J Korean Soc Phys Med, 2020; 15(2): 121-128
https://doi.org/10.13066/kspm.2020.15.2.121
Online ISSN:2287-7215
Print ISSN:1975-311X

Research Article

Open Access

다양한 발목각도에 따른 발가락벌리기 운동이 엄지벌림근 단면적에 미치는 영향

강성태 · 강선영† · 김기송 · 전인철 · 정성대[1]
호서대학교 생명보건대학 물리치료학과, [1]백석대학교 보건학부 물리치료학과

Changes in the Cross-Sectional Area of the Abductor Hallucis During the Toe-Spread-Out Exercise at Different Ankle Positions

Seong-Tae Kang · Sun-Young Kang† · Ki-Song Kim · In-Cheol Jeon · Sung-Dae Choung[1]
Department of Physical Therapy, College of Life & Health Science, Hoseo University
[1]Department of Physical Therapy, Division of Health Science, Baekseok University

Received: January 30, 2020 / Revised: February 4, 2020 / Accepted: March 27, 2020
ⓒ 2020 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study examined the changes in the cross-sectional area (CSA) of the abductor hallucis muscle during various ankle positions while performing toe-spread-out (TSO) exercise.
METHODS: Thirty subjects with an average age of 22.1 years were recruited for this study. All subjects were firstly measured for the angle of their first metatarsophalangeal joint using a goniometer. Those with angles greater than 15° were allocated to the HV group. The remaining subjects were placed in the normal group. The CSA of the abductor hallucis was measured by ultrasound in the resting position with no movement and three ankle positions: neutral (0°), plantarflexion (30°), and dorsiflexion (30°). All data were analyzed using a two-way mixed analysis of variance between the groups (normal and HV group) and within the groups (resting, neutral, plantarflexion, and dorsiflexion) to determine the group x position interaction effects.
RESULTS: During TSO exercise in the normal group, the CSA of the abductor hallucis was significantly greater in both the plantarflexion and neutral positions compared to the resting position (p_{adj} < .01), and plantarflexion was significantly greater than the dorsiflexion position (p_{adj} < .01). During the TSO exercise in the HV group, the CSA of the abductor hallucis for plantarflexion was significantly greater than it was for the resting, neutral, and dorsiflexion positions (p_{adj} < .01).
CONCLUSION: Based on the above results, the TSO exercise in plantarflexion is an effective rehabilitation exercise for subjects with HV.

Key Words: Abductor hallucis, Hallux valgus, Cross-sectional area, Toe-spread-out, Ultrasound

†Corresponding Author : Sun-Young Kang
sykang0727@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8843-6006
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.

Ⅰ. 서 론

엄지발가락의 대표적인 변형인 엄지발가락가쪽휨증(Hallux valgus; HV)은 엄지발가락에서 가장 흔하게 나타나는 골격 정렬 이상이며 엄지발가락의 가쪽편위(Lateral deviation)와 첫 번째 발허리발가락관절(Metatarsophalangeal joint)의 안쪽 편위(Medial deviation)가 나타나는 질환을 말한다[1,2]. 일반적으로 성인의 약 23%에서 발생하며 엄지발가락의 안쪽융기가 발달하고, 첫 번째 발허리발가락관절에서의 윤활주머니 또는 피부의 자극을 호소하며, 통증과 궤양이 발생한다[1,3]. 엄지발가락가쪽휨증이 주로 30대에서 50대 사이에 가장 빈번히 발병한다고 하였으나[4,5], 뼈가 완전히 성숙되지 않은 소아나 청소년기에 더 많이 발병한다는 연구들도 있다[6-8]. 또한 여성이 남성보다 발생률이 높으며 선 자세에서 일하는 여성이 앉아서 일하는 여성에 비해 엄지발가락가쪽휨증의 발생률이 더 높게 나타난다고 보고되었다[1,3].

