숏풋 운동이 발의 안쪽 세로활과 균형에 미치는 영향과 효율적 적용에 대한 연구

황 룡¹, 최영준²

¹동남보건대학교 물리치료과, ²조은정형외과 물리치료실

A Study on The Effects of Short Foot Exercise on Medial Longitudinal Arch and Balance in the Foot and Efficient Application: Literature Review

Ryong Hwang¹, Young-Jun Choi²

¹Department of Physical Therapy, Dongnam Health University, Suwon; ²Department of Physical Therapy, Joeun Orthopedic Clinic, Bucheon, Korea

PURPOSE: The purpose of this study was to analysis the effective short foot exercise methods and verify the effect of short foot exercise (SFE) on medial longitudinal arch (MLA) and balance in order to utilize it as foundation data for clinical fields.

METHODS: In this study, research papers were collected by using RISS, KISS and PubMed as a search term for SFE, foot intrinsic muscle exercise (FIME) and MLA.

RESULTS: A total of 30 research were gathered, and 16 papers of data were related effect of SFE, and 9 papers was related to effective exercise methods, and 5 papers was related to a comparison with other FIME. The collected data were classified into the influence of SFE on the MLA, balance, and the efficient exercise methods.

CONCLUSIONS: The result of this study confirmed that SFE was very effective to maintain MLA and improve foot stability, dynamic balance and gait. In addition to, imagery training and biofeedback with SFE was efficient methods, and SFE applied with weight bearing, or windlass effect, or 30° ankle dorsiflexion strengthened abductor hallucis muscle effectively. Therefore, SFE will be useful for rehabilitation of pes planus patients or athletes.

Key words: Short foot exercise, Medial longitudinal arch, Intrinsic foot muscle exercise, Balance, Pes planus

서론

일반적으로 발은 인체의 5%를 구성하고 발바닥의 감각정보를 통해 자세의 조절과 균형을 유지하는 안정성을 제공하며, 충격을 흡수하는 역할을 한다[1]. 여러 인대와 근육 그리고 뼈 구조물로 이루어져 있는 발은 매우 복잡하지만 크게 수동과 능동의 두 가지 구조물로 분류된다. 수동적 구조물은 발바닥 인대와 발뻘로 형성된 세로활(Medial Longitudinal Arch), 발바닥근막이 있으며, 능동적 구조물은 발의 외재

근건과 내재근들이 있다[2]. 이 두 구조물은 하체의 운동 사슬의 기저면으로서 역할을 하고 역동적인 활동 중 하지의 안정화에 중요한 역할을 한다[2,3]. 안쪽 세로활은 발의 일차적인 체중 지지 및 충격흡수 구조로, 낮은 스트레스나 정적인 상황에서 발을 지지하는 역할을 한다[4]. 발꿈치뼈, 목말뼈, 발배뼈, 그리고 3개의 췌기뼈와 첫 번째부터 세 번째 발허리뼈가 골격을 구성하는 안쪽 세로활은 발바닥근막, 긴 발바닥 인대와 짧은 발바닥 인대, 용수철 인대가 수동적 지지를 제공하며, 앞정강근과 뒤정강근, 발가락 굽힘근과 발가락 벌림근이 능동적 지지

Corresponding author: Young-Jun Choi Tel +82-32-321-8875 Fax +82-32-328-8873 E-mail manse2010@naver.com

*이 논문은 동남보건대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

Keywords 단축발운동, 안쪽세로활, 발 내재근운동, 균형, 편평발

Received 29 Jul 2018 Revised 22 Aug 2018 Accepted 10 Sep 2018

© 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.

를 제공한다. 안쪽 세로활의 구성요소 중 발의 내재근, 특히 엄지별림근은 체중 지지 활동 동안 활(arch)의 안정성에 기여하고 발바닥 근막, 발바닥 인대 및 발의 외재근과 함께 작용하여 보행 시 발의 목말 밑 관절의 옆침을 조절한다[5-7]. 그러나 여러 이유로 구조물들이 충분한 지지를 하지 못하여 안쪽 세로활이 무너질 경우 편평발(pes planus)이 발생한다.

편평발은 만성적인 증상으로 안쪽 세로활 각도의 감소, 뒤 발의 박굽이, 뒷발에 대한 중간발의 벌림이 나타난다[8]. 이러한 발의 과도한 옆침은 압박골절, 발허리뼈 골절, 아킬레스 건염 등 과사용 손상이 일어난다[9-11]. 이러한 문제를 해결하기 위해 스포츠 재활 분야에서는 발가락으로 물건 집기, 한쪽균형동작, 정강이굴곡과 숏풋 운동(Short foot exercise) 등과 같은 중재들이 사용되었다[12,13]. 숏풋 운동은 발을 앞쪽에서 뒤쪽 방향으로 짧게 만드는 방법으로, 발가락 굽힘없이 첫 번째 발허리뼈 머리를 뒤꿈치 방향으로 끌어당기는 운동이며, 종종 발의 내재근, 세로활과 가로활의 강화를 위해 스포츠 및 재활영역에서 처방된다[13]. Jung et al. [14]에 따르면, 숏풋 운동은 엄지별림근을 활성화하며, 안쪽 세로활이 낮아지는 것을 예방할 뿐만 아니라, 노인 환자의 낙상 예방과 보행 동안의 안정성을 향상시키는 데 효과적이다[15,16].

