

정상발과 평발에서의 목말밋 관절가동범위와 등쪽굽힘근의 근활성도 비교

고은경 · 정도영[†]

마산대학교 물리치료과, ¹충부대학교 물리치료학과 운동병리과학연구소

Comparison of Subtalar Joint Range of Motion and Dorsiflexor Muscle Activity Between Normal and Pes Planus Feet

Eun-Kyung Koh, PT · Do-Young Jung, PT[†]

Department of Physical Therapy, Masan University

¹Department of Physical Therapy, Kinesiopathologic Science Institute, Joongbu University

Received: April 19, 2018 / Revised: April 20, 2018 / Accepted: April 24, 2018

© 2018 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The imbalance of pretibial muscles can be a factor contributing to the development of pes planus. However, no study has yet compared the muscle activity of the tibialis anterior (TA) to that of the extensor digitorum longus (EDL). The purpose of this study was to determine whether there are differences in the electromyographic (EMG) TA and EDL amplitude indexes (AIs) between normal and pes planus feet.

METHODS: A total of 14 subjects with normal feet and 15 subjects with bilateral pes planus participated in this study. TA and EDL muscle activities were measured using a wireless EMG system and the angles of ankle dorsiflexion and

eversion of the subtalar joint were measured using a universal goniometer during active ankle dorsiflexion in the prone position. AI was calculated as follows: $\text{amplitude}_{\text{TA}} - \text{amplitude}_{\text{EDL}} / (\text{amplitude}_{\text{TA}} + \text{amplitude}_{\text{EDL}}) / 2 \times 100$.

RESULTS: The AIs of the TA and EDL were significantly lower in pes planus feet than in normal feet ($p < .05$). The angle of subtalar eversion was significantly greater in pes planus feet than in normal feet during active ankle dorsiflexion ($p < .05$). However, there was no significant difference in the angle of ankle dorsiflexion between normal feet and pes planus feet ($p > .05$).

CONCLUSION: This study showed that TA muscle activation was lower in pes planus feet than in normal feet, resulting from greater eversion range of motion during active ankle dorsiflexion. We suggest that the imbalance of ankle dorsiflexors must be considered in pes planus management.

Key Words: Extensor digitorum longus, Pes planus, Pronation, Subtalar joint, Tibialis anterior

[†]Corresponding Author : Do-young Jung
ptsports@joongbu.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-1709-837X>
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

평발은 안쪽 세로활이 편평해지며 뒤발의 가쪽번짐 그리고 가운데발의 벌림이 있는 만성적인 상태이다 (Pinney와 Lin, 2006). 평발 혹은 과도한 옆침(pronation)이 원인이 되는 과사용 손상과 증후군으로는 족저근막염, 아킬레스건염, 엄지발가락 가쪽굽증(hallux valgus)과 뒤정강근의 기능부전(tibialis posterior dysfunction) 등이 있다(Easley와 Trnka, 2007; Pohl 등, 2009; Ryan 등, 2009). 발의 안쪽 세로활은 수동적 그리고 능동적 구조물로 지지된다. 첫 번째 발허리뼈(first metatarsal bone)와 목말뼈(talus) 사이의 상호 잠김 구조, 긴 발바닥 인대(long plantar ligament) 그리고 발바닥 근막(plantar fascia) 등에 의해 수동적으로 안쪽 세로활을 지지하고 있다(Jennings와 Christensen, 2008; Neumann, 2002). 보행과 선 자세와 같은 체중지지 활동 동안 발 외재근과 내재근들은 안쪽 세로활을 지지하기 위한 능동적인 구조물들이다(Kendall 등, 1993; Neumann, 2002; Root, 1977; Vittore 등, 2009).

발의 외재근 중 앞정강근(tibialis anterior: TA), 긴발가락편근(extensor digitorum longus: EDL)은 정강뼈 앞에 부착하여 발목을 등쪽굽힘시킨다. 앞정강근은 목말밑 관절(subtalar joint)의 내측에 정지하고 긴발가락편근은 외측에 정지하기 때문에 각각 안쪽번짐(inversion)과 가쪽번짐의 기능을 가지고 있다(Jutta, 2015). 본 연구에서는 보행 시 평발이 정상발에 비해 목말밑 관절의 과도한 가쪽번짐이 일어나기 때문에 발목관절의 발등굽힘근인 앞정강근과 긴발가락편근간의 근육 불균형이 있을 것이라고 가설을 세웠다. 최근 연구에서 정상 발가락 군과 망치 발가락 군 사이에 발목관절의 능동적 등쪽굽힘 시 앞정강근과 긴발가락편근의 근 활성화도 비, 발목관절의 등쪽굽힘과 목말밑관절의 가쪽번짐 각도 차이가 있는지 알아보았다. 그 결과, 앞정강근과 긴발가락편근의 근 활성화도 비는 정상 발가락보다 망치 발가락에서 통계학적으로 유의하게 감소하였고, 발목관절의 등쪽굽힘 각도는 망치 발가락이 정상 발가락보다 유의하게 감소하였다고 보고하였다. 평발이 보행 혹은 체중지지 활동 시에 목말밑관절에서 옆침이 발생한다고 하였으나

(Kaufman 등, 1999; Van Boerum과 Sangeorzan, 2003), 아직까지 평발에서의 발등굽힘 시 앞정강근과 긴발가락편근 간의 근육 불균형을 알아본 연구는 없는 실정이다.

