

## 앉은 자세와 한발로 선 자세에서의 발 보조기와 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동 시 엄지 벌림근의 근 활성화도 비교

김도현 · 정도영<sup>†</sup>

중부대학교 인문산업대학 케마치료학과, <sup>1</sup>중부대학교 물리치료학과, 운동병리과학연구소

### Comparison of the Activity of the Abductor Hallucis Muscle during Short-foot Exercises using Foot Orthosis and the Windlass Effect in Sitting and One-leg Standing Positions

Do-Hyun Kim, PT · Do-Young Jung<sup>†</sup>

Dept. of KEMA Therapy, Graduate School of Humanities Industry, Joongbu University

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Kinesiopathologic Institute, Joongbu University

Received: November 7, 2016 / Revised: November 8, 2016 / Accepted: November 28, 2016

© 2017 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** The purpose of this study was to compare the activity of the abductor hallucis (AbdH) muscle during short foot exercise (SFE) using foot orthosis (SFE-FO) and the windlass effect (SFO-WE) while sitting and in a one-leg standing position.

**METHODS:** We recruited fourteen subjects with normal feet for this study. Surface electromyography (EMG) was used to measure the muscle activity of the AbdH muscle during SFE, SFE-FO, and SFE-WE while sitting and in a one-leg standing position. Three trials consisting of a 5 s hold for each of the three exercises were performed to measure the

EMG activity of the AbdH muscle. Exercise type and position were randomly assigned. Two-way repeated-measures ANOVA was used to analyze the effects of exercise type (SFE vs. SFE-FO vs. SFE-WE) and position (sitting vs. one-leg standing position) on AbdH muscle activity. A statistical significance was set at  $\alpha=.05$ .

**RESULTS:** The EMG activity of AbdH muscle in the SFE-WE exercise was significantly greater than that during SFE and SFE-FO in both exercise positions ( $p<.001$ ). In addition, the EMG activity of the AbdH muscle in the one-leg standing position was significantly higher than that while sitting ( $p<.001$ ) during all three exercises.

**CONCLUSION:** These results suggest that SFE-WE is a more effective strengthening exercise than SFE or SFE-FO for activating the AbdH muscle.

**Key Words:** Abductor hallucis muscle, Plantar intrinsic muscles, Short-foot exercise, Windlass effect

<sup>†</sup>Corresponding Author : ptsports@joongbu.ac.kr

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. 서론

발 외재근은 종아리에서 기시해서 발목을 가로질러 발에 정지하는 반면에 발 내재근은 발에서 기시하여 발에서 정지한다. 그 중 발 내재근은 발등과 발바닥 모두 존재하지만 발바닥 내재근(plantar intrinsic muscles)이 발의 세로 활(longitudinal arch)과 가로 활(transverse arch)에 기능적으로 연결되어 있기 때문에 주로 발바닥 내재근을 발 내재근으로 간주한다(Soysa 등, 2012). 발바닥 내재근은 발바닥 널힘줄(plantar aponeurosis)로부터 4개의 층으로 구성된다. 또한 발바닥 내재근의 첫 번째와 두 번째 층은 발의 안쪽과 가쪽 세로활 모양에 정렬되어 있는 반면에 깊은 층은 앞쪽과 뒤쪽에 있는 가로 활에 정렬되어 있다(Neumann, 2002).

발바닥 내재근은 체중지지 활동 동안 아치의 안정성에 기여하고 발바닥 근막, 발바닥 인대 및 발의 외재근과 함께 작용하여 보행 시 발의 목말밑 관절(subtalar joint)의 옆침(pronation)을 조절한다(Headlee 등, 2008; Goldmann과 Bruggemann, 2012; Fiolkowski 등, 2003). 이전 연구에서 과도한 발가락 굽힘 운동으로 인한 발바닥 굽힘근의 피로가 안쪽 세로활의 높이를 감소시켰으며 이를 통해 발바닥 내재근이 발 안쪽 세로활을 유지하고 옆침을 조절하는 기능을 갖는다고 보고하였다(Headlee 등, 2008). 또한 몇몇 연구들에서 발바닥 내재근이 자세 및 균형 조절 기능과 관련 있다고 보고하였다(Kelly 등, 2012; Goldmann과 Bruggemann, 2012; Mickle 등, 2009) 그 중 Kelly 등(2012)은 한발로 서게 되면 무게 중심이 내측으로 이동하면서 발바닥 내재근의 근 활성도가 증가 되었다고 보고하였다.

