

## 수정된 PNF 발목 움직임 패턴이 능동적 발등 굽힘 가동범위 및 다리 근활성도에 미치는 영향

김인균<sup>1</sup> · 최수홍<sup>2</sup> · 이상열<sup>3†</sup>

<sup>1</sup>서울스카이재활의학과의원, <sup>2</sup>부산 대학교병원 재활의학과, <sup>3</sup>경성대학교 물리치료학과

### The Effects of Modified PNF Ankle Movement Patterns on Active Dorsiflexion Range of Motion and Leg Muscle Activity

In-Gyun Kim, P.T., M.S.<sup>1</sup> · Su-hong Choi, P.T., Ph.D.<sup>2</sup> · Sang-yeol Lee, P.T., Ph.D.<sup>3†</sup>

<sup>1</sup>*Seoul Sky Rehabilitation Hospital*

<sup>2</sup>*Department of Rehabilitation Medicine, Busan National University Hospital*

<sup>3</sup>*Department of Physical Therapy, Kyungsung University*

Received: October 18, 2023 / Revised: November 7, 2023 / Accepted: November 13, 2023

© 2023 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### | Abstract |

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the effects of modified ankle movement patterns on participants' active dorsiflexion range of motion and leg muscle activity.

**Methods:** This study recruited twenty-five participants, all of whom were healthy individuals with no abnormalities in the ankle or knee joints. The research methodology involved measuring the active dorsiflexion range of motion and muscle activity in each person's legs based on the presence or absence of toe extension while the subjects were in a comfortable, supine position. A statistical analysis was conducted using SPSS 25.0, and a paired samples t-test was employed. The significance level was set at 0.05.

**Results:** When the participants demonstrated the modified ankle movement pattern with a controlled toe grip, there was an increase in their active dorsiflexion angle. However, during the proprioceptive neuromuscular facilitation technique without a controlled toe grip, a higher level of activity was observed in the leg muscles.

**Conclusion:** The results of this study could be used as foundational data for establishing a rehabilitation exercise program designed to enhance range of motion and muscle activation in the ankle joint.

**Key Words:** Dorsiflexion, Range of motion, Muscle activity, PNF

†Corresponding Author : Sang-yeol Lee (sjslh486@ks.ac.kr)

## I. 서론

정상적인 보행을 위해서는 발목 관절의 정상적인 발등 굽힘 가동 범위가 중요하다(Sahmann, 2010). 정상 발등 굽힘 가동 범위는 보행 중 흔들기(swing phase)에 많은 영향을 미친다(Kim et al., 2001). 특히 정상 보행 시 최소 10도 이상 발등 굽힘 가동 범위가 요구된다. 하지만 발등 굽힘에 문제가 생기면 보행뿐만 아니라 더 많은 발등 굽힘 가동 범위가 요구되는 계단 내려 오기, 쪼그려 앉기와 같은 일상생활 동작이 어려울 수도 있다(Collins et al., 2004).

발등 굽힘 제한의 원인은 아킬레스 힘줄 염증(Wilder & Shikha, 2004), 앞정강근 스트레스 증후군(Duquette & Andrews, 2010), 무릎 넙다리 증후군(Weon et al., 2020), 불편한 신발 착용으로 생긴 과도한 근육 피로(Ko et al., 2008)와 같은 근육 및 힘줄 등의 문제로 발생된다.

발등 굽힘에 영향을 주는 근육은 넙다리곧은근과 앞정강근, 발가락 폼근들이 있다. 넙다리곧은근은 엉덩관절 굽힘과 무릎관절 폼에 영향을 준다. 하지만 보행 시 흔들기에서 발목관절의 움직임에 영향을 줄 수 있다고 하였으며(Perry J & Burnfield, 2010), 넙다리곧은근의 과활성화는 발목 관절의 움직임을 제한할 수 있다고 하였다(Titchenal et al., 2017). 앞정강근은 발등 굽힘에서 가장 높은 활성화 비중을 차지하며, 발목관절의 안정성 유지에 가장 큰 역할을 한다. 또한, 긴엄지발가락 폼근과 긴발가락 폼근은 앞정강근과 함께 발등 굽힘 협력근으로 작용하여 원활한 발등 굽힘이 일어날 수 있게 한다(Franck et al., 2005). 하지만 앞정강근과 발가락 폼근들의 약화 및 마비는 발 처짐(Foot drop)과 같은 발등 굽힘 문제를 만들 수 있다(Reynard et al., 2009)