숏풋 운동은 최근 편평발 환자에 대한 운동으로 자주 이용되고 있다. 하지만 평상시 사용하는 근육이 아니고 발 내재근이 약해져 있어 올바른 운동의 수행이 어렵다[17]. 이러한 이유로 숏풋 운동에 대한 최근 연구들은 숏풋 운동의 다양한 운동효과를 검증하고 효율적으로 적용할 방법을 연구해왔으나 자료가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 숏풋 운동의 다양한 효과를 분석하여 효율적인 적용을 제시하고 일반인, 스포츠선수 및 환자 등의 재활에 기초자료로 활용하는 것을 목표로 한다.

연구 방법

문헌 검색은 2018년 3월 1일부터 6월 12일까지 진행하였다. 문헌 검토는 PRISMA 지침을 기반으로, 인터넷을 활용한 국내 및 해외 데이터베이스를 이용하여 첫 번째 단계에서는 키워드를 통한 검색으로 초록과 전문을 분석하여 2007년부터 2017년까지 발표된 사례연구 및 무작위대조군 연구 38편을 선별하였고 고찰 논문과 본 연구의 목적에 부합하지 않는 논문 8편은 제외하여 총 30편의 논문을 검토하였다. 국내 논문의 경우 학술연구정보서비스(RISS)와 한국학술정보서비스(KISS)를 통해 출판 및 완성된 학술지 및 학위논문을 검색하였으며, 외국 학술자료의 경우 PubMed를 통하여 확장 검색하였다. 검색어는 “단축발 운동”, “숏풋 운동”, “Short foot exercise”, “Short-foot exercise”, “Foot intrinsic exercises”로 검색하였다. 그중 숏풋 운동의 다양한 영향에 대해 연구한 논문은 16편, 숏풋 운동의 효율적인 운동방법에 대해 연구

한 논문 9편, 숏풋 운동과 다른 유사 운동들과 비교한 논문은 5편으로 분류하였다. 분류된 연구 자료를 토대로 숏풋 운동이 안쪽 세로활에 미치는 영향과 발목의 안정성 및 보행에 영향을 미치는 균형과 숏풋 운동의 효율적 운동방법을 세부내용으로 정리하고 분석하였다.

본 론

1. 숏풋 운동이 발 안쪽 세로활에 미치는 영향

편평발은 안쪽 세로활이 편평해지는 것, 뒤 발의 박굽이, 뒤 발에 대한 중간발의 벌림 증상을 포함하는 만성적인 징후이다[8]. 안쪽 세로활은 걷거나 달릴 때 발생하는 충격을 흡수하는 역할을 하며, 첫 번째 발허리뼈 먼쪽 및 중간 부분은 신체의 움직임 시 스프링과 같이 체중을 지탱하여 균형을 유지한다[18]. 발을 구성하는 근육들 중 엄지별림근은 안쪽 세로활의 상승과 함께 엄지굽힘근, 첫 번째 발허리뼈의 뒤침근, 뒤꿈치뼈의 번짐근, 정강근의 바깥돌림근의 기능을 같이 수행한다[19]. 또한 선행연구에서는 엄지발가락 벌림근에 피로가 쌓이면 발배뼈 하강(Navicular drop)이 증가하고, 정강신경을 차단한(Tibial nerve block) 상태에서 엄지 굽힘을 시도했을 때, 역시 발배뼈 하강의 증가와 엄지별림근의 근 활성도가 유의하게 감소하는 결과를 언급하며, 엄지별림근이 안쪽 세로활을 지지하고 정적인 상태에서 옆침을 조절하는 중요한 역할을 한다고 주장했다[5,7]. 따라서 엄지별림근의 강화는 과도하게 옆침된 발의 안쪽 세로활 유지와 편평발을 가진 사람들에게서 발생할 수 있는 과사용에 따른 문제를 예방하는 데 필수적이다[5,7,19]. 편평발과 관련된 병적 문제는 서있거나 걷는 동안의 발이 과도한 옆침이 되어 이로 인해 흔한 과사용 손상이 발생하고, 아킬레스 힘줄염, 엄지발가락가쪽힘증, 뒤경골근 기능부전 그리고 무릎뼈넙다리통증 등의 증상을 유발한다[20-24]. 이 문제를 해결하기 위해 처방되는 운동으로는 숏풋 운동, 발가락 오므리기 운동, 발가락 벌리기 운동과 발가락으로 물건집기 등이 이용되었다[12,13].

숏풋 운동은 발바닥을 바닥에 붙인 채로 시행되는 운동이며 이를 통해 발바닥 자극이 활성화된다. 그뿐만 아니라 안쪽 세로활을 구성하는 엄지별림근과 짧은 엄지굽힘근의 근 활성을 통해 고유수용감각 되먹임을 적용한 감각 운동 훈련이 가능하다[25]. Prentice [13]는 숏풋 운동이 세로활과 가로활의 강화와 내재근의 강화 효과를 나타낸다고 하였다. 또한 여러 선행연구에서도 숏풋 운동이 엄지별림근을 활성화시키는 데 효과적이며 안쪽 세로활이 낮아지는 것을 예방한다고 보고하였다[14,26].

2. 숏풋 운동이 균형에 미치는 영향

발은 인체의 5%를 차지하고 있지만 발바닥 감각 정보를 통해 자세를 조절하고, 균형 유지를 위한 안정성을 제공하며, 충격을 흡수한다

Table 1. Various effects of short foot exercise

Subject	Effectiveness	Result	Reference
Hyper-pronated foot adult	Sensory feedback	SE	Moon [42]
Normal feet adult	Foot arch support strengthening	SE	Jung et al. [14]
Normal feet adult	AHM FHBM strengthening	SE	Heo et al. [26]
Normal feet adult	IM strengthening	SE	Heo et al. [50]
Normal feet adult	Dynamic balance	SE	Lynn et al. [3]
Normal feet adult	Static balance	Non-SE	Mulligan et al. [33]
Hyper-pronated foot adult	Gait ability	SE	Moon [42]

APM, abductor hallucis muscle; FHBM, flexor hallucis brevis muscle; IM, intrinsic muscle; SE, significant effect.