발 내재근의 기능부전(dysfunction)은 망치발가락(hammer toe), 갈퀴발가락(claw toe) 그리고 엄지발가락 가쪽휘증(hallux valgus)과 같은 발가락 기형과(Myerson와 Shereff, 1989; Arinci Incel 등, 2003; Kwon 등, 2009), 발바닥 근막염(Plantar fasciitis)(Allen과 Gross, 2003; Chang 등, 2012)과 관련이 있다. 따라서 최근에 임상에서 발 내재근 기능부전을 예방하고 중재하기 위한 발 내재근 강화 훈련이 자주 시행되고 있다.

임상에서 주로 시행하는 발 내재근 강화 훈련으로

발가락 말기(toe-curl) 운동, 발가락 뻗침(toe-spread) 운동 그리고 짧은 발(short-foot) 운동이 있다. 최근에 다양한 발 내재근 강화 훈련에 대한 근 활성도를 비교하기 위한 근전도 연구와 장기간의 훈련 효과를 알아보기 위한 무작위-대조군 연구들이 선행되었다(Kim 등, 2013; Jung 등, 2011a; Jung 등, 2011b). 다양한 발 내재근 강화 운동의 근 활성도를 비교하기 위한 근전도 연구들에서 내재근 중 세로 활 유지에 가장 크게 기여하는 엄지 벌림근(abductor hallucis)의 근 활성도를 비교한 결과, 짧은 발 운동이 발가락 말기 운동 보다 그리고 발가락 뻗침 운동이 짧은 발 운동 보다 근 활성도가 더 유의하게 높았다고 보고하였다(Jung 등, 2011a). Lynn 등(2012)은 4주간의 발가락 말기 운동과 짧은 발 운동을 비교한 결과, 발배뼈 높이와 정적인 균형 능력에는 유의한 차이가 없었으나 비우세 다리에서의 동적 균형 능력에는 짧은 발 운동이 발가락 말기 운동보다 더 효과가 있다. 비록 다양한 발 내재근 강화 훈련에 대한 효과를 비교한 연구들이 선행 되었지만 임상에서 실제 발 내재근의 기능부전이 있는 환자에게 짧은 발 운동을 교육하고 적용했을 때 발 내재근을 쉽게 활성화 시키는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 쉽게 발 내재근을 활성화 시킬 수 있는 운동방법을 알아보기 위해 기존의 짧은 발 운동, 발 보조기를 이용한 짧은 발 운동 그리고 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동 시 근 활성도를 비교하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구 대상자는 실험 전에 본 연구의 목적과 방법에 대해 충분히 설명을 듣고, 실험 참여에 동의한 자로 하였다. 연구대상자는 총 14명(남성: 11명, 여성: 3명)으로 선정기준은 다음과 같다. 첫째, 발배뼈 처짐(navicular drop) 검사 시 10 mm 이하이고 편안한 기립자세에서의 뒤꿈치 자세 (RCSP: resting calcaneal stance posture)가  $-2^{\circ}$ ~ $+2^{\circ}$ 인 자(Razeghi과 Batt, 2002; Mahar와 Livingston, 2009), 둘째로 하지의 반복적 손상이나 수술적 병력이

없는 자, 셋째, 당뇨병이나 발가락의 기형이 없는 자. 대상자의 일반적인 특징으로 평균 키 169.6±5.8cm, 몸무게 64.2±11.3kg, 나이 27.8±4.3세 그리고 BMI 22.2±3.1kg/m<sup>2</sup>이다. 본 연구의 결과의 수치를 가지고 파워 분석(power analysis)을 해본 결과, 운동 간의 유의한 차이가 나는 조건 중 가장 낮은 평균차이와 차이의 표준편차 수치를 대입하여 알아본 결과 파워가 .8(80%)일 때 대상자 크기(sample size)가 11명으로 본 연구의 대상자 수는 충분하다.