발등 굽힘 제한 문제를 해결하기 위해서 일반인에게 스트레칭 운동법을 적용하였으며(Lee & Cho, 2022), 축구 선수와 높이뛰기 선수들에게도 운동법으로 발등 굽힘 제한 문제를 해결하려고 하였다(Martinez et al., 2022; Lagas et al., 2021). 또한 뇌졸중 환자, 뇌성

마비 아동 등 환자에게 고유수용성 신경근 촉진법(Proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF) 스트레칭법을 사용하여 발등 굽힘 제한 문제를 개선할 수 있었다(Ryu & Hong, 2020; Shrivastava et al., 2022) 이와 같이 많은 선행 연구들이 발등 굽힘의 가동 범위를 개선시키기 위하여 노력하였다.

하지만 대부분의 선행 연구들은 발등 굽힘 개선 운동 시 발가락 선행 움직임에 대한 내용이 빠져 있다. 발등 굽힘 근육의 닿는 곳은 발목 관절을 지나 발가락에 존재하기에 발가락의 움직임은 발목 관절에 영향을 준다. 특히 발가락의 변형(toe deformity)인 망치발가락(hammers toe)은 과도한 발가락 폼 근육의 사용으로 앞정강근 근육 활성도를 저하시킨다고 하였으며(Kwon et al., 2009), 무지 외반증(hallux varus)도 발등 굽힘 제한에 영향을 미친다고 하였다(Munuera et al., 2012). 그렇기 때문에 발가락 움직임의 통제 유무가 판단되지 않을 경우 제대로 된 발등 굽힘 평가와 치료를 할 수 없을 것이다.

임상 대부분 환자들은 발등 굽힘 시 발가락 폼을 사용하고 있으며, 치료적인 부분에서도 PNF의 발목 움직임 패턴에서도 발등 굽힘을 위해 발가락 폼을 유도하고 있다. 하지만 발가락 폼을 통제된 발등 굽힘에 대한 선행 연구가 부족하며 정확한 발등 굽힘 평가와 치료적인 부분의 근거 마련이 필요할 것이다. 그러므로 본 연구에서는 발등 굽힘 시 발가락 폼을 통제하는 수정된 PNF 발목 움직임 패턴이 능동적 발등 굽힘 시 관절 가동 범위와 다리 근활성도에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 부산 K 대학의 학생들을 대상으로 시행하였다. 대상자는 최근 3개월 이내에 발목관절과 무릎관절에 이상이 없는 20-30 대 25명을 대상으로 실험하

었다. 대상자는 자발적인 동의 하에 참가하였으며, 실험에 대한 방법을 충분히 설명을 듣고, 본 연구의 목적을 인지한 후 본 실험에 참여하였다.

## 2. 측정방법 및 도구

발목관절 가동범위 측정을 위해 전자 관절 각도계를 사용하였으며, 다리 근활성도와 근 수축 개시 시간 측정을 위해 표면근전도 시스템(MOT10, PhysioLab, Korea)을 사용하였다. 전극은 Ag/AgCl의 표면전극을 사용하였다. 근전도 신호의 표본 추출 주파수는 2,000 Hz로 설정하였으며, 15~500Hz의 주파수 대역폭과 SW Filter의 60Hz notch filter를 사용하였다. 근 수축 개시 시작점은 운동의 10초 동안 앞뒤 2초씩 제외한 6초 동안 측정된 근전도 신호를 200ms 기간의 평균값에 대한 표준편차를 구하여 3SD(standard deviation)에 도달하는 시점을 근 수축 개시 지점이라고 지정하였다.