[1]. 안쪽 세로활이 낮아지거나 구조적 또는 기능적 변형이 일어날 정도로 완전히 무너질 경우에 충격을 흡수하는 능력은 감소할 것이고 균형 감각의 소실로 이어져 걸거나 뛰는 동안 안정성이 감소하게 된다. 이는 보행의 어려움과 보행지구력의 감소로 나타나게 된다[27,28]. 이런 문제를 해결하기 위해서는 다양한 요인의 치료적 접근이 필요하다. 균형에 영향을 주는 요인으로 근골격계 요소, 신경근 연결, 개개의 감각계, 감각 전략, 선행 기전, 적응 기전 그리고 내적 재현 등이 있는데 [29], 이들 중 발목 불안정성의 가장 큰 원인은 고유수용성 감각 또는 관절 위치 감각의 감소라고 보고되었고[30], 고유수용성 감각을 향상시키기 위한 치료적 방법으로 발바닥 자극은 운동 감각과 자세 유지 능력을 향상시킬 수 있다[31]. Janda et al. [32]은 쏘풋 운동이 신체 분절을 유지하고 발바닥의 체성 감각을 자극하여 체간 안정성까지 향상시킨다고 하며, 다른 운동과 함께 적용 시 쏘풋 운동은 고유수용감각 훈련의 첫 단계로 시행될 수 있다고 언급하였다.

쏘풋 운동이 균형과 안정성에 미치는 영향을 균형 평가 도구로 분석한 연구들을 살펴보면, Lynn et al. [3]은 쏘풋 운동 후 동적 균형평가에서 내측에서 외측으로의 압력 중심이 유의하게 감소하여 동적 균형 능력 향상을 보고하였으나, 정적 균형 검사에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 Mulligan et al. [33]은 동적균형평가에서 앞쪽을 제외한 모든 방향에서 안정성이 향상되었다고 보고하였으며, 이와 유사하게 Drewes et al. [34]의 연구는 하지 손상이 있는 환자에게 쏘풋 운동 적용 시 발 내재근 검사와 계단 내려오기 항목에서 향상을 보였지만, 역시 정적인 평가에서는 차이가 없었다. Mignogna et al. [35]은 이러한 정적 검사와 동적 검사에서 쏘풋 운동이 차이를 보이는 결과에 대하여 발 내재근의 기능적인 연관성에 초점을 두었다. 정적 자세 조절은 동적 자세 조절과 달리 발 내재근의 영향보다는 다른 운동감각이나 체성 감각 그리고 중추신경계 기전에 의해 더 의존적일 것이라 판단하였다. 이를 고려하면 동적 균형에서 발 내재근, 특히 엄지발림근의 근 활성은 발의 안정성을 향상시키고 근 활성 동안 얻어지는 고유수용성 감각 되먹임 기전으로 자세 안정성에도 향상을 보인 것으로 사료된다.

선행연구를 바탕으로 Chung et al. [36]의 연구에서 안정성에 대한 척도로 감각 평가를 시행하였다. 발 내재근 운동으로 발가락 오므리기

운동군과 쏘풋 운동군으로 나누어 비교하였는데, 쏘풋 운동군에서 감각 평가에 더 유의한 증가가 있음을 보고하였다. 이러한 결과가 나타난 이유로 두 운동 모두 내재근 근 활성을 통한 고유수용감각의 향상을 야기했으나 쏘풋 운동군에서 수축 동안 더 효과적인 원심성 감각 정보가 유입되었음을 주장하였다. 하지만 운동방법에서 쏘풋 운동은 발가락 오므리기 운동과 달리, 바닥에 발바닥을 접촉시킨 상태로 시행하기 때문에 발바닥 자극을 통해 감각평가에서 더 좋은 결과가 나올 가능성이 있다. 향후 감각 평가를 분석하는 쏘풋 운동연구에서는 비교 운동군 간에 발바닥 자극 정도를 동일하게 적용해야 할 것으로 사료된다(Table 1).

3. 쏘풋 운동의 효율적 적용

1) 관련 운동 및 중재와의 비교

Jung et al. [14]은 엄지발림근의 근전도와 안쪽 세로활 각도를 쏘풋 운동과 발가락 오므리기 운동 동안에 비교를 하였다. 이 연구에서는 쏘풋 운동이 더 큰 근 활성도를 보인 것으로 나타났다. 이는 발가락 오므리기 운동은 발허리발가락 관절의 굽힘이 발가락 굽힘과 함께 발생하지만 쏘풋 운동은 발가락 굽힘없이 엄지발림근의 근 활성이 유발되기 때문이다. 이 연구와 동일하게 두 운동 적용 시 안쪽 세로활과 발목 안정성을 비교한 논문에서도 쏘풋 운동 그룹에서 더욱 효과적인 것으로 보고되었다[36]. Kim et al. [37]의 연구에서는 엄지발가락가쪽힘증 환자에게 쏘풋 운동보다 발가락 벌리기 운동(Toe spread out exercise)에서 엄지발림근의 근 활성도가 더욱 크고 첫 번째 발허리발가락 관절의 각도가 높아지는 결과를 나타내서 더 효율적인 운동으로 보고하였다. 하지만 대상자가 엄지발가락가쪽힘증을 가진 사람이기 때문에 쏘풋 운동을 하는 동안에 첫 번째 발허리발가락 관절이 모음 되어 있어 활시위 효과를 발생시켜 엄지모음근보다 엄지발림근의 근 활성이 낮게 나타난 것으로 보고하였다. Goo et al. [38]의 연구에서는 앉은 자세와 서 있는 자세에서 쏘풋 운동과 발가락 벌리기 운동의 근 활성도를 비교하였다. 이 연구에서는 발가락 벌리기 운동 그룹에서만 앉은 자세와 선 자세에서 차이를 나타냈다. 이는 길이-장력 관계에 따라서 엄지발림근의 길이가 짧아지는 쏘풋 운동보다 길이를 유지하는 발가락 벌

