

Original Article

Open Access

엄지발가락별림을 강조한 PNF 다리패턴 시 엄지발가락별림근을 활성화시킬 수 있는 가장 효과적인 방법은?

김용훈 · 박두진†

마산대학교 물리치료학과, ¹부산가톨릭대학교 물리치료학과

What is the Most Effective Way to Facilitate the Abductor Hallucis Muscle during PNF Leg Pattern-Emphasized Hallux Abduction?

Yong-Hun Kim, P.T., Ph.D · Du-Jin Park, P.T., Ph.D[†]

Department of Physical Therapy, Masan University

¹Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: January 28, 2020 / Revised: February 12, 2020 / Accepted: February 17, 2020

© 2020 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: This study aimed to determine the most effective way to facilitate the abductor hallucis muscle during PNF leg pattern-emphasized hallux abduction.

Methods: The study recruited 18 healthy adults. All participants agreed voluntarily to take part in the study following an explanations of its purpose and procedures. They randomly performed the PNF leg pattern-emphasized hallux abduction variations in a hook-lying or sitting position. Activation of the abductor hallucis (AbH), adductor hallucis (AdH), extensor hallucis longus (EHL), and tibialis anterior (TA) muscles, and the ratio of AbH/AdH, were measured during PNF exercises using electromyography. One-way repeated ANOVA was used to compare the activation of foot intrinsic and extrinsic muscles during the four PNF exercises.

Results: PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using normal timing was significantly higher in TA compared to PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using timing for emphasis, regardless of the starting position. The PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using timing for emphasis in the hook-lying position was significantly higher in AbH than in other exercises. Although there was no statistically significant difference in the ratio of AbH/AdH, it was higher in the hook-lying position.

Conclusion: PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using timing for emphasis in the hook-lying position can be recommended as a method to optimize the activation of AbH and the ratio of AbH/AdH.

†Corresponding Author : Du-Jin Park (djpark35@cup.ac.kr)

Key Words: Abductor hallucis, Foot, PNF

I. 서론

발은 선 자세에서 체중을 지지하고 인체 균형을 유지하는데 중요한 역할을 수행하며(Hedrick, 1996), 보행 시 불규칙한 지면에 대한 적응력을 향상시킬 뿐만 아니라 추진력을 발생시키는데 기여한다(Saltzman & Nawoczenski, 1995). 이러한 발의 기능은 수동적인 구조와 능동적인 구조에 의해 유지된다. 수동적 구조에는 대표적으로 스프링 인대와 발바닥근막이 있으며, 이는 발활(foot arch)의 위치가 내려가는 것을 예방한다(Neumann, 2016). 이와 더불어 능동적인 구조인 발의 외재근(extrinsic muscle)과 내재근(intrinsic muscle) 역시 발활을 유지하는데 기여한다. 대표적인 발의 외재근인 앞정강근(tibialis anterior), 뒤정강근(tibialis posterior), 긴종아리근(peroneus longus) 등은 선 자세를 유지하는 동안 안쪽세로활(medial longitudinal arch)에 안정성을 제공뿐만 아니라 발목뼈중간관절(midtarsal joint)의 안정화에도 도움을 준다(O'Connor & Hamill, 2004). 그리고 엄지발가락별림근(abductor hallucis), 엄지발가락모음근(adductor hallucis) 같은 내재근은 보행 시 발활에 순간적으로 작용하는 외력에 대항하여 안쪽세로활에 동적 안정성을 제공한다(McKeon et al., 2015).

발의 내재근은 허리의 코어 시스템과 유사하게 발의 코어 시스템을 구성하는 중요한 국소 근육(local muscle)이며, 짧은 모멘트팔(moment arm)으로 인해 일차적인 발활의 안정성을 높이는데 기여한다(McKeon et al., 2015). 이러한 근육들 중 엄지발가락별림근은 발꿈치뼈 뒤안쪽에서 시작하여 엄지발가락뼈의 종자뼈 혹은 몸쪽 발가락뼈에 정지하며, 엄지발가락의 굽힘 및 벌림, 그리고 발꿈치뼈의 안쪽번짐에 관여한다(Kendall et al., 2005). 특히, 이 근육은 안쪽세로활의 구조와 기능을 유지하는데 필수적인 근육이다(Jung et al., 2011). 편평발(flat foot) 및 엄지발가락가쪽힘증

(hallux valgus) 등의 발과 관련된 질환은 엄지발가락별림근의 기능이상도 있으며, 이를 강화할 수 있는 운동으로는 발가락 오므리기 운동(toe curl exercise), 숏풋 운동(short foot exercise), 발가락 펼침 운동(toe spread out exercise) 등이 추천된다(Chung et al., 2016; Jung et al., 2011; Kim et al., 2013).

