

결론적으로 발뒤꿈치 들기 운동 간 탄력 압박 스타킹과 키네시오 테이핑 처치는 장딴지근의 근활성도와 기계적인 특성에 긍정적인 영향을 미치며, 근피로를 지연시키거나 예방하는 데 효과가 있다. 따라서 임상적으로 장딴지근을 강화시키기 위해 발뒤꿈치 들기 운동을 실시하는 경우 장딴지근의 근피로 발생을 줄이기 위해 탄력 압박 스타킹 또는 키네시오 테이핑 적용이 필요하다. 하지만 본 연구는 대상자 수가 적었고, 20대 성인 여성으로 편중되어 다른 연령 및 성별에 일반화하기에는 어려움이 있다. 또한, 장딴지근에 근피로 유발 후 즉각적인 변화만 조사하였기 때문에, 장기적인 변화를 확인할 수 없다. 향후 연구에서는 다양한 연령층을 대상으로 장기적인 변화를 조사할 필요가 있다.

REFERENCES

1. Reece A. Investigating the effects of subclinical neck pain, cervical treatment, and neck muscle fatigue on wrist joint position sense. Brock University. Dissertation of Master's Degree. 2019.
2. Westerblad H, Allen DG, Bruton JD et al. Mechanisms underlying the reduction of isometric force in skeletal muscle fatigue. *Acta Physiol Scand*. 1998;162(3):253-60.
3. Sahlin K, Tonkonogi M, Söderlund K. Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiol Scand*. 1998;162(3):261-6.
4. Lee GJ, Nam JH. A study on the electromyography change for analysis of rectus femoris muscle stiffness with muscle fatigues. *J Korea Inst Inf Commun Eng*. 2010;14(10):2317-23.
5. Roja Z, Kalkis H, Roja I. Measuring muscle fatigue in relation to the workload of health care workers. *Procedia Manuf*. 2015;3:4189-96.
6. Nicol C et al. Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance: I. Changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scand J Med Sci*. 1991;1(1):10-7.
7. Al-Mulla MR, Sepulveda F, Colley M. A review of non-invasive techniques to detect and predict localised muscle fatigue. *Sensors*. 2011;11(4):3545-94.
8. Zhou S, Carey MF, Snow RJ et al. Effects of muscle fatigue and temperature on electromechanical delay. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 1998;38(2):67-73.
9. Arndt A, Ekenman I, Westblad P et al. Effects of fatigue and load variation on metatarsal deformation measured in vivo during barefoot walking. *J Biomech*. 2002;35(5):621-8.
10. Yang C, Côté JN. Sex-specific effects of localized muscle fatigue on upper body kinematics during a repetitive pointing task. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):1-12.
11. Kim JS, Kim HJ, Woo YH et al. Effects on changes in femoral vein blood flow velocity with the use of lower extremity compression for critical patients with brain injury. *J Korean Acad Nurs*. 2009;39(2):288-97.
12. Alimi YS, Barthelemy P, Juhan C. Venous pump of the calf: a study of venous and muscular pressures. *J Vasc Surg*. 1994;20(5):728-35.
13. Swedborg I. Effects of treatment with an elastic sleeve and intermittent pneumatic compression in post-mastectomy patients with lymphoedema of the arm. *Scand J Rehabil Med*. 1984;16(1):35-41.
14. Bringard A, Perrey S, Belluye N. Aerobic energy cost and sensation responses during submaximal running exercise-positive effects of wearing compression tights. *Int J Sports Med*. 2006;27(05):373-8.
15. Chatard JC, Atlaoui D, Farjanel J et al. Elastic stockings, performance and leg pain recovery in 63-year-old sportsmen. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93(3):347-52.
16. Kraemer WJ, Bush JA, Wickham RB et al. Continuous compression as an effective therapeutic intervention in treating eccentric-exercise-induced muscle soreness. *J Sport Rehabil*. 2001;10(1):11-23.
17. Firth BL, Dingley P, Davies ER et al. The effect of kinesiotape on function, pain, and motoneuronal excitability in healthy people and people with Achilles tendinopathy. *Clin J Sport Med*. 2010;20(6):416-21.
18. Zhang S, Fu W, Pan J et al. Acute effects of Kinesio taping on muscle strength and fatigue in the forearm of tennis players. *J Sci Med Sport*. 2016;19(6):459-64.
19. Ridding M, Brouwer B, Miles TS et al. Changes in muscle responses to stimulation of the motor cortex induced by peripheral nerve stimulation in human subjects. *Exp Brain Res*. 2000;131(1):135-43.
20. Lim HW. Does kinesio taping improve vertical jumping performance? *J Kor Phys Ther*. 2016;28(5):269-73.
21. Kase KJA. Clinical therapeutic applications of the kinesio (!R) taping method. 2nd ed. Tokyo, Kinesio Taping Association, 2003.
22. Choi JH. Effects of kinesio taping on muscle tone, stiffness in patients