## 2. 측정도구

엄지 벌림근의 활성도를 측정하기 위해 무선 근전도 시스템(TeleMyo 2400T EMG, Noraxon, USA)을 이용하였다. 근전도 신호는 근전도 소프트웨어(Master Edition 1.06, Noraxon, USA)를 이용하여 분석하였다. 자료 수집률(sampling rate)은 1000 Hz로 하였으며 원신호는 20-400 Hz의 밴드패스 필터(bandpass filter)를 사용하여 여과하였다. 또한 근전도 신호를 RMS (root mean square) 값으로 계산하여 분석하였다(Bang, 2015; Yoon 등, 2014). 보조기는 발 보조기를 이용한 짧은 발 운동을 위해 뒤꿈치에서 먼쪽 발허리뼈까지 길이의 길이의 견고한 발 보조기를 사용하였다.

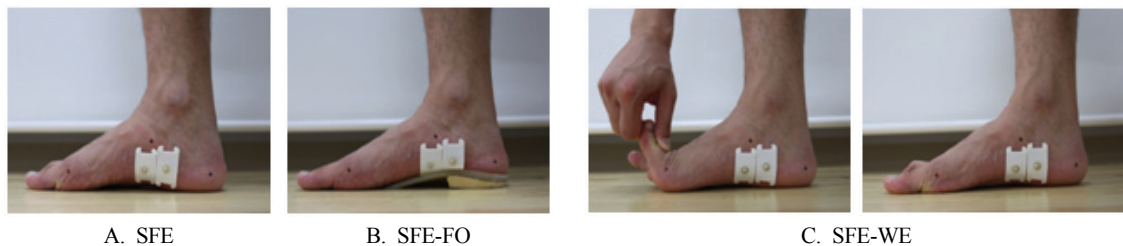
## 3. 실험방법

알코올로 실험자의 우세측 발의 부착 지점을 닦아낸 부위에 전극을 붙였다. 엄지 벌림근의 근전도 전극 부착 부위는 발배뼈 거친면의 뒤쪽 1-2 cm에 근 섬유외 진행방향과 평행 방향으로 2개를 부착하였다. 짧은 발

운동은 발가락의 굽힘없이 발허리발가락관절을 바닥에 붙여 발뒤꿈치 방향으로 당기는 동작으로, 앞뒤 방향으로 발이 작아지고 안쪽세로활을 높게 만드는 동작으로 이루어진다. 이때 발허리발가락관절과 뒤꿈치가 지면에서 떨어지지 않도록 하고 발의 안쪽세로활이 최대로 올라가도록 지시하였다(Fig. 1A). 발 보조기를 이용한 짧은 발 운동은 수동적으로 안쪽세로활을 높일 수 있도록 발 보조기를 사용한 상태로 위에서 언급한 짧은 발 운동을 수행하였다(Fig. 1B). 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동은 실험자가 대상자의 엄지발가락의 발허리발가락관절을 수동적으로 발등굽힘 시키면 발바닥 근막에서 발생하는 장력에 의해 안쪽세로활이 올라가는 것을 대상자에게 인지하게 한 후 안쪽세로활의 높이를 유지하면서 능동적으로 발허리발가락관절을 발바닥굽힘시켜 짧은 발 운동을 실시하였다(Fig. 1C).

각각의 운동방법을 앉은 자세와 한발서기 자세에서 측정하였다. 본 연구에서 두 가지 자세를 선택한 이유는 체중 지지 유무에 따라 지면반발력이 발 내재근에 대해 저항으로써 작용하기 때문이다. 앉은 자세는 등받이가 있는 의자에 상체를 수직으로 세운 자세로 엉덩관절과 무릎관절이 90도로 유지된 상태이고, 한발 서기 자세는 벽을 마주보고 대상자의 팔 길이 만큼의 거리에서 한발로 서서 균형을 잡을 수 있을 정도로만 손가락으로 기대고 체간이 앞뒤로 기울어지지 않게 하였다. 그리고 체중지지를 하지 않은 다리의 무릎관절은 90도로 굽힘하였다. 각 조건의 운동 시 동일한 자세를 유지하도록 대상자에게 지시하였다.