숏풋 운동은 허리의 국소 근육을 강화하는 기본 운동인 복부 드로잉 전략(abdominal drawing-in maneuver)처럼 발과 발목의 내재근을 강화하는 기본 운동으로 여겨진다(McKeon et al., 2015). 이는 내재근의 선택적인 활동을 촉진하는 운동이며(Sauer et al., 2011), 발가락 오므리기 운동에 비해 편평발 및 만성발목불안정성이 있는 대상자의 몸감각계의 기능 회복, 발목의 근력 증진, 발활과 발목의 안정성 개선, 그리고 엄지발가락별림근의 활동을 촉진하는데 효과적이라 하였다(Chung et al., 2016; Jung et al., 2011; Lee et al., 2019; Lim, 2017). 그리고 발가락 펼침 운동은 엄지발가락가쪽힘증이 있는 대상자의 엄지발가락별림근의 활동과 첫 번째 발허리발가락관절(metatarsophalangeal joint)의 수평면에서 벌림이 숏풋 운동에 비해 크게 나타났다(Kim et al., 2013). 이외에도 최근 연구에 의하면, 엄지발가락별림을 강조한 PNF 운동이 발가락 펼침 운동만큼이나 엄지발가락별림근, 모음근, 굽힘근의 근활성도 및 엄지발가락별림근과 모음근의 비율을 개선시키는데 효과적임을 보고하였다(Kim & Park, 2018).

발의 안정성을 위해서는 내재근뿐만 아니라 외재근의 조화로운 활동이 매우 중요하지만(McKeon et al., 2015), 선행 연구에서는 PNF 운동 시 발의 내재근의 활동만을 규명하였다(Kim & Park, 2018). 그리고 PNF 기본 절차인 타이밍에는 정상적인 타이밍과 강조를 위한 타이밍(timing for emphasis)으로 구분된다. 정상적인 타이밍은 움직임의 정상적인 순서를 촉진하기 위한 방법이며, 강조를 위한 타이밍은 특정 분절이나

원하는 분절의 활동을 촉진시키기 위해 정상적인 운동 순서를 변형시킬 수 있는 방법이다(Adler et al., 2014). 선행 연구에서는 엄지발가락의 벌림에 대한 움직임을 PNF 기본 절차 중 정상적인 타이밍(normal timing)으로만 적용하여 강조를 위한 타이밍과 비교 분석이 어렵다(Kim & Park, 2018). 그리고 선행 연구의 엄지발가락벌림을 강조한 PNF 운동은 엄지발가락가쪽힘증이 있는 대상자에 대한 결과임으로 이를 다양한 질환에게 적용하는데 제한적이며, 임상 적용과 운동의 효용성을 높이기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

더하여, 닫힌사슬운동은 열린사슬운동에 비해 앞정강근, 긴엄지발가락편근 등과 같은 먼쪽의 기능적인 근활동을 촉진시키는데 유용하며(Komatsu et al., 2019), PNF의 발목 패턴 시 정확한 자세 조절을 위해 임상에서 주로 사용된다(Kim, 2019). 그리하여 본 연구는 엄지발가락벌림을 강조한 PNF운동이 타이밍과 수행 자세에 따라 발의 내재근과 외재근에 미치는 효과를 분석하여 가장 효과적인 엄지발가락벌림을 강조한 PNF 운동 방법을 알아보고자 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 18명의 건강한 성인 여성을 대상으로 실시하였으며, 연구 과정과 목적을 충분히 이해하고 동의한 자로 대상자를 선정하였다. 그리고 다음의 기준에 해당하는 자는 대상자에서 제외하였다. 발의 변형 혹은 질환이 있는 자, 운동 수행이 불가능한 자, 신경학적 질환이 있는 자는 연구 대상자에서 제외하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 근활성도 측정

발의 내재근과 외재근의 활성도를 측정하기 위해 표면 근진도(TeleMyo 2400T, Noraxon Inc., USA)를 사용하였으며, 표본추출율과 대역폭은 1,000Hz와 20~400Hz로 설정하였다. 엄지발가락벌림근, 엄지발가락모음근, 긴엄지발가락편근(extensor hallucis longus), 그리고 앞정강근의 활성도를 측정하기 위해 우세측 다리를 선정하였으며, 우세측 다리는 공을 가장 멀리 찬 쪽으로 정하였다(Letafatkar et al., 2019). 표면 전극은 다음과 같이 우세측 다리에 부착하였다. 엄지발가락벌림근은 발배뼈 결절 뒤쪽 대략 1~2cm 가상의 선 앞쪽, 안쪽 복사뼈 앞 가장자리에 전극을 부착하고, 엄지발가락모음근은 몸쪽 3번째 발허리발가락관절 횡단면에 가장 두드러진 근육부에 전극을 부착하며, 엄지발가락편근은 가쪽 발목 복사뼈를 기준으로 세 손가락 위에 위치한 정강이뼈와 종아리뼈 사이에 전극을 부착하였다(Arinci Incel et al., 2003). 앞정강근은 무릎과 발목 사이 거리의 1/4거리의 정강뼈의 내측 측에 옆으로 평행하게 부착한다(Cram et al., 1998).