## 3. 실험 절차

대상자는 편안하게 누운 상태에서 무릎관절 안정성을 위해 무릎 아래에 받침을 놓은 상태에서 시작하였다. 모든 측정은 우세 발을 기준으로 측정하였다. 발목관절은 자연스러운 발목 관절 0도 상태에서 시작하였다(Fig. 1-a) PNF의 발목 움직임 패턴의 발가락 펴는 상태에서 능동적 발등 굽힘(Fig. 1-b)과 발가락 펴는

통제하는 수정된 PNF 발목 움직임 패턴의 능동적 발등 굽힘(Fig. 1-c)에 따른 발목 관절 가동 범위 측정과 능동적 발등 굽힘에 관여하는 앞정강근과 긴엄지발가락뼈근과 PNF 발목 움직임 패턴 적용 시 영향을 받을 수 있는 넙다리곧은근의 근 개시 시간과 근활성도를 측정하였다. 근전도 신호의 정규화 하기 위해 최대 자발적 등척성 근수축(maximal voluntary isometric contraction: MVIC)을 측정하였다.

발목관절 가동 범위는 3번 측정 후 평균값을 도출하였다. 다리 근육 활성도 측정은 긴엄지발가락뼈근 전극 부착 부위는 정강뼈와 바깥 복사뼈 사이의 1/3지점에 부착하였다(Ko et al., 2011). 앞정강근의 전극 부착 부위는 종아리뼈와 안쪽 복사뼈 1/3 근 힘살부에 부착하였으며(Ko et al., 2008), 넙다리곧은근의 전극 부착 부위는 앞면의 엉덩뼈 능선과 무릎 중간 지점에 부착하였다(Kang et al., 2012). 다리 근육의 근활성도는 3번 측정 후 평균값을 측정하였다.

## 4. 자료 분석

발가락 펴는 통제 유무에 따른 발등 굽힘 시 발목관절의 가동 범위 비교, 근육 간의 개시 시간 비교, 근활성도 비교를 위해서 대응 표본 t검정 사용하였으며, 발등 굽힘 근육 간의 상관관계 분석을 위해 피어슨 상관관계분석을 사용하였다. 통계 프로그램은 SPSS 25.0 (IBM SPSS Inc, USA)을 사용하였고, 유의수준은 0.05로 설정하였다.



Fig. 1. Active dorsiflexion (a. neutral, b. PNF ankle movement, c. Modified ankle movement).

Table 1. General characteristics of subjects (n=25)

Characteristics	Mean±SD
Age	24.85±4.70
BMI	22.35±1.79

Each value represents the mean±SD, BMI: Body mass index

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참여한 대상자는 25명으로 평균연령은 24.85±4.70세, BMI 지수는 22.35±1.79이다(Table 1).

#### 2. 발등 굽힘 시 발가락 폼 통제 유무에 따른 발목 관절의 가동범위 비교

발목관절 가동범위는 발가락의 폼을 통제하지 않은 발등 굽힘 시에는 15.17±5.21° 로 나타났으며, 발가락의 폼을 통제한 발등 굽힘 시에는 22.63±4.96° 로 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2).

#### 3. 발가락 폼 통제 유무에 따른 발등 굽힘 근육간의 개시 시간 비교

발가락의 폼을 통제하지 않은 발등 굽힘 근육의 개시 시간은 긴엄지발가락뽀근은 0.85±0.29초, 앞정강근은 1.05±0.35초, 넙다리곧은근은 1.14±0.32초 순서로 개시되었다. 발가락의 폼을 통제한 발등 굽힘 근육의 개시 시간은 긴엄지발가락뽀근은 0.83±0.28초, 앞정강

Table 2. Comparison of the range of motion of the ankle joint during dorsiflexion with and without control of toe movements (unit: °)

	TOE	NTOE	t	p
ROM	15.17±5.21	22.63±4.96	10.74	0.00*

\*p<.05

Each value represents the mean±SD, ROM: Range of motion  
NOTE: dorsiflexion with controlled toe extension, TOE: dorsiflexion without control of toe extension

Table 3. Comparison of onset times between dorsiflexor muscles with and without control of toe movements (unit: sec)

Onset times	TOE	NTOE	t	p
EHL	0.85±0.29	0.83±0.28	0.21	0.83
TA	1.05±0.35	0.67±0.24	4.55	0.00*
RF	1.14±0.32	1.00±0.29	1.61	0.12

\*p<.05

Each value represents the mean±SD, EHL: Extensor hallucis longus, TA:Tibialis anterior, RF:Rectus femoris

근은 0.67±0.24초, 넙다리곧은근은 1.00±0.29초의 순서로 개시되었다. 발가락의 폼 통제 유무에 따른 발등 굽힘 개시 시간에서는 앞정강근만 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 3).