엄지발가락가쪽휨증의 정도는 첫 번째 발허리뼈의 중간선(Bisection line)과 몸쪽엄지발가락뼈의 중간선이 이루는 각도를 측정할 수 있는데, 정상(15°미만), 경증 엄지발가락가쪽휨증(15° 이상 20° 미만), 중등도 엄지발가락가쪽휨증(20° 이상 40° 미만), 중증 엄지발가락가쪽휨증(40° 이상)로 분류할 수 있다[2]. 엄지발가락가쪽휨증을 발생시키는 원인은 크게 외적요인과 내적요인으로 나눌 수 있다. 외적요인으로는 볼이 좁은 신발이나 높은 굽의 구두 등의 착용이 있으며[2], 내적요인으로는 첫 번째 발허리뼈와 쐐기뼈가 포함되는 첫 번째 열(First ray)의 과운동성(Hypermobility)과 첫 번째 발허리뼈의 길이가 정상보다 긴 경우가 있다[1,3,9]. 또한 내적 요인으로 언급되는 엄지모음근(Adductor hallucis muscle)과 엄지벌림근(Abductor hallucis muscle)의 근육 불균형(Muscle imbalance)이 있다[10,11].

이전에 많은 연구들에서 중요한 내적 요인으로 언급되는 엄지발가락가쪽휨증의 엄지벌림근과 엄지모음근의 근육불균형으로 인해 증상이 악화되는 것을 예방하기 위하여 초기에 엄지벌림근의 근력 강화훈련의 필요성을 언급했으며, 이에 따른 엄지벌림근의 근력 강화 운동으로 발가락벌리기(Toe-spread-out) 운동과 숏풋(Short foot)운동 등이 사용되어 왔다[10-12]. 최근 Kim 등[13]은 발가락벌리기 운동이 숏풋 운동보다 엄지벌림근의 근전도 활성과 단면적을 유의하게 증가시킴을 보고하였으며, 엄지발가락가쪽휨증을 대상으로 8주간의 발가락벌리기 운동을 실시하였을 때 발가락가쪽휨의 각도를 감소시키고, 엄지벌림근 단면적의 증가를 보고하였다.

근육의 길이장력 관계(Length-tension relationship)란 운동자세에 따른 해당 근육의 길이에서 발생되는 장력의 변화를 말한다[14]. 최근 Yoon 등[15]은 숏풋 운동을 실시 할 때 발목의 중립자세보다 발바닥 굽힘 시 발의 아치(Arch)와 엄지벌림근의 근 활성도 증가를 보고하였다. 그러나 현재 엄지벌림근 재활운동에 가장 많이 사용되고 있는 발가락벌리기 운동 시 발목 자세에 따른 엄지벌림근의 연구는 부족한 실정이다.

초음파영상은 근육의 단면적(Cross-section area), 두께(Thickness), 너비(Width) 등 다양하게 측정할 수 있어 근육 운동에 효과적이며[16,17], 비침습적이고, 간편성과 비용이 적게 드는 장점들 때문에 최근 임상에서 많이 사용되고 있다[18,19]. 이에 본 연구는 엄지발가락가쪽휨증에 대한 발가락벌리 운동을 보다 효과적인 운동방법으로써 제공하기 위해 다양한 발목각도에서 발가락벌리기 운동 시 초음파를 통한 엄지벌림근 단면적의 변화를 알아보고자 한다. 본 연구의 가설은 발가락벌리기 운동 시 발바닥굽힘자세가 중립자세 보다 엄지벌림근의 단면적이 가장 크게 나타날 것이다로 설정한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구의 대상자 수는 표본수 계산 프로그램인 G*Power software ver 3.1 (G*Power, University of Kiel, Kiel, Germany)을 이용하여 산출하였다. 조건별 차이에 대한 검정력을 유지하기 위해 효과크기는 .60, 유의수준은 .05, 검정력은 .90으로 설정한 후 필요한 표본의 수는 36이었다. 대상자의 좌, 우 모든 발을 측정하였으므로 대상자는 24명이면 검정력을 유지하는데 충분한 표본수이다.

Table 1. Subject characteristics

Variable	Normal Group (n = 15)	Hallux Valgus Group (n = 15)
Age	22.32	21.73
Height (cm)	164.93	170.94
Body Weight (kg)	59.77	64.86
BMI (kg/cm^2)	22.09	22.19
Angle of the First-Metatarsophalangeal Joint (°)	9.30	17.38

본 연구에는 충청남도 아산시 H대학교 재학생 30명이 참여하였고 총 60개의 발을 측정하였으며 대상자들은 실험에 앞서 측정자에게 연구에 대한 목적과 방법에 대하여 충분한 설명을 듣고 본 실험에 자발적으로 참여하였다. 동일한 측정자는 실험 전, 모든 연구 대상자들에게 관절각도계를 이용하여 엄지발가락가쪽휨 각도를 측정하였고 경증 이상(15° 이상)인 발을 HV 그룹으로, 경증 이하인 발을 정상그룹으로 선정하여 분류하였다[2]. 또한 발목 관절의 골절, 신경근계 병변, 수술력, 염증성 관절염 그리고 엄지발가락가쪽휨증으로 인한 수술 및 보조기 착용의 경험이 있는 사람은 본 실험에서 제외하였다. 본 연구는 생명윤리심의위원회의의 심의를 통과하였으며(승인 번호: BUIRB-201908-HR-013), 대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 측정도구