2) 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)

각 근육의 활성도를 표준화하기 위해 최대 수의적 등척성 수축을 실시하였으며, 근육별 검사 자세는 근력 측정 자세를 기준으로 하였다(Hislop et al., 2013). 최대 수의적 등척성 수축은 근육별 총 2회에 걸쳐 5초간 측정하였으며, 처음과 마지막 1초를 제외한 3초간의 평균값으로 산출하였다. 모든 운동은 5초간 총 2회에 걸쳐 실시하였으며, 처음과 마지막 1초를 제외한 3초간의 평균값을 결과 분석에 사용하였다. 최대 수의적 등척성 수축에 대한 측정 후, 근피로도를 예방하기 위해 1분간의 휴식을 제공하였다.

3) 엄지발가락벌림근/엄지발가락모음근 비율(AbH/AdH ratio)

엄지발가락모음근과 엄지발가락벌림근의 동시 수축을 분석하기 위해 AbH/AdH 비율을 사용하였으며, 선행 연구의 정량화 방식인 엄지발가락벌림근의 %MVIC값에 엄지발가락모음근의 %MVIC값을 나누어 계산하였다(Kim & Park, 2018).

3. 실험 절차

모든 대상자는 측정 전 약 30분간 각 자세에 따른 운동방법에 대한 교육훈련을 받았으며, 충분한 숙지 후 무작위로 각 운동을 실시하였다. 4가지의 운동방법은 다음과 같다. 누운 자세에서 발꿈치를 고정한 채, PNF 하지 패턴 중 엉덩관절 굽힘-벌림-안쪽돌림 패턴의 발목 움직임에서 먼저 발가락편과 함께 발가락벌

림에 대한 정상적인 타이밍을 적용하여 동시에 실시하면서 발등굽힘-엮침-가쪽번짐 순서로 운동을 수행하였다(Fig. 1). 동일한 자세에서 발가락편과 더불어 발등굽힘-엮침-가쪽번짐 후 발가락벌림에 대한 강조를 위한 타이밍을 적용하였다(Fig. 2). 앉은 자세에서 발꿈치를 고정한 채, PNF 하지 패턴 중 엉덩관절 굽힘-벌림-안쪽돌림 패턴의 발목 움직임에서 먼저 발가락편과 함께 발가락벌림에 대한 정상적인 타이밍을 적용하여 동시에 실시하면서 발등굽힘-엮침-가쪽번짐 순서로 운동을 수행하였다(Fig. 3). 그리고 앉은 자세에서 발가락편과 더불어 발등굽힘-엮침-가쪽번짐 후 발가락벌림에 대한 강조를 위한 타이밍을 적용하였다(Fig. 4). 모든 시작 자세에서는 PNF의 기본 원리에 기초하여(Alder et al., 2014) 해당 다리 패턴과 관련된 주동근을 신장시키기 위해 무릎관절을 약 80°정도 굽힘하여 운동을 실시하였다.

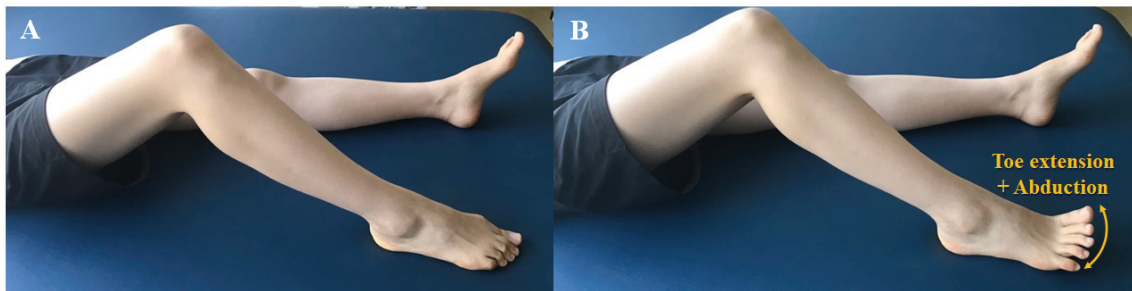


Fig. 1. PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using normal timing in hook-lying: A) start position, B) normal timing application.

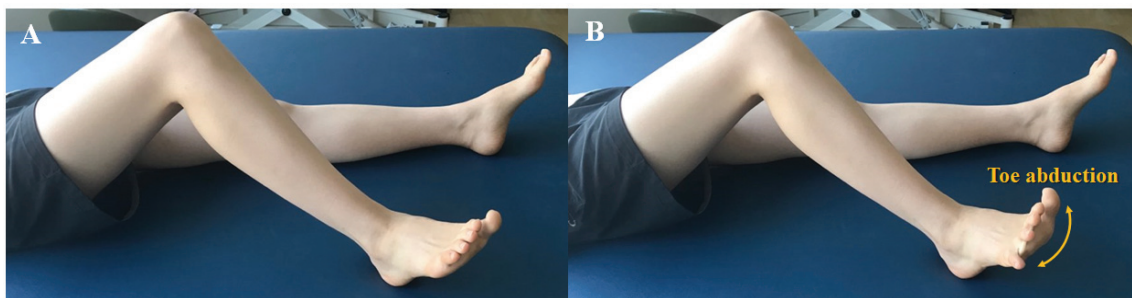


Fig. 2. PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using timing for emphasis in hook-lying: A) start position, B) timing for emphasis application.