- with shoulder pain. *J Korean Soc Phys Med.* 2017;12(3):43-7.
23. Ko YM, Park S, Lim CH et al. Study on the correlation between the imbalance of muscle strength and the score of EMG-biofeedback game at ankle joint in healthy adults. *J Kor Phys Ther.* 2015;27(6):386-91.
 24. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(5):361-74.
 25. Kim SH, Lee JI. Comparison of trunk muscle activity during static standing position and standing position on therapeutic climbing wall. *J Kor Phys Ther.* 2014;26(1):27-32.
 26. Viir R, Virkus A, Laiho K et al. Trapezius muscle tone and viscoelastic properties in sitting and supine positions. *Scand J Work Environ Health.* 2007;33(3):76.
 27. Frllich-Zwahlen A, Casartelli NC, Item-Glatthorn JF et al. Validity of resting myotonometric assessment of lower extremity muscles in chronic stroke patients with limited hypertonia: a preliminary study. *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24(5):762-9.
 28. Chu IH. The effects of compression bandage therapy and taping therapy applied to physical therapists with lower extremity edema and pain. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2012.
 29. Lee D, Bae Y. Short-term effect of kinesio taping of lower-leg proprioceptive neuromuscular facilitation pattern on gait parameter and dynamic balance in chronic stroke with foot drop. *Healthcare.* 2021;9(3):271.
 30. Kang HJ, Lee BK, Kim KH. Effects of wearing compression stockings on number of repetitions, heart rate, exercise duration and iEMG during five sets of 10 repetition maximum (RM) squats. *The Official Journal of the Korean Academy of Kinesiology.* 2016;18(2):9-17.
 31. Zhang S, Fu W, Xia R et al. Compression apparel does not have an acute effect on quadriceps strength but is associated with changes in muscle activation patterns. *Isokinet Exerc Sci.* 2016;24(1):59-65.
 32. Wang P, McLaren J, Leong KF et al. A pilot study: evaluations of compression garment performance via muscle activation tests. *Procedia Eng.* 2013;60:361-6.
 33. Lee JY, Yuk SH, Yoo HG et al. Effect of wearing a compression stocking on electromyogram of the legs. *Korean J Clin Lab Sci.* 2019;51(2):185-90.
 34. Fu W, Xiong X. The effect of different external elastic compression on muscle strength, fatigue, EMG and MMG activity. *ISBS-Conference Proceedings Archive.* 2009.
 35. Moberg E. The role of cutaneous afferents in position sense, kinaesthesia, and motor function of the hand. *Brain.* 1983;106(1):1-19.
 36. Sperlich B, Born DP, Swarén M et al. Is leg compression beneficial for alpine skiers? *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2013;5(1):1-12.
 37. Hintzy F, Gregoire N, Samozino P et al. Effect of thigh-compression shorts on muscle activity and soft-tissue vibration during cycling. *J Strength Cond Res.* 2019;33(8):2145-52.
 38. Gez-Soriano J, Abián-Vicén J, Aparicio-García C et al. The effects of kinesio taping on muscle tone in healthy subjects: a double-blind, placebo-controlled crossover trial. *Man Ther.* 2014;19(2):131-6.
 39. Chen WC, Hong WH, Huang TF et al. Effects of kinesio taping on the timing and ratio of vastus medialis obliquus and vastus lateralis muscle for person with patellofemoral pain. *J Biomech.* 2007;40(2):S318.
 40. Ślupik A, Dwornik M, Białoszewski D et al. Effect of kinesio taping on bioelectrical activity of vastus medialis muscle. preliminary report. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2007;9(6):644-51.
 41. Akbas E, Ahmet A, Yuksel I. The effects of additional kinesio taping over exercise in the treatment of patellofemoral pain syndrome. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2011;45(5):335-41.
 42. Konishi Y. Sport, tactile stimulation with kinesiology tape alleviates muscle weakness attributable to attenuation of Ia afferents. *J Sci Med Sport.* 2013;16(1):45-8.
 43. Kim CS, Kim MK. Mechanical properties and physical fitness of trunk muscles using Myoton. *The Korean Journal of Physical Education.* 2016;55(1):633-42.
 44. Morisada M, Okada K, Kawakita K. Quantitative analysis of muscle hardness in tetanic contractions induced by electrical stimulation in rats. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97(6):681-6.
 45. Descarreaux M, Lafond D, Cantin V. Changes in the flexion-relaxation response induced by hip extensor and erector spinae muscle fatigue. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010;11(1):1-7.
 46. Sugahara I, Doi M, Nakayama R et al. Acute effect of wearing compression stockings on lower leg swelling and muscle stiffness in healthy young women. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2018;38(6):1046-53.
 47. Choi IR, Lee JH. Effect of kinesiology tape application direction on quadriceps strength. *Medicine.* 2018;97(24):e11038.
 48. Gusella A, Bettuolo M, Contiero F et al. Kinesiologic taping and muscular activity: a myofascial hypothesis and a randomised, blinded trial on healthy individuals. *J Bodyw Mov Ther.* 2014;18(3):405-11.
 49. Lopes M, Torres R, Romão D et al. Kinesiology tape increases muscle tone, stiffness, and elasticity: Effects of the direction of tape application. *J Bodyw Mov Ther.* 2022;30:176-80.
 50. Gentil P, Souza D, Santana M et al. Multi- and single-joint resistance exercises promote similar plantar flexor activation in resistance trained men. *Int J Environ Health Res.* 2020;17(24):9487.
 51. Patikas D, Michailidis C, Bassa H et al. Electromyographic changes of agonist and antagonist calf muscles during maximum isometric induced fatigue. *Int J Sports Med.* 2002;23(04):285-9.
 52. Kellis E, Kellis S. Effects of agonist and antagonist muscle fatigue on muscle coactivation around the knee in pubertal boys. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001;11(5):307-18.