운동 방법과 운동 자세는 무작위로 할당 하였다. 각



SFE: short foot exercise; SFE-FO: short foot exercise using foot orthosis; SFE-WE: short foot exercise using windlass effect.

Fig. 1. Exercise type

각의 운동은 5초간 3회씩 수행하면서 근 활성도를 측정하였고, 근 활성도 분석은 5초 간 수집된 자료에서 처음과 마지막 1초의 근전도 값은 사용하지 않고, 중간 3초 동안의 평균값을 대표값으로 하였다. 각 운동 간에 근 피로를 예방하기 위해 각 조건 사이에 3분간의 휴식을 취하였다.

4. 분석 및 통계방법

평균 근 활성도의 정규화(normalization)를 위해 앉은 자세에서 뒤꿈치를 잡고 엄지 발가락을 벌림과 굽힘 방향으로 최대한의 자발적 등척성 수축에 대해 실험자의 손가락으로 몸쪽 발가락에 저항을 주었다. 근전도 측정은 5초 동안 수집되며, 처음과 마지막 1초의 근전도 값은 사용하지 않고, 3초 동안 측정된 값의 평균값을 최대 자발적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction: MVIC)으로 하였다. 각각의 운동에 대한 평균 근 활성도를 %MVIC로 표현하였다. 이요인 반복측정 분산분석(two-way repeated-measures ANOVA)를 이용하여 운동 방법(SF vs. SF-FO vs. SF-WE)과 운동 자세(앉은 자세 vs. 한발 서기 자세)에 따른 엄지 벌림근의 근 활성도를 분석하였다. 사후분석으로 대응표본 t-검정(paired t-test)를 사용하였고 통계학적 유의수준  $\alpha$ 는 .01로 정하였다.

III. 연구결과

Table 1에 각 조건에서의 평균 근활성도를 제시하였다. 이요인 반복측정 분산분석 결과, 운동 방법과 운동 자세에서 엄지 벌림근의 근 활성도는 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ )(Table 2). 운동 방법에 따른 사후분석 결과, 모든 자세에서 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동이 일반적인 짧은 발 운동과 발 보조기를 이용한 짧은 발 운동보다 엄지 벌림근의 근 활성도가 유의하게 높았다( $p < .01$ )(Fig. 2). 또한 운동 자세에 따른 사후분석 결과, 모든 운동 방법에서 한발로 선 자세가 앉은 자세보다 엄지 벌림근의 근 활성도가 유의하게 높았다( $p < .01$ )(Fig. 2).

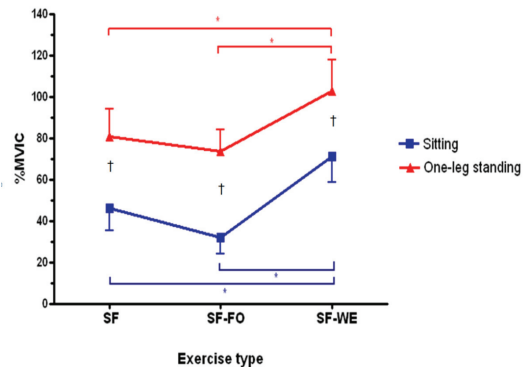
Table 1. Muscle activities of AbdH during SF exercises (%MVIC)

Exercise position	Exercise type	Mean±SD
Sitting	SF	46.35±40.47
	SF-FO	32.05±29.61
	SF-WE	71.35±47.3
One-leg standing	SF	80.62±50.58
	SF-FO	73.58±38.94
	SF-WE	103.09±55.66

Table 2. Results of ANOVA analysis in exercise position and type

Source of Variance	SS	df	MS	F	p
Exercise position	26986.1	1	26986.1	5.2	.03*
Exercise type	17364.4	2	8682.2	23.0	.00*
Exercise position x type	361.2	2	180.6	.5	.62

\* Significant differences in exercise position and type ( $p < .05$ )



\* Significant differences in exercise type ( $p < .01$ );

† Significant differences in exercise position ( $p < .01$ )

SFE: short foot exercise; SFE-FO: short foot exercise using foot orthosis; SFE-WE: short foot exercise using windlass effect.