본 연구에서는 관절각도계를 이용한 엄지발가락가쪽휨각도와 정확한 발목각도의 측정을 위해 경사대(Slant Board, Fitterfrist, Canada)를 이용하였고 초음파 장비를 통해 엄지벌림근의 초음파 영상(Ultrasound Q30, SG Healthcare Co Ltd., Korea)을 촬영한 뒤 단면적을 측정하였다(Fig. 1).

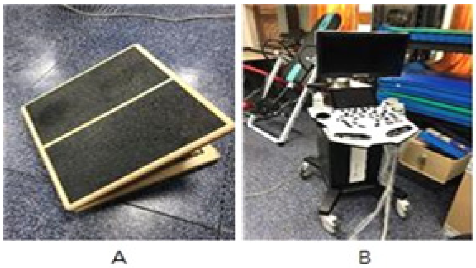

Fig. 1. Experimental equipment (A: slant board; B: ultrasound Q30).

3. 실험방법

본 연구에서는 엄지발가락가쪽휨 각도를 측정하기 위해 연구 대상자들은 의자에 무릎을 90° 굽혀 바로 앉아 측정하였다. 동일한 측정자가 의자에 앉은 대상자의 엄지발가락 첫마디 뼈 몸통과 발허리뼈의 몸통에 각각 점을 표시하여 두 개의 세로 축 직선을 만들고 직선을 이루는 각을 총 3번 측정한 뒤 평균값을 엄지발가락가쪽휨 각도로 설정하여, 각도에 따라 15°이상을 HV그룹, 15°이하를 정상그룹으로 분류하였다[20]. 본 실험을 실시하기 전 대상자는 20분가량 발가락벌리기 운동의 익숙함을 위한 연습을 실시하였다. 발가락벌리기 운동은 발허리뼈와 발꿈치가 지면에서 떨어 지지 않게 유지하면서 발가락을 펴고, 새끼 발가락을 몸의 가쪽 방향으로 벌리면서 지면을 누르듯 내려놓은 뒤 엄지발가락을 몸의 안쪽 방향으로 벌리면서 지면에 누르듯 내려놓는다[10,18]. 이 때 새끼발가락과 엄지발가락을 지면에서 떨어지지 않도록 10초간 누르면서 유지하도록 하였다(Fig. 2).

또한 측정자는 대상자의 발 안쪽 복사뼈의 앞쪽 경계로부터 자를 이용하여, 발바닥 방향으로 수직선을 표시한 후, 표시한 수직선에 초음파 장비의 선형 탐침을 위치하여 엄지벌림근을 측정하였다[22]. 먼저 발가락벌리기 운동을 하지 않은 발목 중립자세(0°)에서 편하게 발을 위치하게 하여 엄지벌림근의 단면적을 측정하였다(편한자세; resting). 이후 연구대상자의 개입을 배제하여 측정값에 영향을 미치지 않고자 무작위 순서로 3가지 자세(중립자세 0°; neutral, 발등굽힘 30°; dorsiflexion,

Fig. 2. Sequence of toe spread out (A: lifting the toes; B: flexing little toe toward lateral side; C: flexing great toe toward medial side).

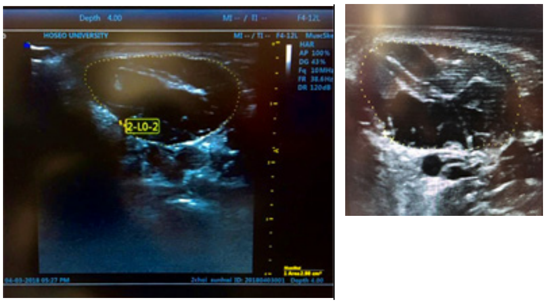

Fig. 3. Ultrasound imaging of the cross-sectional area of the abductor hallucis.