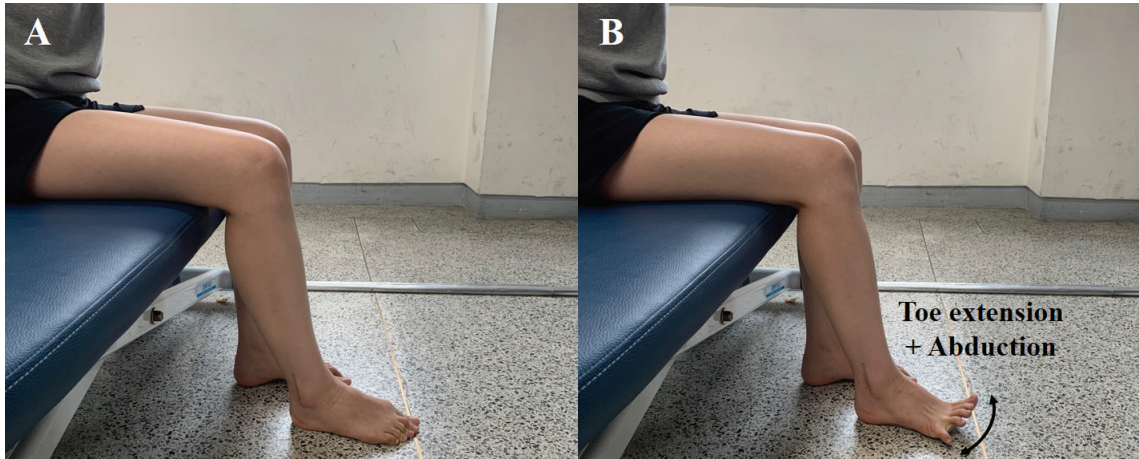


Fig. 3. PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using normal timing in sitting: A) start position, B) normal timing application.

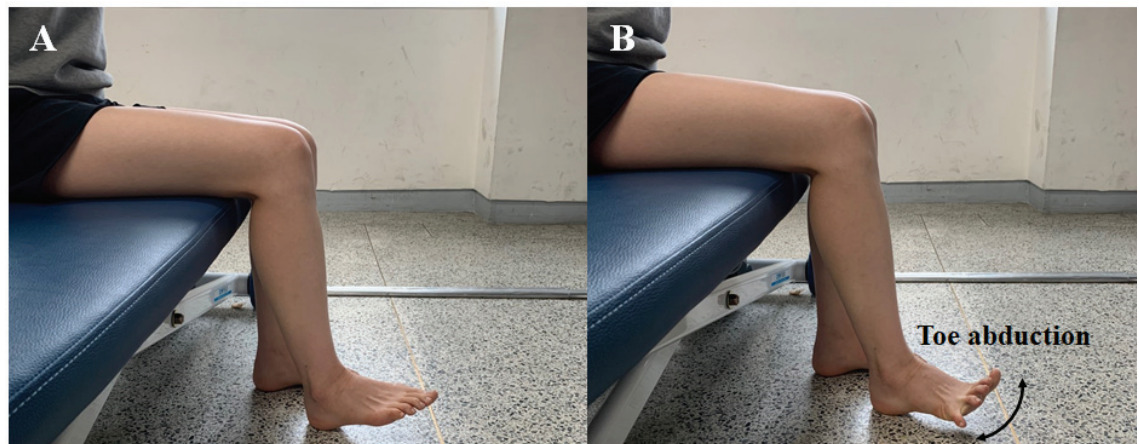


Fig. 4. PNF leg pattern-emphasized hallux abduction using timing for emphasis in sitting: A) start position, B) timing for emphasis application.

각 운동방법에 따라 5초간 걸쳐 근활성도를 측정하였으며, 처음 1초와 마지막 1초를 제외한 3초간의 평균값을 자료분석에 이용하였다. 운동방법에 따라 총 2회씩 측정을 실시하였으며, 근피로도를 예방하기 위해 동일한 운동과 각 운동 사이의 휴식시간은 1분과 3분간 적용하였다.

4. 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료 중 대상자의 일반적인

특성은 기술통계로 분석하였으며, 타이밍방법 및 수행 자세에 따른 발의 내재근과 외재근의 활성화 차이를 알아보기 위해 반복측정 분산분석(repeated ANOVA)을 실시하였다. 사후 검정은 Bonferroni의 다중비교분석 방법을 사용하였다. 그리고 통계 분석은 SPSS 25.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였으며, 통계적 유의 수준은 0.05로 하였다.