리기 운동에서 효과가 나타났음을 보고하였다. 하지만 정확한 체중 지지의 양을 정량화하지 못하여 실험자가 각기 다른 부하를 주었음을 고려하여 추후 연구가 필요함을 보고하였다. Goo et al. [38]의 연구결과를 고려해보면, 앞서 분석한 Jung et al. [14]과 Kim et al. [37]의 결과에서, 엄지벌림근은 길이-장력관계에 의해 활성화도에서 차이가 났음을 가정해 볼 수 있다. 발가락 오므리기 운동은 첫 번째 발허리발가락 관절의 굽힘이 일어나 엄지벌림근의 기시와 정지지점이 가까워진 반면에 쏘꿏 운동은 엄지발가락의 굽힘이 없기 때문에 더 높은 근 활성화도를 낼 수 있는 근육 길이를 유지했을 것으로 사료된다. 또한 엄지발가락가쪽힘증 환자의 첫 번째 발허리뼈의 모음 된 위치 역시 엄지벌림근의 기시와 정지지점의 변화로 근 활성화도가 작게 나타나 발가락 벌리기 운동보다 근 활성화도가 적은 것으로 보고하였다. 근전도가 아닌 MRI를 이용한 발 내재근 운동의 근 활성화 변화를 연구한 논문의 결과를 보면, 쏘꿏 운동과 발가락 벌리기 운동 모두 근 활성화도에 변화가 있었으나 두 운동 간 비교는 하지 않았다. 그럼에도 불구하고 두 운동의 근 활성화도가 변화한 평균 차이는 매우 비슷하였고, Kim et al. [37]의 연구는 엄지발가락가쪽힘증 환자였음을 이유로 다른 결과가 나타났다. 그러므로 쏘꿏 운동이 안쪽 세로활을 유지하게 하는 엄지벌림근 강화에 효과는 있지만 엄지발가락가쪽힘증과 같은 이차적인 병적 증상에서 정상발의 모양이 아닐 경우 효율적이지 않을 수 있다. 향후 정상인을 대상으로 각각의 발 내재근 강화운동을 시행한 근 활성화도 비교 연구를 통해 엄지벌림근의 길이-장력 관계에 따른 효율적인 운동을 알아보는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이전의 연구들을 바탕으로 Moon et al. [39]의 연구에서는 동적 균형을 안정 한계점(limit of stability)을 이용하여 검사하였다. 서 있는 자세와 앉은 자세에서 쏘꿏 운동 후에 동적 균형 변화를 측정하였는데, 왼쪽, 앞, 뒤 전체 모든 영역에서 안정 한계점이 증가했다. 이 역시 발바닥에서의 고유수용감각 자극으로 인한 결과라고 보고하였고, 신경계환자에게 쏘꿏 운동을 적용한 연구논문에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다[40]. Kim et al. [41]도 Y-균형검사(Y-Balance Test)에서 쏘꿏 운동 그룹이 할 지지 보조기 그룹과 차이를 보이고 동적 균형 능력이 향상되었음을 보고하였다. 이들은 쏘꿏 운동이 체중 지지와 보행 시 신체를 앞으로 미는 역할을 하는 엄지벌림근과 말기 입각기에서 안쪽 세로활을 유지하는 짧은 엄지굽힘근의 활성화로 인한 결과로 판단하였다. 쏘꿏 운동의 보행 기능에 대한 효과 분석 논문에서는 보행 시 좌우 압력 중심의 이동 거리와 속도가 감소하고, 운동을 통해 발목의 안쪽 번짐이 증가, 가쪽 번짐의 감소, 무릎의 안쪽 돌림과 수평면 가동범위의 감소하는 결과를 보인다[42]. 이러한 보행 기능의 향상은 감각운동 훈련과 쏘꿏 운동을 결합하여 적용했을 때, 과도하게 얹힌 발을 가진 사람에게 더욱 효과적이었다. 또한 Lim [43]은 편평발을 가진 노인에게 단축발을 적용한 연구 사례에서 보행 시 좌우변동성이 유의하게