#### 4. 발등 굽힘 시 발가락 폼 통제 유무에 따른 다리 근육의 근활성도 비교

발등 굽힘 시 긴엄지발가락뽀근의 근활성도는 발가락의 폼을 통제하지 않았을 때 13.75±5.54이며, 발가락의 폼을 통제하였을 때 13.91±7.58으로 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

발등 굽힘 시 앞정강근의 근활성도는 발가락의 폼을 통제하지 않았을 때 59.56±26.67이며, 발가락의 폼을 통제하였을 때 41.47±19.48으로 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

발등 굽힘 시 넙다리곧은근의 근활성도는 발가락의 폼을 통제하지 않았을 때 12.95±8.01이며, 발가락의 폼을 통제하였을 때 9.70±7.98으로 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 4).

Table 4. Comparison of muscle activity of leg muscles during dorsiflexion with and without control of toe movements (unit:%MVIC)

	TOE	NTOE	t	p
EHL	13.75±5.54	13.91±7.58	-0.07	0.94
TA	59.56±26.67	41.47±19.48	-4.64	0.00*
RF	12.95±8.01	9.70±7.98	-2.85	0.00*

\*p<.05

Each value represents the mean±SD,

Table 5. Correlation between leg muscles with and without control of toe movement during dorsiflexions

		EHL	TA	RF
EHL	Pearson correlation	1	0.45*	0.11
TA	Pearson correlation		1	0.23
RF	Pearson correlation			1

\*  $p < .01$

#### 5. 발등 굽힘 시 발가락 폼 통제 유무에 따른 다리 근육간의 상관 관계

발등 굽힘 시 발가락 폼 통제 유무에 따른 긴엄지발가락뻘근과 앞정강근, 넙다리곧은근간에 상관 관계를 보기 위하여 피어슨의 상관계수를 측정하였다. 긴엄지발가락뻘근과 앞정강근은 유의한 양의 상관관계를 나타내었다(Table 5).

### IV. 고 찰

이 연구의 목적은 발가락 폼을 통제하는 수정된 PNF 발목 움직임 패턴이 능동적 발등 굽힘 시 관절 가동 범위와 다리 근활성도(긴엄지발가락뻘근, 앞정강근, 넙다리곧은근)에 미치는 영향을 알아보는 것이다. 그 결과 능동적 발등 굽힘 시 발가락 폼 통제가 있는 수정된 PNF 발목 움직임 패턴 시 발등 굽힘 가동 범위가 유의하게 증가하였다. 반면에 발가락 폼 통제가 없는 PNF 발목 움직임 패턴 시 넙다리곧은근과 앞정강근의 근활성도는 더 높은 수치의 유의함을 보였으며, 긴엄지발가락뻘근과 앞정강근의 근활성도는 양의 상관관계를 보였다.

이러한 연구 결과를 설명하기 위해서 다음과 같은 이유가 있다. 발목 관절의 발등 굽힘의 능력은 앞정강근의 55%, 긴엄지발가락뻘근 15%, 긴발가락뻘근 30%가 작용한다(Franck et al., 2005).