발바닥굽힘 30°; plantarflexion)를 제비뽑기 후 경사대 위에서 여러가지 발목자세를 취한 뒤 발가락벌리기 운동을 실시하였다. 대상자의 근섬유 두께 및 구조 변형을 막기 위해 탐침의 압력을 최소화하였으며, 초음파 측정 시 가장 선명한 엄지벌림근이 나타났을 때 화면을 정지시키고 이미지로 저장하였다. 단면적 측정은, 저장된 이미지의 근육과 건막이 만나는 지점에 화면상의 커서(Cursor)를 이용해 윤곽선을 그린 후 내장된 캘리퍼를 이용하여 측정되었다(Fig. 3). 엄지벌림근의 초음파 촬영은 각 3회 평균값을 산출하였고, 측정자세마다 1분씩 휴식을 가졌다[23].

4. 분석방법

측정된 값들이 정규분포를 이루는지 확인하기 위하여 Shaporo-Wilk 검정을 사용하였으며, 두 그룹(HV그룹, 정상그룹)과 발목각도에 따른 엄지벌림근의 단면적(편한자세, 중립자세에서 발가락벌리기 운동, 발등굽힘자세에서 발가락벌리기 운동, 발바닥굽힘자세에서 발가락벌리기 운동)에 대한 상호 작용과 주 효과를 알아보기 위하여 2 × 4 분산분석(Analysis of variance)을 사용하여 분석하였다. 상호작용 효과(Interaction effect)가 있을 경우, 단독 효과(Single effect)로 각각 분석했으며, 그룹 내의 발목각도에 따른 분석은 반복측정 분산분석(Repeated analysis of variance)와 본페로니 사후검정(Bonferroni correction)을 실시하였다. 통계적 유의수준은 .05로 설정하였으며, 통계분석은 상용 통계프로그램인 SPSS ver. 23.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

본 연구 결과 그룹과 발목각도에 따른 유의한 상호작용이 나타났으며, 그룹 간 엄지벌림근 단면적의 단독효과는 유의한 차이가 없고($p > .05$), 그룹 내 발목각도에 따른 엄지벌림근 단면적의 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 이에 본 연구는 그룹 내 발목각도에 따른 엄지벌림근의 단면적을 사후검정 실시하였으며, 결과는 다음과 같다(Table 2).

Table 2. Comparison of the cross-sectional area of the abductor hallucis following the ankle positions (Foot = 60)

	Resting	During Toe Spread Out			
		Neutral	Dorsiflexion	Plantarflexion	P
Normal	2.21 cm^2	2.36 cm^2	2.27 cm^2	2.48 cm^2	< .001
Hallux Valgus	2.03 cm^2	2.19 cm^2	2.14 cm^2	2.35 cm^2	< .001

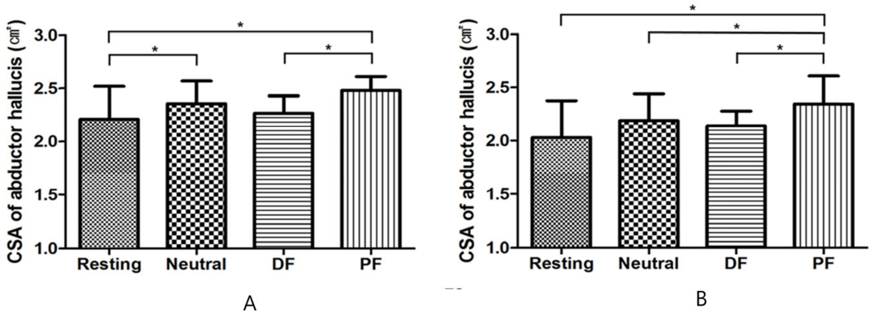

Fig. 4. Comparison of the ultrasound cross-sectional area of the abductor hallucis following the ankle positions (A: Normal group; B: HV group).

정상그룹 내, 발가락벌리기 운동 시 중립자세와 발바닥굽힘자세의 엄지벌림근 단면적은 편한자세보다 유의하게 증가하였다($p_{adj} < .01$). 또한 발바닥굽힘자세는 발등굽힘자세보다 엄지벌림근 단면적의 크기가 유의하게 증가하였다($p_{adj} < .01$). HV그룹 내 또한 비슷한 양상을 보였다. 발바닥굽힘자세에서 발가락벌리기 운동 시 엄지벌림근 단면적은 편한자세, 중립자세 및 발등굽힘자세보다 유의하게 증가하였다($p_{adj} < .01$)(Fig. 4).