III. 연구 결과

본 연구에 참가한 대상자는 18명의 건강한 성인 여성으로 구성되었다. 모든 대상자의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

Table 1. Descriptive statistics for subjects

Variable	Mean±SD
Age	22.06±0.80
Height (cm)	161.44±5.02
Weight (kg)	57.72±7.87
BMI (kg/m ²)	22.11±2.50
Gender	Female 18(100%)
Dominant foot	Right= 3(72.22%), Left=5(27.78%)

2. 운동방법에 따른 근활성도 비교

엄지발가락벌림을 강조한 PNF 운동 시 발의 내재근과 외재근의 활성화 및 Abd/Add 비율은 다음과 같다 (Table 2). 앞정강근의 활성화는 운동방법 사이에 유의한 차이를 보였으며, 누운 자세와 앉은 자세에서 정상 타이밍을 적용한 방법은 누운 자세와 앉은 자세에서 강조 타이밍을 적용한 방법에 비해 유의하게 높게 나

Table 2. Descriptive statistics of normalized EMG data of four muscles and abductor hallucis/adductor hallucis ratio during PNF leg pattern-emphasized hallux abduction variations with two starting positions (n=18)

	Hook-lying position		Sitting position		F	p
	Normal timing	TE	Normal timing	TE		
TA (%MVIC)*	65.09±15.71 ^a	51.57±20.79 ^b	65.17±14.74 ^a	47.54±22.55 ^b	6.75	0.01
EHL (%MVIC)	81.63±41.01	76.00±40.39	78.56±35.27	65.59±33.63	1.43	0.33
AdH (%MVIC)	46.88±22.95	56.33±28.11	61.94±38.55	54.99±31.47	1.50	0.24
AbH (%MVIC)*	38.82±17.96 ^a	64.98±30.48 ^b	44.77±20.12 ^{a,b}	57.86±31.14 ^{a,b}	5.88	0.03
AbH/AddH ratio	1.18±1.21	1.70±1.94	1.19±1.30	1.56±1.51	2.53	0.10

TE: timing for emphasis, TA: tibialis anterior, EHL: extensor hallucis longus, AdH: adductor hallucis, AbH: abductor hallucis, the values with different superscripts (^{a,b}) in the same column are significantly different (p<0.05)

* p<0.05

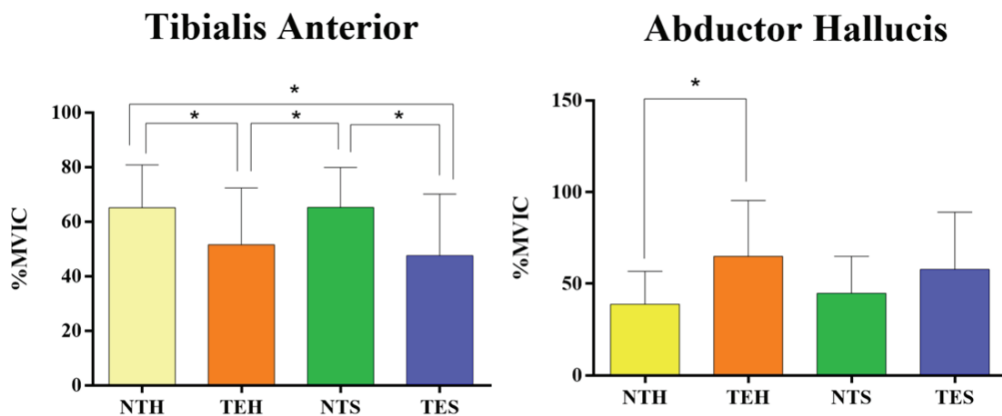


Fig. 5. Comparisons of activation of tibialis anterior and abductor hallucis during PNF leg pattern-emphasized hallux abduction variations with two starting positions. NTH: normal timing in hook-lying, TEH: timing for emphasis in hook-lying, NTS: normal timing in sitting, TES: timing for emphasis in sitting.

타났다($p < 0.05$)(Fig. 5). 엄지발가락벌림근의 활성화도는 운동방법 사이에 유의한 차이를 보였으며, 누운 자세에서 강조 타이밍을 적용한 방법이 누운 자세에서 정상 타이밍을 적용한 방법에 비해 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$)(Fig. 5).

IV. 고 찰

PNF와 관련된 문헌에 따르면, PNF 팔 패턴 시 손가락 모음 및 벌림에 대한 면쪽 움직임에 대한 기술은 자세히 되어 있지만, PNF 다리 패턴 시 면쪽 움직임인 발가락의 벌림과 모음에 대한 언급이 없는 실정이다(Alder et al., 2014). 이는 발의 내재근에 대한 기능을 전통적인 관점에서 해석한 것에서 비롯된 것으로 보인다. 체계적 고찰 논문에 의하면, 발의 내재근에 대한 기능을 평가하는 황금 기준(gold standard)은 없지만, 일반적으로 내재근의 기능을 평가하기 위한 직접적인 방법으로는 발가락 굽힘에 대한 근력 측정을 추천하였다(Soysa et al., 2012). 발가락 벌림을 만드는 엄지발가락벌림근의 경우에도 첫 번째 발허리뼈를 굽힘시키는 부수적인 기능을 수행한다(Wong, 2007). 엄지발가락벌림근의 피로도를 유발하는 방법 역시 발가락 굽힘을 통해 수행되고 있다(Headlee et al., 2008). 그리하여 PNF 다리 패턴 중 발가락 굽힘을 포함하는 펌 패턴 시 엄지발가락 벌림근의 활동이 촉진될 수 있다고 믿음으로 인해 발가락 모음과 벌림에 대한 구체적인 언급이 없는지도 모른다.