발등 굽힘 시에는 앞정강근만 사용되기보다는 긴엄지발가락뻘근과 긴발가락뻘근이 협력근으로 작용

한다. 해부학적으로 긴엄지발가락뻘근은 종아리뼈 중간의 앞면과 뼈사이막에서 엄지발가락 먼쪽발가락뼈에 붙는다. 긴발가락뻘근은 정강뼈의 가쪽관절융기에서 둘째에서 다섯번째 발가락들의 중간과 먼쪽발가락뼈들에 붙는다. 또한 앞정강근은 정강뼈의 가쪽관절융기에서 시작하여 안쪽췌기뼈와 첫번째발허리뼈 바닥에 붙기 때문에 발목 관절과 발가락관절의 움직임에 영향을 주게 된다(Neumann, 2016). 본 연구 결과에 따르면 발가락의 폼 통제 유무에 따른 긴엄지발가락뻘근의 수축 개시 시간에는 큰 차이가 없었다. 하지만 발가락 폼을 통제하지 않은 능동적 발등 굽힘 시는 앞정강근의 늦은 수축 개시 시간에 영향을 주어 협력근 우세현상을 만들었다. 협력근 우세현상은 발등 굽힘에 가장 많은 비중을 차지하는 앞정강근에 비해 발가락 뻘근들이 더 우세하게 작용하면서 발목 관절이 단축된 위치에 있게 함으로써 길이-장력관계에 의해 발가락 뻘근들이 앞정강근 보다 더 큰 장력을 형성하게 되는 현상이다. 이로 인해 발목 관절을 능동 불충분 상태(active insufficiency)로 만들어 능동적 발등 굽힘 시 발목 관절의 가동 범위의 제한을 가져오게 된 것이다(Jeon & Jang, 2017; Kisner C, 2012; Sahrmann, 2010). 그러므로 본 연구 결과처럼 발가락 움직임을 통제한 수정된 PNF 발목 움직임 패턴이 발목 관절 가동 범위가 더 크게 나타난 것으로 생각된다.

다리 근활성도의 변화는 주동근과 협력근에 따른 결과이다. 앞정강근은 발등 굽힘 및 안쪽 굽힘 동작을 만들며, 약화 시 발목 관절의 발등 굽힘이 감소된다고 하였다. 또한 긴엄지발가락뻘근도 발등 굽힘 및 안쪽 굽힘을 일으키며 약화 시 발 처짐을 일으킨다고 하였다(Kendall, 2005). 이렇듯 앞정강근과 긴엄지발가락뻘근은 발등 굽힘에 관여하며, 발등 굽힘 근육들의 약화는 발등 굽힘 제한에 큰 영향을 주게 된다(Reynard et al., 2009). 본 연구에서는 발가락 폼 통제 유무에 따른 능동적 발등 굽힘 시 발가락뻘근의 근 개시 시간 및 근활성도에서는 큰 차이가 없었다. 그렇기 때문에 능동적 발등 굽힘 시 앞정강근의 사용에 발가락 뻘근들은 발가락 폼 통제 유무에 상관없이 협력근으로 작

용하였다. 하지만 발가락 폼을 통제한 수정된 PNF 발목 움직임 패턴에서는 발가락 폼근 보다 앞정강근 개시 시간이 더 빠르게 나타나며 발가락 폼근들이 협력근으로 작용하기에 짧은 시간 적용되었기에 앞정강근 활성화도에 미치는 영향이 낮았을 것이라고 생각된다.

또한 PNF의 강조를 위한 타이밍(timing for emphasis)에서도 본 연구의 결과를 뒷받침해줄 수 있다. 강조를 위한 타이밍이라는 것은 특정 관절이나 원하는 관절의 활동을 촉진시키기 위해 정상적인 운동 순서를 변형시킬 수 있는 방법이다. 발목 관절에서 정상적인 타이밍을 적용한 운동은 발가락 굽힘-발바닥 굽힘-뒤침-안쪽번짐 자세로 시작하는 자세이며, 강조를 위한 타이밍은 발가락 폼-발등굽힘-옆침-가쪽번짐으로 이어지는 자세이다(Adler et al., 2007). 이는 다리의 움직임에서 최대 수축력을 유지하기 위하여 원위부인 발가락관절 폼을 이용하여 근위부인 발목 관절과 무릎관절의 최대 수축력을 유도하기에 본 연구처럼 발가락의 폼근의 작용이 근위부의 앞정강근과 넙다리곧은근의 높은 근활성에 기여하였을 것이라고 생각된다. Stecco 등(2008) 연구에 따르면 발가락 폼근과 앞정강근, 넙다리곧은근은 표면 앞쪽 근막으로 연결되어 있으며, 연결된 근막내의 근육들은 서로 상호 의존 관계를 형성하고 있다. 선행 연구 Siddiqi 등(2015) 연구는 발가락 폼의 사용이 앞정강근의 높은 근활성도에 영향을 주었다고 하였기에 본 연구와 비슷한 결과를 뒷받침해줄 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 발가락 폼근들의 작용이 직접적으로 넙다리곧은근의 근활성도 증진에 대한 상호관계는 본 연구에서는 확인하기 힘들었지만, 발등 굽힘근의 최대 수축력이 넙다리곧은근의 높은 근활성도를 발생시킬 수 있다는 점은 Kwon과 Lee(2013) 연구를 기반으로 본 연구의 결과를 뒷받침할 수 있을 것이다.