Ⅳ. 고 찰

엄지벌림근은 발꿈치뼈 융기(Calcaneal tuberosity)에서 시작하여 발의 내측에 붙는 근육으로, 엄지발가락의 몸쪽 바닥면(Base of the proximal phalanx)의 내측에 닿는다[24]. 엄지벌림근은 선 자세나 보행의 디딤기(Stance phase)단계에서 근활성도(Muscle activity)가 늘어나면서 첫 번째 발허리발가락관절의 안정성을 제공한다[10]. 또한, 엄지벌림근은 첫번째 발허리발가락관절의 굽힘과 벌림 그리고 뒷발의 뒤침(Supination)을 일으키며, 안쪽 세로발궁(Longitudinal arch)을 유지하거나 증가시키는데 기여한다[25,26]. 그러나 엄지발가락가쪽휨증이 진행되면서 첫번째 발허리뼈의 정렬이 안쪽 방향과 발바닥 측면으로 이동하게 되는 역학적 변화가 엄지벌림근의 기능적 약화를 야기하여, 근육원섬유마디(Sarcomere)의 감소를 가져오고 결국 근 위축(Atrophy)을 초래한다[24, 26]. 따라서 엄지발가락가쪽휨증과 관련된 이전의 연구들에서는 엄지발가락가쪽휨증이 진행됨에 따른 엄지벌림근의 기능적 약화를 언급하며, 엄지벌림근의 근력 강화의 필요성을 논하였다[10,13,23]. 또한 엄지벌림근의 충분한 근력은 엄지벌림근가쪽휨증(Hallux valgus) 증상이 있거나, 편평 발 증상 그리고 만성적 발허리관절 재활을 위해 중요한 요소이다[34]. 이에 본 연구는 최근 엄지발가락가쪽휨증 대상자에게 엄지벌림근의 근력 재활 운동으로 가장 많이 사용되고 있는 발가락벌리기 운동을 채택하였고[18] 더 효과적 방법을 알기 위해 발목의 각도에 따라 측정하였다.

먼저 본 연구는 모든 대상자에게 엄지발가락가쪽휨각도를 측정하여 경증 이상(15° 이상)인 발을 HV 그룹으로, 경증 이하인 발을 정상그룹으로 선정하여 엄지벌림근의 초음파 단면적 측정을 하였다. 그 결과 발가락벌리기 운동을 하지 않은 편한자세에서 HV그룹은 2.03 cm^2, 정상그룹은 2.21 cm^2의 엄지벌림근 단면적이 측정

되었으며, 발목중립자세에서 발가락벌리기 운동 시, HV 그룹 2.19 cm^2 , 정상그룹 2.36 cm^2으로 증가하였다. 근육의 힘의 변화는 생리적으로 단면적과 비례하여 나타나게 되므로 엄지벌림근의 단면적 종속 변수는 아주 중요한 의미를 가지고 있다[28]. Stewart 등(2013)은 엄지발가락가쪽휨증의 정도와 엄지벌림근의 단면적의 관계에 대해 연구하였으며, 엄지발가락가쪽휨증이 없는 대상자가 엄지발가락가쪽휨증이 있는 대상자에 비해 엄지벌림근의 단면적이 더 크다고 보고되었다[29]. 이는 정상그룹이 HV 그룹보다 엄지단면적의 크기가 크다는 본 연구의 결과와 일치한다.

또한 본 연구는 정상그룹과 엄지발가락가쪽휨증 그룹에게 총 3가지 자세(중립자세, 발바닥굽힘 자세, 발등굽힘자세)에서 발가락벌리기 운동을 실시하였을 때 엄지벌림근의 초음파 단면적의 변화를 알아보았다. 본 연구의 결과 정상그룹과 엄지발가락가쪽휨증 그룹 내 모두, 발바닥굽힘자세 시 편한자세의 단면적 크기보다 유의하게 증가하였다. 또한 발가락벌리기 운동을 실시하였을 때 HV 그룹에서는 중립자세와 발등굽힘자세보다, 정상그룹에서는 발등굽힘자세보다 엄지벌림근의 초음파 단면적의 크기가 유의하게 증가되었다.