Fig. 2. Result of post-hoc analysis in exercise types and positions

#### IV. 고 찰

임상에서 평발 환자의 경우 운동에 대한 설명을 자세히 설명해줌에도 불구하고 처음에 올바른 운동의 수행이 어렵다. 왜냐하면 평상시 선택적으로 사용하는 근육들이 아니고 약해져 있는 발 내재근의 수축을 수행해야 하기 때문이다. 그래서 발 내재근이 약한 환자의 경우에 치료사가 수동적으로 안쪽 세로활을 잡아주어 발을 짧게 한 후 수행하기도 하지만 이것 또한 쉽지 않은 운동이다(Page 등, 2009). 최근 연구에서도 실험 대상자들에게는 짧은 발 운동이 익숙하지 않아서 2주간 운동법을 연습한 후에 발가락 말기 운동(toe-curl exercise)과 짧은 발 운동 시 엄지발림근의 근활성도를 측정 하였다(Jung 등, 2011a). 따라서 본 연구에서는 임상에서 쉽게 할 수 있는 짧은 발 운동을 제시 하고자 실험 전 각 대상자들에게 운동방법들을 설명 한 뒤 3번 연습한 후 운동 방법을 무작위로 배정하여 다양한 짧은 발 운동을 수행하였다.

본 연구 결과, 앉은 자세와 한발서기 자세 모두 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동이 일반적인 짧은 발 운동과 발 보조기를 이용한 짧은 발 운동보다 엄지 발림근의 근 활성화도가 유의하게 높았다. 권양기 효과는 발허리발가락관절을 발등굽힘시키면 발바닥 근막(plantar aponeurosis)의 장력이 증가하여 안쪽세로활의 높이를 올리고 발의 안정성을 제공해주는 역할을 한다(Bolgia와 Malone, 2004). 특히 보행 중 말기 입각기 시 권양기 효과는 발이 뒤침(supination)되는 중요한 요인으로 작용하고 발을 견고하게 하여 추진할 수 있도록 도와준다(Hicks, 1954; Kappel-Bargas 등, 1998). 이러한 권양기 효과를 이용하여 본 연구에서는 발허리 발가락관절을 수동적으로 발등굽힘 시켜 안쪽세로활의 높이를 올려 이를 유지하면서 발가락을 천천히 발바닥굽힘 시켜 짧은 발 운동을 실시하였다. Jung 등(2011a)의 연구에서 짧은 발 운동의 근활성도는 앉은 자세와 한발로 선 자세에서 본 연구의 결과와 비슷한 연구결과를 보였다. 본 연구에서 실시한 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동은 일반적인 짧은 발 운동보다

앉은 자세와 한발로 선 자세에서 각각 14%MVIC와 23%MVIC 차이를 보였다. Reinold 등(2004)의 연구에서 비록 어깨관절에서의 근육에 관한 연구이지만, 임상적으로 의미가 있기 위해서는 근활성도의 차이가 최소한 10%MVIC의 차이를 보여야 한다고 보고하였기 때문에 본 연구에서는 임상에서 환자들이 발 내재근을 쉽게 활성화 시킬 수 있는 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동을 추천한다.