임상에서 능동적 발등 굽힘 시 발가락 폼을 대부분 허용하고 있으며, 발가락 선행 움직임에 대해 신경 쓰지 않고 있다. 특히 발등 굽힘 각도 제한은 제대로 된 보행이 어렵고, 보행의 어려움은 자연스럽게 다리 근육의 비정상적인 발달을 가져올 수 있을 것이다.

그렇기 때문에 제대로 된 발등 굽힘 관절 각도의 회복은 정상적인 다리 근육의 사용과 정상적 보행을 만들 수 있을 것이다.

본 연구에 결과처럼 능동적 발등 굽힘 각도 회복을 목적으로 하는 운동방법에서는 발가락 폼의 통제를 하는 수정된 발목 움직임 패턴을 통한 발등 굽힘이 필요 할 것이다. 하지만 단순한 각도 회복이 목적이 아니라 발 처짐 등의 이유로 비정상적인 하지 근육의 훈련이 필요한 경우에는 오히려 다리 근육활성도를 높여 주는 발가락 통제를 하지 않는 PNF 발목 움직임 패턴 운동이 더 좋은 결과를 가져올 것으로 생각된다. 또한 다리뿐만 아니라 팔에서도 손가락 폼을 이용한 손목 관절 폼 운동은 손목 처짐(wrist drop)과 같은 비정상적인 손목 폼 근육 약화 환자들에게 적용 시 보다 효과적인 재활방법이 될 수 있을 것이라고 생각된다. 본 연구의 제한점은 능동적 발등 굽힘 시 일어나는 발목 관절의 회전적인 요소를 완전히 제한하지 못하였다. 추후 연구에서는 발목 관절의 회전 요소를 추가하여 발목 관절 움직임 제한에 대한 연구를 진행할 것이며, 손목에서도 일어날 수 있는 움직임 제한에 대한 연구를 기반으로 팔다리 모두 적용 가능한 재활 방법 제시를 할 수 있도록 하겠다.

## V. 결론

본 연구는 발가락 폼을 통제한 수정된 발목 움직임 패턴이 능동적 발등 굽힘 가동 범위와 다리 근활성도에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다. 연구 결과 발가락 폼을 통제한 수정된 발목 움직임 패턴에서는 능동적 발등 굽힘 관절 각도가 증가하였다. 하지만 발가락 폼을 통제하지 않은 PNF 발목 움직임 패턴은 다리근육의 근활성도가 높게 나타났다.

본 연구의 결과는 임상에서 발목 관절의 가동 범위 및 근활성도 증진을 위한 재활 운동 프로그램 수립을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이라 생각한다.