줄어들어 노인의 낙상 예방에 효과적이라고 주장하였다. 이전의 연구들을 종합적으로 검토해 보면, 쏘꿏 운동을 통한 발바닥 자극과 고유수용성 감각 자극을 통해 동적 균형 능력이 향상되고, 발의 내재근 강화로 안쪽 세로활이 유지되어 보행에도 긍정적인 결과가 있음을 알 수 있었다. 그러나 유연성 편평발과 중립발 대상자 간의 쏘꿏 운동을 통한 균형 효과 비교연구에서는 압력 중심 동요 면적과 별표식균형검사(Star Excursion Balance Test)에서 편평발 운동군과 중립발 운동군 모두에서 동적 및 정적 균형이 유의하게 향상된 결과를 나타냈다[44]. 이전의 선행연구들은 압력 중심의 이탈을 동적 균형의 척도로 선정한 반면, 이 연구에서는 압력 중심 동요 면적을 정적 균형의 척도로 선정하였다. 압력 중심 이탈의 경우 최대치와 최소치의 이상 값에 상당히 영향을 받을 뿐만 아니라, 발 움직임의 3차원 축을 설명하기 어려워 오차를 줄이고자 압력 중심 동요 면적을 선택하였다. 그 결과로 유연성 편평발을 가진 운동군은 중립발 운동군에 비해 압력 중심 동요 면적이 크게 감소하였다. 이는 유연성 편평발을 가진 사람은 정상인보다 운동 전 압력 중심 영역이 넓은 상태였고, 운동을 통해 유의하게 감소하였음을 증명하였다. 하지만 압력 중심 동요 면적을 측정한 유일한 연구이기 때문에 앞으로 관련된 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Jung et al. [45]의 연구에서는 편평발 환자에게 쏘꿏 운동과 함께 안쪽 세로활을 높이는 발 보조기를 적용하였다. 발 보조기는 편평발 환자의 정상적인 발 정렬을 유지하게 하여 발 내재근이 적절한 길이로 복구되어 근 수축을 할 수 있다. 연구 결과로 보조기만 적용한 대조군보다 발 보조기와 쏘꿏 운동을 결합한 실험군에서 더 효과적으로 강화되어 편평발 환자에게는 보조기를 결합한 운동을 권고하였다. 그러나 Kim et al. [46]의 연구에서는 앉은 자세와 한 발로 서 있는 자세에서 발 보조기와 쏘꿏 운동을 적용한 그룹보다 권양기 효과(windlass effect)를 적용한 쏘꿏 운동 그룹이 근 활성화도가 높은 것으로 나타났다. 권양기 효과는 발허리발가락 관절을 발등굽힘시키면 발바닥 근막의 장력이 증가하여 안쪽세로활의 높이를 올리고 발의 안정성을 제공해주는 역할을 하는 것을 말한다[47]. 또한 앉은 자세보다 한 발로 선 자세에서 근 활성화도가 유의하게 증가하여 체중 지지에 의한 지면반발력이 발 내재근에 대한 저항으로 적용한 것으로 보았다. 이는 Kelly et al. [48]의 앉은 자세와 서 있는 자세, 한 발로 서 있는 자세를 비교한 논문에서 체중 지지가 많을수록 근 활성화도가 크다는 결과와 동일하게 나타났다.

Koo [49]의 발목관절의 각도에 따른 운동효과 연구에서는 쏘꿏 운동과 발가락 벌리기 운동 그룹 모두에서 발목의 30° 발등굽힘에서 근 활성화도가 크게 나타났으며, Heo et al. [50]의 논문에서도 이와 동일하게 일반적인 쏘꿏 운동보다 30° 발목 발등굽힘 상태에서 더 높은 근 활성도를 보인 것으로 나타났다. 이러한 결과의 이유로 발목의 30° 발등굽힘 상태에서는 아킬레스건이 신장되어 증가한 장력이 발바닥에 영

Table 2. Comparison with related exercise and intervention

Exercise Comparison	Subject	Effectiveness	Result	Reference
TC, SF	Normal feet adult Pronated foot patient	Proprioceptor facilitation	TC < SF	Jung et al. [14] Chung et al. [36]
TCE, SF	Normal feet adult Pronated foot patient	AHM activity	TC < SF	Jung et al. [14] Chung et al. [36]
TC, SF	Normal feet adult Pronated foot patient	MLA stability	TC < SF	Jung et al. [14] Chung et al. [36]
TC, SF	Normal feet adult Pronated foot patient	Ankle stability	TC < SF	Jung et al. [14] Chung et al. [36]
TSO, SF	HV patients	AHM activity	TSO > SF	Kim et al. [37]
TSO, SF	HV patients	First MTPJ angle height increase	TSO > SF	Kim et al. [37]

TC, toe curl; SF, short foot; TSO, toe spread out; HV, hallux valgus; AHM, abductor hallucis muscle; MLA, medial longitudinal arch; MTPJ, metatarsophalangeal joint.

향을 준 것으로 보았다. 30° 발등굽힘은 권양기 효과와 마찬가지로 발 바닥 장력을 증가시켜 엄지발가락의 근 활성을 향상시킨 것으로 생각된다(Table 2).

앞서 논의한 연구들을 종합해 보면, 편평발에서 늘어난 엄지발가락의 길이는 발 보조기 적용 시 정상 길이로 회복되어 근 활성도가 높아지지만, 엄지발가락이 최대 수축을 할 수 있는 근육의 길이는 정상적인 발 자세보다 권양기 효과가 적용된, 즉 엄지발가락의 펴 상태로 나타났다. 이전에 논의했던 Kim et al. [37]과 Goo et al. [38]의 연구에서 발가락 벌리기 운동이 숏풋 운동보다 더 효과적이었던 이유도 발가락 벌리기의 운동 방법이 발가락의 펴 상태에서 시작했기 때문에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 그뿐만 아니라 권양기 효과와 마찬가지로 발목의 30° 발등굽힘 자세 역시 발바닥 장력 증가로 인해 정상 발 자세보다 높은 근 활성도를 유도할 수 있다. 체중 지지의 여부에 따라서도 발 바닥에 미치는 지면반발력이 발 내재근에 저항으로 작용하여 한 발로 서 있는 자세에서 근 활성도가 높았다. 하지만 이 모든 요소가 정상 발이나 편평발에 적용되었을 때 엄지발가락의 근 활성도가 가장 높다고 할 수는 없다. 발목의 30° 발등굽힘과 권양기 효과를 중복 적용시켰을 때 엄지발가락의 길이가 비정상적으로 길어져 정상 근 수축을 유발하지 못할 수 있고, 더불어 체중 지지를 부여할수록 발바닥의 지면반발력은 발 내재근에 스트레스로 적용되어 손상을 일으킬 수도 있다. 따라서 향후에 권양기 효과, 발목의 30° 발등굽힘 그리고 체중 지지의 여부에 따른 비교연구가 필요할 것으로 사료된다.