하지만 발가락 굽힘으로 인한 근력 강화는 발가락 모음근을 함께 강화할 수 있기 때문에, 엄지발가락벌림근의 주요 기능인 엄지발가락 벌림을 통한 기능 회복이 엄지발가락가쪽힘증이 있는 대상자에게 무엇보다 중요하다(Kim et al., 2013; Kim & Park, 2018). 이를 바탕으로 본 연구에서는 엄지발가락벌림을 강조한 PNF 다리 패턴 시 타이밍 방법과 수행 자세에 따라 가장 효과적인 운동 방법을 알아보고자 하였다. 그 결과, 엄지발가락벌림근의 활성화도는 정상적인 타이밍

보다는 강조를 위한 타이밍을 적용한 운동에서 높게 나타났으며, 누운 자세에서 강조를 위한 타이밍을 적용한 운동에서 가장 높은 엄지발가락벌림근의 활성화도 및 엄지발가락벌림근/모음근의 비율을 보였다.

시각적 자극은 PNF의 가장 중요한 기본적인 원리 중 하나이며(Alder et al., 2014), 선행 연구에서도 PNF 팔 패턴을 수행하는 동안 시각적 정보를 제공한 그룹에서 어깨가슴근육(scapulothoracic muscle)의 활동을 더 촉진할 수 있음을 보고하여 시각적 되먹임의 중요성을 증명하였다(Kim et al., 2014). 하지만 본 연구에서는 시각적 정보를 제공한 앉은 자세보다 시각적 정보가 차단된 누운 자세에서 강조를 위한 타이밍을 적용한 운동이 엄지발가락벌림근의 활성화도를 크게 증가시켰다. 이는 넓은 기저면을 가진 누운 자세가 뒤꿈치뼈(calcaneus)를 고정점으로 하여 발등굽힘된 상태에서 엄지발가락 벌림을 수행하는 동안 필요한 안정성을 높이는데 기여한 결과라 생각된다.

더하여 엄지발가락벌림근/모음근의 비율은 운동방법 사이에 유의한 차이를 보이지 않았지만, 1.18~1.70으로 모든 운동방법에서 매우 높은 수준을 보였다. 엄지발가락가쪽힘증이 있는 대상자는 엄지발가락벌림근과 모음근의 불균형한 활동으로 인해 변형이 지속되고(Arinci Incel et al., 2003), 이를 위해 엄지발가락벌림근/모음근의 비율이 1 이상을 보이는 운동을 권장하고 있다. 이러한 권장 비율은 일반적으로 엄지발가락가쪽힘증이 있는 대상자뿐만 아니라 정상인의 경우에도 가로면에서 발가락 벌림을 독립적으로 수행하기 어렵고(Arinci Incel et al., 2003; Kendall et al., 2005), 발의 변형으로 발생하는 활시위 효과(bowstring effect)로 인해 정확한 운동 수행이 힘들기 때문이다(Kim et al., 2013).

선행 연구를 살펴보면, 발가락 펼침 운동은 엄지발가락가쪽힘증이 있는 대상자에게 권장 비율 이상인 1.13을 보였으며(Kim et al., 2013), 동일한 대상으로 열린운동사슬 자세에서 PNF D2 다리 패턴 시 엄지발가락벌림에 대한 정상적인 타이밍을 적용한 운동은 1.03의 비율을 보였다(Kim & Park, 2018). 본 연구에서

는 강조를 위한 타이밍을 적용하여 앉은 자세 및 누운 자세에서 실시한 운동 모두 1.56과 1.70의 비율을 보여 매우 높은 엄지발가락별립근의 선택적인 활동을 촉진시켰다. 이는 PNF D2 굽힘 패턴과 엄지발가락의 별립으로 인한 발가락모음근의 활동을 최소화시킨 결과라 생각된다. 모음근은 빗갈래(oblique head)와 가로갈래(transverse head) 모두 엄지발가락 몸쪽발가락뼈바닥의 가쪽 및 인접 가쪽 종자뼈에 먼쪽 부착부를 가지고 있으며, 엄지발가락의 발허리발가락관절을 모음시키고 굽힘을 보조한다(Neumann, 2016). PNF D2 굽힘 패턴 시 발가락뺨-발등굽힘-엮침-가쪽변짐된 상태는 발가락의 폼에 의해 모음근의 길이 신장이 이루어진다. 이어 발가락 별립에 대한 강조를 위한 타이밍 적용은 엄지발가락별립근의 활동을 촉진함과 동시에 모음근의 길이를 더욱 늘리는 결과를 초래하였다고 생각된다.