근육의 길이장력 관계(Length-tension relationship)란 운동자세에 따른 해당 근육의 길이에서 발생되는 장력의 변화를 말한다[14] 본 연구의 결과 길이 장력 간의 관계에 따라 발바닥굽힘 자세를 하여 엄지벌림근 등의 내재근의 활성을 유도한 뒤 발가락벌리기 자세를 하면 앞정강근의 과활성화를 예방하고, 엄지벌림근의 활성을 강화시켜 본 연구의 결과처럼 발바닥굽힘 자세 시 엄지벌림근의 단면적의 증가가 보였다고 해석된다. 이는 최근 Yoon 등[15]의 연구에서 엄지벌림근의 재활운동에 사용하는 숏풋 운동을 실시 할 때 발목의 중립자세보다 발바닥굽힘자세 시 발의 안쪽 세로활(Medial longitudinal arch, MLA)의 증가와 엄지벌림근의 활성도 증가의 결과가 뒷받침 된다[15]. 발의 안쪽 세로활은 오목한 구조로써 발꿈치뼈, 발배뼈, 목말뼈, 3개의 쐐기뼈로 구성되어 있으며, 서기, 걷기, 다양한 활동 시 체중 지지, 체중의 분산과 충격흡수의 역할을 하고 있다. 또한 안쪽 세로활은 다양한 수동적, 능동적 구조에 의해서 지지되는데, 발꿈치발배뼈 인대(Spring ligament), 발바닥 근막(Plantar fascia)과 같은 강한 인대 구조물과 함께 앞정강근(Tibialis anterior, TA), 뒤정강근(Tibialis posterior, TP), 긴 종아리근(Peroneus longus, PL), 엄지벌림근(Abductor hallucis, ABH)와 같은 근육들이 안쪽 세로활을 지지하는데 중요한 역할을 한다[31-33]. 이러한 본 연구의 결과를 바탕으로 임상에서 발목 자세에 따른 발가락벌리기 운동을 실시한다면 환자의 상태에 따른 점진적인(Progressive) 엄지벌림근 재활운동 프로그램을 구성할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 엄지발가락가쪽휨증 경도(15°) 대상자로 실시되었기 때문에 연구의 결과를 다양한 엄지발가락가쪽휨증 정도에 일반화 하기에는 어려움이 있다. 이에 추후 연구에서는 다양한 엄지발가락 가쪽휨 정도에 따른 운동의 효과를 확인해 볼 필요할 것으로 판단된다. 둘째, 본 연구는 20대의 건강한 대상자로 실시되어 다양한 연령층 및 질병에 따른 엄지발가락가쪽휨증 환자에게는 일반화하기에는 어려움이 있다. 추후 연구에서는 다양한 대상자에 따른 운동의 효과를 확인해 볼 필요가 있다.

Ⅴ. 결 론

본 연구는 다양한 발목각도에 따라 발가락벌리기 운동을 실시하였을 때 엄지벌림근의 초음파 단면적을 알아보고자 하였다. 본 연구의 결과 정상그룹과 엄지발가락가쪽휨증 그룹 간 엄지벌림근의 단면적 크기에는 유의한 차이는 나타나지 않았고, 그룹 내에서 발바닥굽힘자세 발가락벌리기 운동을 실시하였을 때 엄지벌림근의 단면적 크기가 유의하게 증가 하였다. 본 연구를 바탕으로 발바닥굽힘자세에서 발가락벌리기 운동을 실시한다면 임상에서 엄지발가락가쪽휨증에 대한 재활운동에 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

References

[1] Coughlin MJ. J Bone Joint Surg Am. 1996;78(6):932-66.
[2] Coughlin MJ, Jones CP. Hallux Valgus: Demographics,

etiology, and radiographic assessment. Foot Ankle Int. 2007;28(7):759-77.

[3] Munuera PV, Dominguez G, Reina M, et al. Bipartite hallucal sesamoid bones: Relationship with hallux valgus and metatarsal index. Skeletal Radiol. 2007;36(11): 1043-50.

[4] Coughlin MJ. Hallux valgus in men: Effect of the distal metatarsal articular angle on hallux valgus correction. Foot Ankle Int. 1997;18(8):463-70.

[5] Coughlin MJ, Thompson FM. The high price of high-fashion footwear. Instr Course Lect. 1995;44:371-7.

[6] Hardy RH, Clamp JCR. Observations of hallux Valgus. Bone Joint J.1951;30(3):376-91.

[7] Piggott H. The natural history of hallux valgus in adolescence and early adult life. Bone Joint J.1960;42(4): 749-60.

[8] Pouliart N, Haentjens H, Opdecam P. Clinical and radiographic evaluation of wilson osteotomy for hallux valgus. Foot Ankle Int. 1996;17(7):388-94.