2) 효율적 적용방법

숏풋 운동은 앞발과 뒤꿈치는 바닥에 붙인 상태로 첫 번째 발허리뼈의 머리를 뒤꿈치 쪽으로 당기는 근 수축을 유발하되 발가락은 굽히지 않는 운동이다[13]. Janda et al. [51]은 숏풋 운동을 1단계 수동적 모형화(passive modeling), 2단계 능동-보조 모형화(active-assistive modeling), 3단계 능동적 모형화(active modeling)로 시행하는 것을 제안하였는데, 운동 중 앞정강근과 같은 외재근들의 과도한 활성을 피하며 처음에는

부분적인 체중부하 상태에서 중재자와 함께 수동적으로 진행되며 점차 대상자가 능동적으로 완전한 체중부하 상태에서 수행할 수 있도록 하였다[17]. Lee et al. [52]은 일반적인 숏풋 운동에 추가로 심상 기법을 이용하여 발목 불안정성에 대한 효과를 연구하였다. 심상 기법을 적용한 다른 운동의 선행논문과 동일하게 심상 기법이 숏풋 운동에 유의한 효과가 있음을 보고하였다. 그러나 발목 불안정성에 기인한 결과를 증명하였으므로 추후 근전도나 MRI를 통한 객관적인 자료를 제공해야 함을 제안하였다. 발목 불안정성은 앞서 논의했던 연구에서 알아본 바와 같이, 숏풋 운동 시 발바닥 자극이나 발의 고유수용성 감각 자극을 통해 해결될 수 있다. 이전 심상 기법 연구에서 심상 기법을 통해 운동 학습 능력이나 근력 강화에 효과적이라 주장했지만 Lee et al. [52]의 연구는 심상 기법을 통한 발목 안정성 향상을 확인하였기에 향후에 엄지발가락의 근 활성도에 영향을 미치는지에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

Lee et al. [53]은 편평발 환자의 숏풋 운동 적용 시 엄지발가락과 앞정강근의 근 활성도 비교 연구를 통해 편평발 환자의 숏풋 운동에서 엄지발가락과 앞정강근의 근 활성 비율이 1보다 높아 앞정강근의 근 활성도가 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 숏풋 운동 시행 시 앞정강근의 근 활성도가 높아지는 것은 안쪽 세로활의 각도를 유지하기 위한 보상작용임을 인식하고 주의해야 한다고 보고하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 바이오피드백 접근법은 운동과 접목하여 적용 시 보상작용을 감소시키고 선택적 수축이 가능하여 일반적인 운동에 비해 운동의 효과를 극대화시킬 수 있다[54]. Cha et al. [55]은 외재근과 내재근의 근 활성도를 제어하기 위한 방법으로, 근전도 바이오피드백을 이용한 숏풋 운동이 앞정강근의 근 활성을 억제하여 안쪽 세로활 유지에 효과가 있음을 보고하였으며, 서 있는 자세에서 체중 지지 동안 효과가 극명히 나타날 것이라 주장하였다. 마찬가지로, Jeong [56]의 연구에서는 족저압의 시각적 피드백을 이용한 숏풋 운동이 더욱 효과가 있었다고 보고하였다. Park et al. [57]은 핀치측정기(Pinch gauge)를 첫 번째 발허리 머리 아래 위치시키고 시각 피드백을 적용한 연구에서 엄지발

Table 3. Effective application of short foot exercise

Application	Method	Effectiveness	Result	Reference
Phased approach	Passive Active-assistive Active	EFM activity decrease	SE	Page et al. [17]
SFE+IT	5 sec/times 3 times/week 6 weeks	Ankle stability	SE	Lee et al. [52]
SFE+FO	Custom-made Foot orthosis	FIM strengthening	SE	Jung et al. [45]
SFE+WE	MTPJ 30° DF	MLA height increase AHM activity increase	SE	Kim et al. [46] Koo [49]
SFE+BF	EMG BF	Compensation decrease Selective contraction increase MLA height increase	SE	Lee et al. [53] Cha et al. [55] Park et al. [57]

SFE, short foot exercise; IT, imagery techniques; FO, foot orthosis; FIM, foot intrinsic muscle; WE, windlass effect; MTPJ, metatarsophalangeal joint; DF, dorsiflexion; EMG, electromyography; BF, bio feedback.

림근의 근 활성화와 핀치측정기 수치의 긍정적 상관관계가 있음을 확인하며, 임상에서 엄지 벌림근의 근 활성을 효과적으로 확인할 도구로 추천하였다. 결과적으로 이전의 바이오피드백과 운동을 결합한 연구들과 마찬가지로 숏풋 운동에서도 바이오피드백을 결합시킬 경우 외재근의 보상작용 없이 엄지벌림근의 선택적 수축이 가능하며, 핀치측정기를 이용하여 간편하게 엄지벌림근의 활성을 유도할 것으로 사료된다(Table 3).