선행 연구에 의하면, 엄지발가락별립근은 2형 근섬유(type II muscle fiber)로 나이가 들면서 감소된 신경근의 활동으로 인해 점차적으로 근위축과 단면적의 감소를 가져온다고 하였다(Aiyer et al., 2015; Verhulst et al., 2011). 이는 엄지발가락별립근에 대한 치료적 중재의 필요성을 보여주는 결과이다. 본 연구에서 보인 높은 엄지발가락별립근/모음근의 비율은 특정 분절이나 원하는 분절의 활동을 촉진시키는데 정상적인 타이밍보다는 강조를 위한 타이밍의 사용을 권장한 문헌을 뒷받침해주는 결과이며(Alder et al., 2014), 나아가 PNF의 강조를 위한 타이밍이 근골격계 및 노인 물리치료 분야에서도 널리 사용될 수 있음을 시사한다.

본 연구에서 앞정강근의 활성도는 자세와 상관없이 정상적인 타이밍을 적용한 운동 모두에서 유의하게 높게 나타났다. 정상적인 타이밍을 적용한 운동은 발가락 굽힘-발바닥굽힘-뒤침-안쪽변짐된 자세로 시작하여 앞정강근의 충분한 신장이 이루어져 근방추의 작용으로 인한 시너지 효과가 발생이 가능한 반면에 강조를 위한 타이밍 적용 시에는 발가락 폼-발등굽힘-엮침-가쪽변짐된 자세로 이미 앞정강근의 근육의 길이가 짧아져 있어 시너지 효과를 발휘하지 못한 것으로 생각된다. 편평발이 있는 대상자의 경우, 정상발에

비해 발등굽힘근의 근력 및 발등굽힘에 대한 가동범위가 유의하게 감소되었다(Park et al., 2018). 발등굽힘근인 앞정강근은 신체 중심의 앞쪽 이동 시 발목 관절에 대한 정강이뼈의 앞쪽 이동을 위해 먼저 활성화되어 발의 안정성을 제공하며(Khemlani et al., 1999), 발목전략 수행 시 이마면 뿐만 아니라 시상면에서도 균형 조절에 기여한다(Satkunskienė et al., 2015; Vlutters et al., 2018). 또한, 편평발은 안쪽으로할 높이가 정상발에 비해 유의하게 낮아져 있으며, 이를 예방하는데 엄지발가락별립근의 역할은 매우 중요하다(Jung et al., 2011). 본 연구의 결과에 따라 앞정강근의 활동을 촉진시키면서 부수적으로 엄지발가락별립근의 활동을 유도하고자 할 때, 누운 자세 혹은 앉은 자세에서 정상적인 타이밍을 적용한 운동이 효과적일 것이다. 최근 연구에서도 편평발의 기능 개선을 위해 PNF D2 굽힘 패턴 시 엄지발가락별립근의 타이밍을 접목하기를 권장하였다(Kim, 2019).

앞정강근과 더불어 대표적인 발의 외재근인 긴종아리근은 쏘꿇운동 시 정상발에 비해 편평발이 있는 대상자에게 근활성도가 유의하게 감소된다(Murley et al., 2009; Park & Park, 2018). 그리고 약화된 긴종아리근은 발활을 유지하는데 중요한 역할을 담당하는 발바닥근막과 스프링 인대 같은 결합조직의 약화를 가져온다(Neumann, 2016). 이 근육은 수축 시 발목의 가쪽변짐을 만들어 주기 때문에, 본 연구의 PNF D2 굽힘 패턴 시 가쪽변짐이 포함되어 앞정강근과 긴종아리근의 조화로운 활동을 유지할 수 있을지 모른다. 이런 이유로 본 연구에서는 긴종아리근의 활동에 대한 자료를 수집하지 못한 부분이 연구의 제한점으로 남는다.

Knellwolf 등(2019)의 연구에 의하면, 발의 내재근에 위치한 근방추는 휴식 시 침묵하며, 주로 선 자세와 같이 하중이 가해진 자세에서 근방추가 활성화되어 유용한 고유수용성정보를 제공한다고 보고하였다. 향후에는 엄지발가락별립을 강조한 PNF D2 패턴을 선 자세에서 수행하는 동안 긴종아리근 같은 발의 외재근과 내재근의 활동을 분석하는 연구가 필요할 것이라 생각된다.

V. 결론

누운 자세에서 엄지발가락의 별림에 대한 강조를 위한 타이밍을 적용한 PNF 다리패턴은 엄지발가락별림근의 선택적 수축을 촉진하는데 효과적인 운동이라 여겨진다. 앞장강근의 활동을 위해서는 엄지발가락의 별림에 대한 정상적인 타이밍을 적용한 PNF 다리패턴을 추천한다.