## References

- Adler SS, Beckers D, Buck M. PNF in practice: an illustrated guide. Springer. Science & Business Media. 2007.
- Collins N, Teys P, Vicenzino B. The initial effects of a Mulligan's mobilization with movement technique on dorsiflexion and pain in subacute ankle sprains. *Manual therapy*. 2004;9(2):77-82.
- Duquette AM, Andrews DM. Tibialis anterior muscle fatigue leads to changes in tibial axial acceleration after impact when ankle dorsiflexion angles are visually controlled. *Human Movement Science*. 2010;29(4):567-577.
- Franck WM, Olk A, Hennig FF. Combined rupture of the tibialis anterior and the extensor hallucis longus tendons—functional reconstruction. *Archives of Orthopedic and Trauma Surgery*. 2005;125(4):277-280.
- Lee JH, Cho JW. Comparative study on the immediate effect of performing gastrocnemius stretching with and without myofascial release of the sole on ankle dorsiflexion angles and gastrocnemius muscle tone in subjects with limited ankle dorsiflexion. *Journal of The Korean Society of Physical Medicine*. 2022;17(1):109-116.
- Jeon IC, Jang JH. Comparison of prone hip extension exercise and prone hip extension exercise after iliopsoas stretching on lumbopelvic control and gluteus maximus activity in subjects with short iliopsoas. *Journal of Musculoskeletal Science and Technology*. 2017;1(1):19-25.
- Kang MH, Kim JW, Yoon JY, et al. The effect of changes in patellar height using infra-patellar strap on the EMG activity of quadriceps muscles during a squat exercise in adults with patellar baja. *Physical Therapy Korea*. 2012;19(1):37-45.
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG. Muscles: testing and function with posture and pain. Baltimore. *Williams and Wilkins*. 2005.
- Kim DY, Park CI, Jang YW, et al. Kinematic and kinetic comparison between stair climbing and level walking. *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*. 2001;25(6):1048-1058.
- Kisner C, Colby LA. Therapeutic exercise: foundation and techniques, 6th edition. Philadelphia. FA Davis Company. 2012.
- Ko EH, Choi HS, Kim TH, et al. The effect of high-heeled shoes with total contact inserts in the gait characteristics of young female adults during lower extremity muscle fatigue. *Korean Research Society of Physical Therapy*. 2008;15(1):38-45.
- Kwon OY, Tuttle LJ, Johnson JE, et al. Muscle imbalance and reduced ankle joint motion in people with hammer toe deformity. *Clinical Biomechanics*. 2009;24(8):670-675.
- Kwon YJ, Lee HO. Activity of Knee Flexors and Extensors on Change of Ankle Joint Position. *Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2013;11(2):111-117.
- Lagas IF, Meuffels DE, Visser E, et al. Effects of eccentric exercises on improving ankle dorsiflexion in soccer players. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2021;22(1):485.
- Martinez AF, Scatone SR, Paschoal, BLF, et al. Association of ankle dorsiflexion and landing forces in jumping athletes. *Sports Health*. 2022;14(6):932-937.
- Munuera PV, Trujillo P, Güiza I. Hallux interphalangeal joint range of motion in feet with and without limited first metatarsophalangeal joint dorsiflexion. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2012;102(1):47-53.
- Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system-e-book: foundations for rehabilitation. Elsevier Health Sciences. 2016.
- Perry J, Burnfield JM. Gait analysis. Normal and pathological

- function, 2nd ed. California. Slack. 2010.
- Reynard F, Deriaz O, Bergeau J. Foot varus in stroke patients: muscular activity of extensor digitorum longus during the swing phase of gait. *The Foot*. 2009;19(2):69-74
- 1.1. Ryu BH, Hong HP. The comparison of the effects of joint mobilization, incline board and PNF stretching to increase the dorsiflexion of the ankle joint on ankle dorsiflexion and the muscle tone of the plantar flexor the ankle in subjects with stroke. *Korean Academy of Orthopedic Manipulative Physical Therapy*. 2022;26(1):55-63.
- Sahrmann S. Movement system impairment syndromes of the extremities, cervical and thoracic spines. St. Louis. Elsevier Health Sciences, 2010.
- Shrivastava T, Kumar S, Viratia V. Kinesio Taping Along with PNF Stretching Improved Ankle Dorsiflexion in Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy. *The Scientific Temper*. 2022;13(02):302-308.
- Siddiqi A, Arjunan SP, Kumar D. Improvement of isometric dorsiflexion protocol for assessment of tibialis anterior muscle strength. *MethodsX*. 2015;2:107-111.
- Stecco C, Porzionato A, Lancerotto L, et al. Histological study of the deep fasciae of the limbs. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2008;12(3):225-230
- Titchenal MR, Chu CR, Erhart-Hledik JC, et al. Early changes in knee center of rotation during walking after anterior cruciate ligament reconstruction correlate with later changes in patient-reported outcomes. *The American Journal of Sports Medicine*. 2017;45(4):915-921.
- Weon YS, Ahn SH, Kim JH, et al. Comparison of knee muscle strength and ankle dorsiflexion range of motion between standing workers with and without patellofemoral pain syndrome. *Physical Therapy Korea*. 2020;27(4):241-249.
- Wilder RP, Shikha S. Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clinics in Sports Medicine*. 2004;23(1):55-81.