발 보조기는 평발환자들에게 발의 아치를 재정렬시키고 환자의 증상 완화를 위해 자주 처방되고 제작되어지는 중재 방법이다(Hume 등, 2008; Banwell 등, 2014; Evans와 Rome, 2011). 본 연구에서는 이러한 발 보조기를 이용한 쉽게 아치를 올리고 짧은 발 운동을 시행 하였으나 근활성도가 32.1%MVIC와 73.58%MVIC로 다른 짧은 발 운동 중 가장 낮았다. 그 이유는 발 보조기를 착용하면 발의 아치가 올라가면서 엄지발림근의 길이가 짧아진 상태가 되어 근활성도를 최대한으로 유발하기에 충분한 길이가 되지 못하므로 근활성도가 낮았을 것이라 사료된다. Jung 등(2011b)은 8주간 발 보조기를 사용한 그룹과 발 보조기와 짧은발 운동을 함께 수행한 그룹을 비교한 연구에서 두 그룹 모두 근력과 엄지발림근의 단면적이 증가한 결과를 바탕으로 발 보조기가 발바닥의 피부 수층기로부터 감각저해에 의해 구심성 자극을 증가시킬수 있고, 늘어난 엄지발림근을 정상 길이로 회복하는 것을 도울 수 있다고 제안하였다. 본 연구와 이전 연구와는 상반된 연구결과이지만 발 보조기를 이용한 짧은 발 운동은 근 피로를 쉽게 느끼지 않고 근 지구력 향상을 위한 운동방법으로 추천한다.

본 연구에서는 운동 자세에 따른 사후분석 결과, 모든 짧은 발 운동 방법에서 한발로 선 자세가 앉은 자세보다 엄지 발림근의 근 활성화도가 유의하게 높았다. 이는 체중 지지 유무에 따른 지면반발력이 발 내재근에 대해 저항으로써 작용하기 때문이다. 따라서 평발 환자에게 짧은 발 운동을 수행할 때 발 내재근의 수행능력에 맞춰 운동자세를 고려해야 한다고 사료된다. 본 연구와 유사한 이전 연구에서 Kelly 등(2012)은 한 발 서기

자세에서의 발바닥 내재근의 활성화도가 앉은 자세와 두 발로 서있는 자세보다 유의하게 높게 나타났으며 한발 서기 자세에서 압력중심의 안쪽 이동에 분명한 연관성이 있다고 보고하였다. 또한 Mulligan과 Cook (2013)의 연구에서는 4주간의 짧은 발 운동 후 기능적 뻗기 능력이 향상되었다고 보고하였다. 따라서 본 연구는 균형 능력이 떨어지는 환자에게 짧은 발 운동을 수행할 때 환자의 균형능력에 맞추어 운동자세 및 방법을 고려하기 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구의 첫 번째 제한점으로는 안쪽 세로활의 높이를 측정하지 못했다는 것이다. 비록 권양기효과를 이용한 짧은 발 운동 시 대상자로 하여금 안쪽 세로활이 내려가지 않고 유지하라고 지시하였으나 이를 제대로 수행했는지 확인하지 못했다. 두 번째로, 다양한 짧은 발 운동 시 발 내재근의 활성화도의 차이를 좀더 명확하게 알아보기 위해 발 내재근의 근활성도와 안쪽 세로활 높이와의 상관관계를 알아보지 못하였다. 세 번째로, 보조기를 이용한 짧은 발 운동에서 각 실험자간 발의 크기와 안쪽세로활의 높이를 고려하지 않고 같은 모양의 보조기를 이용한 점이다. 네 번째로는 평발환자가 아닌 일반 대상자로 하였고 대상자 수가 적어 연구결과를 일반화(generalization) 할 수 없다는 것이다. 따라서 향후 연구에서는 발 내재근의 약화가 있는 평발환자를 대상으로 다양한 짧은 발 운동 시 발 내재근의 근활성도와 안쪽 세로활의 높이를 알아보고 장기간의 효과를 알아볼 필요가 있을 것이다.

## V. 결론

본 연구에서 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동이 기존의 짧은 발 운동이나 보조기를 이용한 짧은 발 운동 보다 엄지벌립근의 근활성도가 유의하게 높았다. 따라서 임상에서 발 내재근이 약한 사람들에게 발 내재근의 근활성화를 활성화에 좀더 효과적이고 쉽게 적용할 수 있는 권양기 효과를 이용한 짧은 발 운동을 추천한다.