Acknowledgments

이 논문은 2019년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Adler SS, Beckers D, Buck M. PNF in practice: an illustrated guide, 4th ed. Berlin Heidelberg. Springer. 2014.
- Aiyer A, Stewart S, Rome K. The effect of age on muscle characteristics of the abductor hallucis in people with hallux valgus: a cross-sectional observational study. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2015;8:19.
- Arinci Incel N, Genç H, Erdem HR, et al. Muscle imbalance in hallux valgus: an electromyographic study. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2003;82(5):345-349.
- Chung KA, Lee ES, Lee SW. The effect of intrinsic foot muscle training on medial longitudinal arch and ankle stability in patients with chronic ankle sprain accompanied by foot pronation. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2016;5(2):78-83.
- Cram JR, Kasman GS, Holtz J. Introduction to surface electromyography. Gaithersburg. Aspen. 1998.
- Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, et al. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2008;18(3):420-425.
- Hedrick MR. The plantar aponeurosis. *Foot and Ankle International*. 1996;17(10):646-649.
- Hislop H, Avers D, Brown M. Daniels and Worthingham's muscle testing, 9th ed. St. Louis. Saunders. 2013.
- Jung DY, Kim MH, Koh EK, et al. A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Physical Therapy in Sport*. 2011; 12(1):30-35.
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, et al. Muscles; testing and function with posture and pain, 5th ed. Baltimore. Lippincott Williams & Wilkins. 2005.
- Khemlani MM, Carr JH, Crosbie WJ. Muscle synergies and joint linkages in sit-to-stand under two initial foot positions. *Clinical Biomechanics*. 1999;14(4): 236-246.
- Kim BJ, Park DJ. The impact of PNF leg patterns emphasizing hallux abduction on the intrinsic foot muscles of participants with hallux valgus. *PNF and Movement*. 2018;16(3):449-457.
- Kim JJ, Ann SY, Park SY. Comparison of diagonal shoulder exercises with and without visual trace. *International Journal of Athletic Therapy and Training*. 2014; 20(1):52-56.
- Kim MH, Kwon OY, Kim SH, et al. Comparison of muscle activities of abductor hallucis and adductor hallucis between the short foot and toe-spread-out exercises in subjects with mild hallux valgus. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2013;26(2): 163-168.
- Kim YH. Effect of intervention emphasized diagonal eccentric contraction on balance, ankle strength, joint position sense in subjects with chronic ankle instability or flat foot. Dong-eui University. Dissertation of Doctorate Degree. 2019.

- Knellwolf TP, Burton AR, Hammam E, et al. Firing properties of muscle spindles supplying the intrinsic foot muscles of humans in unloaded and freestanding conditions. *Journal of Neurophysiology*. 2019;121(1):74-84.
- Komatsu J, Sato K, Iwabuchi M, et al. Recovery of paraplegia following postoperative epidural hematomas in lumbar canal stenosis surgery by closed kinetic chain (CKC) exercises: a case report. *Medicine*. 2019; 98(20):1-6.
- Lee E, Cho J, Lee S. Short-foot exercise promotes quantitative somatosensory function in ankle instability: a randomized controlled trial. *Medical Science Monitor*. 2019;25:618-626.
- Letafatkar A, Rajabi R, Minoonejad H, et al. Efficacy of perturbation-enhanced neuromuscular training on hamstring and quadriceps onset time, activation and knee flexion during a tuck-jump task. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2019;14(2): 214-227.
- Lim TH. The effects of short foot exercise on ankle strength, static and dynamic balance control in flat foot elderly. Korea University. Dissertation of Master's Degree. 2017.
- McKeon PO, Hertel J, Bramble D, et al. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *British Journal of Sports Medicine*. 2015; 49(5):290.
- Murley GS, Menz HB, Landorf KB. Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2009;2:35.
- Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation, 3rd ed. St Louis. Mosby Elsevier. 2016.
- O'Connor KM, Hamill J. The role of selected extrinsic foot muscles during running. *Clinical Biomechanics*. 2004;19(1):71-77.
- Park DJ, Park SY. Comparison of subjects with and without pes planus during short foot exercises by measuring muscular activities of ankle and navicular drop height. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2018;13(3):107-113.
- Park SY, Bang HS, Park DJ. Potential for foot dysfunction and plantar fasciitis according to the shape of the foot arch in young adults. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2018;14(3):497-502.
- Saltzman CL, Nawoczenski DA. Complexities of foot architecture as a base of support. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1995; 21(6):354-360.
- Satkunskienė D, Stasiulis A, Zaičėnkoviėnė K, et al. Effect of muscle-damaging eccentric exercise on running kinematics and economy for running at different intensities. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2015;29(9):2404-2411.
- Sauer LD, Beazell J, Hertel J. Considering the intrinsic foot musculature in evaluation and rehabilitation for lower extremity injuries. *Athletic Training and Sports Health Care*. 2011;3(1):43-47.
- Soysa A, Hiller C, Refshauge K, et al. Importance and challenges of measuring intrinsic foot muscle strength. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2012;5(1):29.
- Verhulst FV, Leeuwesteijn AE, Louwerens JW, et al. Quantitative ultrasound of lower leg and foot muscles: feasibility and reference values. *Foot and Ankle Surgery*. 2011;17(3):145-149.
- Vlutters M, van Asseldonk EHF, van der Kooij H. Lower extremity joint-level responses to pelvis perturbation during human walking. *Scientific Reports*. 2018; 8(1):1-12.
- Wong YS. Influence of the abductor hallucis muscle on the medial arch of the foot: a kinematic and anatomical cadaver study. *Foot and Ankle International*. 2007;28(5):617-620.