[9] Smith BW, Coughlin MJ. The First metatarsocuneiform joint, hypermobility, and hallux valgus: What does ia all mean? Foot Ankle Surg. 2008;14(3):138-41.

[10] Arinci incel N, Genc H, Erdem HR, Et al. Muscle imbalance in hallux valgus: An electromyographic study. AM J Phys Rehabi. 2003;82(5):345-9.

[11] Groiso JA. A conservative approach to treatment. J Bone Jotint Surg AM. 1992;74(9):1367-74.

[12] Shimazaki K, Takebe K. Investigations on the origin of hallux valgus by electromyographic analysis. Kobe J Med Sci. 1981;27(4):139-58.

[13] Kim MH, Yi CH, Weon JH, et al. Effect of toe-spread-out exercise on hallux valgus angle and cross-sectional area of abductor hallucis muscle in subjects with hallux valgus. J Phys Ther Sci. 2015;27(4):1019-22.

[14] Neumann DA. Kinesiology of Musculoskeletal System. 2ed ed. 2011:53-8.

[15] Yoon HB, Kim JH, Park JH, Jeon HS. Comparison of the Foot Muscle EMG and Medial Longitudinal Arch Angle During Short Foot Exercises at Different Ankle Position. Phys Ther Korea. 2017;24(4):46-53.

[16] Potter CL, Cairns MC, Stokes M. Use of ultrasound imaging by physiotherapists: A pilot study to survey use, skills and training. Man Ther. 2012;17(1):39-46.

[17] Whittaker JL, Warner MB, Stokes MJ. Ultrasound imaging transducer motion during clinical maneuvers: Respiration, active straight leg raise test and abdominal drawing in. Ultrasound Med Biol. 2010;36(8):1288-97.

[18] Hodes PW. Ultrasound imaging in rehabilitation: Just a fad? J Orthop Sports Phts Ther. 2005;35(6):333-7.

[19] Takai Y, Katsumata Y, Kawakami Y, et al. Ultrasound method for estimating the cross-sectional area of the psoas major muscle. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(10):2000-4.

[20] Choung SD, Kang SY, Kim MH, et al. Reliability and validity of the goniometer for hallux valgus angle measurement. Phys Ther Korea. 2013;20(2):46-51.

[21] 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. J Back Musculoskelet Rehabil. 2013;26(2):163-8.

[22] Cameron AF, Rome K, Hing WA. Ultrasound evaluation of the abductor hallucis muscle: Reliability study. J Foot Ankle Res. 2008;1(1):12.

[23] Kang SY, Choung SD, Kim MH. Relationship between angle of metatarsophalangeal joint and abductor hallucis in hallux valgus. J Korean Soc Phys Ther. 2014;26:56-61.

[24] Brenner E. Insertion of the abductor hallucis muscle in feet with and without hallux valgus. AnatRec. 1999;254(3): 429-34.

[25] Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, et al. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: An electromyography study. The Journal of foot and ankle surgery. 2003;42(6):327-33.

[26] Lee JH, Cynn HS, Yoon TL, et al. Differences in the angle of the medial longitudinal arch and muscle activity of the abductor hallucis and tibialis anterior during sitting

short-foot exercises between subjects with pes planus and subjects with neutral foot. Journal of back and musculoskeletal rehabilitation. 2016;29(4):809-15.

[27] Sahrmann S. Diagnosis and Treatment of Movement Impairment Syndromes. 1st ed. St. Louis, Mosby, 2002:16.

[28] Lieber RL. Skeletal Muscle Structure, Function, and Plasticity: The physiological basis of rehabilitation. 3rd ed. Baltimore, Lippincott Williams & Wilkins, 2010: 203-6.

[29] Stewart S, Ellis R, Heath M, et al. Ultrasonic evaluation of the abductor hallucis muscle in hallux valgus: a cross-sectional observational study. BMC Musculoskelet Disord. 2013;14:45.

[30] Franco AH. Pes cavus and pes planus: Analyses and treatment. Physical Therapy. 1987;67(5):688-94.

[31] 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):30-5.

[32] Murley GS, Landorf KB, Menz HB, et al. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: A systematic review. Gait & posture. 2009a;29(2):172-187.

[33] O'connor KM, Hamill J. The role of selected extrinsic foot muscles during running. Clinical Biomechanics. 2004;19(1):71-7.