본 연구는 숏풋 운동에 대한 전반적인 적용 방법과 효과를 연구한 논문을 분석하였다. 하지만 각 논문의 운동방법의 기간이나 방식에서 같지 않았고, 대상자 또한 정상인, 운동선수, 편평발 환자 등 다양하게 구성되어 있으며, 표본 수가 적은 논문도 포함되어 있으므로 일반화하지 못하였다. 그럼에도 숏풋 운동은 엄지벌림근의 강화로 안쪽 세로활 유지에 효과적이며, 동적 균형과 발 안정성, 보행에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 때문에 본 연구에서 검토한 효율적인 숏풋 운동방법을 사용한다면 임상에서 안쪽 세로활이 무너진 일반인, 운동선수와 환자의 재활에 유용할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 숏풋 운동이 안쪽세로활과 균형에 미치는 영향과 효율적인 적용 방법 등에 관하여 전반적인 고찰과 분석을 통해 임상에서 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

숏풋 운동은 발 내재근 중 엄지벌림근의 강화를 주 목적으로 적용되며, 그 결과로 안쪽 세로활이 무너지지 않고 유지되게 하는 검증된 운동이었다. 이는 편평발을 가진 사람뿐만 아니라 정상인에게도 효과적이며 발목의 안정성과 동적 균형을 향상시켜 보행 기능을 향상시키는 것으로 나타났다. 그러나 엄지발가락가쪽힘증이 있는 환자의 경우

는 활시위효과로 인해 발가락 벌리기 운동이 숏풋 운동보다 효과적이었으며, 정적 균형에 대한 영향은 검사 항목에 따라 결과가 달라서 향후 후속연구가 필요한 실정이다. 숏풋 운동을 더욱 효율적으로 적용하기 위한 방법으로는 심상 기법을 운동 후에 적용했을 때와 운동 중에는 바이오피드백을 결합한 운동이었다. 운동 환경의 변화를 통한 효율적인 운동방법으로는 체중 지지 시, 발목을 30° 발등굽힘을 통한 권양기효과가 발 내측세로활 지지와 엄지벌림근 활성화에 효과가 있었으며, 숏풋 운동과 함께 발 안창 보조기적용 시 발내재근 강화에 효과가 뛰어났다. 하지만 각각의 변형된 방법 중 어떠한 방법이 최적인지 혹은 모두 적용했을 때 운동 효과가 효율적으로 나타날 것인지 불분명한 상태이므로 향후 더 많은 후속 연구를 통해 검증해야 할 것이다.

REFERENCES

- Hillstrom HJ, Song J, Kraszewski AP, Hafer JE, Mootanah R, et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. *Gait Posture*. 2013;37(3):445-51.
- McKeon PO, Hertel J, Bramble D, Davis I. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *Br J Sports Med*. 2015;49(5):290.
- Lynn SK, Padilla RA, Tsang KK. Differences in static- and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training: the short foot exercise versus the towel-curl exercise. *J Sport Rehabil*. 2012;21(4):327-33.
- Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundation for physical rehabilitation*. St Louis: Mosby 2009.
- Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, Ingersoll CD, Hertel J. Fatigue of

- the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):420-5.
6. Goldmann JP, Bruggemann GP. The potential of human toe flexor muscle to produce force. *J Anat.* 2012;221(2):187-94.
 7. Fiolkowski P, Brundt D, Bishop M, Raymund W, Horodyski M. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *J Foot Ankle Surg.* 2003;42(6):327-33.
 8. Pinney SJ, Lin SS. Current concept review: acquired adult flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2006;27(1):66-75.
 9. Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, Johnson CW, Cullison TR. The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med.* 1999;27(5):585-93.
 10. Simkin A, Leichter I, Giladi M, Stein M, Milgram C. Combined effect of foot arch structure and an orthotic device on stress fracture. *Foot Ankle Int.* 1999;10(1):25-9.
 11. Segesser B, Nigg B, Morell F. Achillodynien und tibiale Insertionstendinosen. *Med U Sport.* 1980;29:79-83.
 12. Anderson MK, Hall SJ, Martin M. Foundations of athletic training: prevention, assessment, and management. 4th ed., Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2004.
 13. Prentice WE. Rehabilitation techniques in sports medicine. New York: McGraw Hill Higher Education 2009.
 14. Jung DY, Kim MH, Koh EK, Kwon OY, Cynn HS, et al. A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercise. *Phys Ther Sport.* 2011;12(1):30-5.
 15. Liebenson C. Self-help advice for the Clinician: sensory-motor training. *J Bodyw Mov Ther.* 2001;5(1):21-7.
 16. Rothermel SA, Hale SA, Hertel J, Denegar CR. Effect of active foot positioning on the outcome of a balance training program. *Phys Ther Sport.* 2004;5(2):98-103.
 17. Page P, Frank CC, Lardner R. Assessment and treatment of muscle imbalance. The Janda Approach. Champaign. 1st Ed., Human Kinetics 2009.
 18. Donatelli R. The biomechanics of the foot and ankle. Philadelphia: F.A. Davis company 2009.
 19. Wong YS. Influence of the abductor hallucis muscle on the medial arch of the foot: a kinematic and anatomical cadaver study. *Foot Ankle Int.* 2007;28(5):617-20.
 20. Easley ME, Trnka HJ. Current concepts review: hallux valgus part I: pathomechanics clinical assessment and nonoperative management. *Foot Ankle Int.* 2007;28(5):654-9.
 21. Pohl MB, Hamill J, Davis IS. Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners. *Clin J Sport Med.* 2009;19(5):372-6.
 22. Ryan M, Grau S, Krauss I, Maiwal C, Taunton J, et al. Kinematic analysis of runners with achilles mid-portion tendinopathy. *Foot Ankle Int.* 2009;30(12):1190-5.
 23. Sherman KP. The foot in sport. *Br J Sports Med.* 1999;33(1):6-13.
 24. Tome J, Nawoczenski DA, Flemister A, Houck J. Comparison of foot kinematics between subjects with posterior tibialis tendon dysfunction and healthy controls. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36(9):635-44.
 25. Hrysomallis C. Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports Med.* 2007;37(6):547-56.
 26. Heo HJ, Koo YM, Yoo WG. Comparison of selective activation of the abductor hallucis during various exercises. *J Phys Ther Sci.* 2011;23(6):915-8.
 27. Abouaisha F, van Schie CH, Griffiths GD, Young RJ, Boulton AJM. Plantar tissue thickness is related to peak plantar pressure in the high-risk diabetic foot. *Diabetes Care.* 2001;24(7):1270-4.
 28. Citaker S, Gunduz AG, Guclu MB, Nazliel B, Irkeç C, et al. Relationship between foot sensation and standing balance in patients with multiple sclerosis. *Gait Posture.* 2011;34(2):275-8.
 29. Shumway-Cook A, Woolloacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. 3rd ed., Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2006.
 30. Witchalls J, Waddington G, Blanch P, Adams R. Ankle instability effects on joint position sense when stepping across the active movement extent discrimination apparatus. *J Athl Train.* 2012;47(6):627-34.
 31. Maki BE, Perry SD, Norrie RG, McIlroy WE. Effect of facilitation of sensation from plantar foot-surface boundaries on postural stabilization in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1999;54(6):281-7.
 32. Janda V, Vavrova M. Sensory motor stimulation. In: Rehabilitation of the Spine: a practitioner's manual. Liebenson C. Baltimore: Williams & Wilkins 1996.
 33. Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Man Ther.* 2013;18(5):425-30.
 34. Drewes LK, Beazell J, Mullins M, Hertel J. Four weeks of short foot exercises affect lower extremity function, but not alignment, in patients with lower extremity injuries. *J Athl Train.* 2008;43(3):105-6.