## Acknowledgements

본 결과물은 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구 결과입니다.

## References

- Allen RH, Gross MT. Toe flexors strength and passive extension range of motion of the first metatarsophalangeal joint in individuals with plantar fasciitis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(8):468-79.
- Arinci Incel N, Genc H, Erdem HR, et al. Muscle imbalance in hallux valgus: an electromyographic study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(5):345-9.
- Bang HS. The Effects of Lumbar Stabilization Exercise on Muscle Activity and Isokinetic Muscle Strength of Female Patients with Chronic Low Back Pain. *J Korean Soc Phys Med.* 2015;10:63-71.
- Banwell HA, Mackintosh S, Thewlis D. Foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. *J Foot Ankle Res.* 2014;7:23
- Bolgia LA, Malone TR. Plantar Fasciitis and the Windlass Mechanism: A Biomechanical Link to Clinical Practice. *J Athl Train.* 2004;39(1):77-82.
- Chang R, Kent-Braun JA, Hamill J. Use of MRI for volume estimation of tibialis posterior and plantar intrinsic foot muscles in healthy and chronic plantar fasciitis limbs. *Clin Biomech.* 2012;27(5):500-5.
- Evans AM, Rome KA. Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. *J Phys Rehabil Med.* 2011;47(1):69-89.
- Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, et al. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *J Foot Ankle Surg.* 2003;42(6):327-33.
- Goldmann JP, Bruggemann GP. The potential of human toe

- flexor muscles to produce force. *J Anat.* 2012;221:187-94.
- Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, et al. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *J Electromyogr and Kinesiol.* 2008;18:420-5.
- Hicks JH. The mechanics of the foot. *J Anat.* 1954;88(1):25-30.
- Hume P, Hopkins W, Rome K, et al. Effectiveness of foot orthoses for treatment and prevention of lower limb injuries : a review. *Sports Med.* 2008;38(9):759-79.
- 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. *Phys Ther Sport.* 2011a;12(1):30-5.
- 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 Musculoskelet Rehabil.* 2011b;24(4):225-31.
- Kappel-Bargas A, Woolf RD, Cornwall MW, et al. The windlass mechanism during normal walking and passive first metatarsalphalangeal joint extension. *Clin Biomech.* 1998;13(3):190-4.
- Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, et al. Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clin Biomech (Bristol. Avon).* 2012;27:46-51.
- Kim MH, Kwon OY, Kim SH. 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.
- Kwon OY, Tuttle LJ, Johnson JE, et al. Muscle imbalance and reduced ankle joint motion in people with hammer toe deformity. *Clin Biomech.* 2009;24(8):670-5.
- 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;21:327-33.
- Mahar SM, Livingston LA. Bilateral measurement of resting calcaneal stance position and tibial varum using digital photography and standardized positioning protocols. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2009;99(3):198-205.
- Mickle KJ, Munro BJ, Lord SR, et al. ISB Clinical Biomechanics Award 2009: toe weakness and deformity increase the risk of falls in older people. *Clin Biomech.* 2009;24(10):787-91.
- Mulligan EP, Cook RG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Man Ther.* 2013;18(5):425-30.
- Myerson MS, Shereff MJ. The pathological anatomy of claw and hammer toes. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71(1):45-9.
- Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system* (1<sup>st</sup> ed). Mosby. 2002.
- Page P, Frank C, Lardner R. *Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda Approach* (1<sup>st</sup> ed). Human Kinetics. 2009.
- Razeghi M, Batt Me. Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait Posture.* 2002;15(3):282-91.
- Reinold MM, Wilk KE, Fleisig GS, et al. Electromyographic analysis of the rotator cuff and deltoid musculature during common shoulder external rotation exercises. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2004;34(7):385-94.
- Soysa A, Hiller C, Refshauge K, et al. Importance and challenges of measuring intrinsic foot muscle strength. 2012;5(1):29.
- Yoon SW, Lee JW, Choi MS. Effect of Shoes Sole Form on Knee and Ankle Muscle Activity. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;9:347-54.