35. Mignogna CA, Welsch LA, Hoch MC. The effects of short-foot exercises on postural control: a critically appraised topic. *Intl J of Athletic Therapy & Training*. 2016;21(6):8-12.
36. 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. *Phys Ther Rehabil Sci*. 2016;5(2):78-83.
37. Kim MH, Kwon OY, Kim SH, Jung DY. 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 and Musculoskeletal Rehabil*. 2013;26(2):163-8.
38. Goo YM, Heo HJ, An DH. EMG activity of the abductor hallucis muscle during foot arch exercises using different weight bearing postures. *J Phys Ther Sci*. 2012;26(10):1635-6.
39. Moon DC, Kim K, Lee SK. Immediate effect of short-foot exercises on dynamic balance of subjects with excessively pronated feet. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(1):117-9.
40. Lee P. Short foot exercise incorporating the foot core system paradigm on clinical trials for the patients [thesis]. Yongin: Yongin University 2015.
41. Kim EK, Kim JS. The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(11):3136-9.
42. Moon DC. Effect of sensorimotor training combined with short foot exercise on postural stability and gait of subjects with an excessively pronated foot [thesis]. Daegu: Daegu University 2014.
43. Lim TH. The effects of short foot exercise on ankle strength, static and dynamic balance control on flat foot elderly [thesis]. Seoul: Korea University 2017.
44. Kim JA. Muscle activity and balance in people with and without flexible flatfeet following a short foot exercise program [thesis]. Wonju: Yonsei University 2014.
45. Jung DY, Koh EK, Kwon OY. Effect of foot orthoses and short-foot exercise on the cross-sectional area of the abductor hallucis muscle in subjects with pes planus: a randomized controlled trial. *J Back and Musculoskeletal Rehabil*. 2011;24(4):809-15.
46. Kim DH, Jung DY. Comparison of the activity of the abductor hallucis muscle during short-foot exercises using foot orthosis and the winlass effect in sitting and one-leg standing positions. *J Korean Soc Phys Med*. 2017;12(1):75-81.
47. Bolgla GA, Malone TR. Plantar fasciitis and the windless mechanism: a biomechanical link to clinical practice. *J Athl Train*. 2004;39(1):77-82.
48. Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, Cresswell AG. Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clin Biomech*. 2012;27(1):46-51.
49. Koo YM. Electromyographic analysis of abductor hallucis during short foot exercise and toe spread exercise [thesis]. Gimhae: Inje University 2011.
50. Heo HJ, An DH. The effect of an inclined ankle on the activation of the abductor hallucis muscle during short foot exercise. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(4):619-20.
51. Janda V, Bullock-Saxton J, Vavrova M, Specialists CC. Sensory motor stimulation: Body Control Systems 1994.
52. Lee DJ, Ji SH. Effect of short foot exercise using an imagery technique on chronic ankle instability. *Journal of the Korean Integrative Medicine*. 2017;5(2):1-10.
53. Lee JH, Cynn HS, Yoon TL, Choi SA, Kang TW. 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. *J Back and Musculoskeletal Rehabil*. 2016;29(4):809-15.
54. Van DHB, Sangeorzan BJ. Biomechanics and pathophysiology of flat foot. *Foot Ankle Clin*. 2003;8(3):419-30.
55. Cha SM, Kang MH, Moon DC, Oh JS. Effect of the short foot exercise using an electromyography biofeedback on medial longitudinal arch during static standing position. *Phys Ther Korea*. 2017;24(1):9-18.
56. Jeong DW. The effects of visual feedback short foot exercise on foot alignment and foot pressure in adults with flexible flatfoot [thesis]. Daegu: Daegu University 2017.
57. Park KM, Cynn HS, Choi HS. Relationship between electromyographic activity of the abductor hallucis and the pressure of a pinch gauge during short foot exercise. *Phys Ther Korea*. 2011;18(4):19-25.