정상 보행 시 발보다 상대적으로 정강뼈(tibia)가 앞서 나와야 함으로 입각기 말기 시 발뒤꿈치 올림 직전에 최소한 발등굽힘 10°가 발생한다(Tiberio, 1987). 발등굽힘 제한 시 계단 내려오기와 쪼그려 앉기와 같은 동작에서는 보행보다 발등굽힘 각도가 더 요구되며 이러한 발등굽힘 제한은 보상 움직임으로 목말밑 관절과 발목뼈중간 관절(midtarsal joint)의 과도한 옆침 혹은 평발을 일으킨다(Riemann 등, 2001). 따라서 몇몇 문헌에서 발등굽힘 제한을 평발을 일으키는 요인으로 설명하고 있지만(Hösl 등, 2014), 아직까지 평발과 정상발에서 능동적인 발목 발등굽힘 제한 정도를 비교한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 정상발과 평발에서의 능동적인 발등굽힘 시 발목 및 목말밑 관절의 관절가동범위와 앞정강근과 긴발가락편근의 근활성도를 활용한 근육 불균형을 알아보고자 하였다. 본 연구에서는 앞정강근과 긴발가락편근의 근육 불균형을 알아보기 위해 비대칭 지수(asymmetry index: AI)를 활용하여 알아보았다(Reynard 등, 2009). 본 연구의 가설로 능동적인 발등굽힘 시 정상발에 비해 평발이 발등굽힘 각이 작고 목말밑 관절의 가쪽번짐 각이 클 것이다. 그리고 상대적으로 앞정강근의 근활성도는 작고 긴발가락편근의 근활성도는 클 것이라고 정하였다.

II. 연구방법

1. 대상자

본 연구에서는 정상발 14명, 양쪽 평발인 대상자 15명이 참여하였다. 평발 기준은 안정 시 발뒤꿈치 선 자세(resting calcaneal stance position: RCSP) 각도가 가쪽번짐 4° 이상이고 발배뼈 떨어짐(navicular drop: ND)이 13 mm 이상이다. 발배뼈 떨어짐 검사는 대상자를 편안히 의자에 앉게 한 다음, 무릎을 90도 굽히게 하고서, 측정하는 발의 무릎과 두 번째 발가락이 일직선이 되도록 위치시킨다. 발배뼈의 가장 하단 부위를 표시해 두고 자를 이용하여 지면으로부터 발배뼈 표시부위까지

Table 1. Demographic data of subjects (Mean±SD)

Variables	Normal feet (n=14)	Pes planus(n=15)	p
Age (yrs)	22.0±1.3	21.7±1.3	.51
Height (cm)	164.8±9.2	164.6±6.4	.85
Weight (Kg)	60.1±14.9	60.4±12.9	.65
BMI (kg/m ²)	22.4±3.8	22.0±3.7	.90
ND (mm)	6.7±5.4	16.8±3.9	.00*
RCSP (°)	-1.1±2.1	-7.1±3.7	.00*

BMI: body mass index; ND: navicular drop; RCSP: resting calcaneal standing position. *p<.05

지 높이를 측정하였다. 다음으로 양 발로 체중지지하게 한 상태에서 지면에서부터 발배뼈의 표시부위까지 거리를 측정하였다. 선 자세에서와 앉은 자세 측정값의 차이를 발배뼈 떨어짐 길이로 사용하였다(Kim 등, 2011). 안정 시 발뒤꿈치 선자세 각도는 중립 자세에서 발뒤꿈치뼈의 이등분선이 지면과 이루는 각도로, 뒤쪽 발을 기준으로 뒤꿈치의 이등분선이 지면과의 이루는 각도를 측정하였다(Razeghi와 Batt, 2002).

대상자들은 1) 과거 발 및 발목 부위 수술 2) 관절염 3) 기타 하지의 외과적 수술 4) 요추디스크 질환으로 진단을 받았던 사람은 대상자에서 제외하였다. 모든 대상자들에게 실험 전 동의서 내용을 알려주어 연구 참여에 동의를 얻은 후 실시하였다. Table 1에 대상자들의 일반적 특성을 제시하였다(Table 1).

2. 측정도구

능동적인 발등굽힘 시 발등굽힘 각도는 일반적인 각도측정계(universal goniometer)(plastic goniometer, Baseline, USA)를 이용하였다. 각도계의 자는 12" 크기로 눈금은 1°씩 표시되어있다. 능동적인 발등굽힘 시 목말 밑 관절의 관절가동범위 측정을 위해 플라스틱 각도측정계(plastic goniometer, Baseline, USA)를 이용하였다. 각도계의 자는 6" 크기로 눈금은 1°씩 표시되어있다.

앞정강근과 긴발가락뿔근의 근활성도를 측정하기 위해 무선근전도 시스템(FreeEMG300, BTS Bioengineering, Italy)을 이용하였다. 근활성도 분석은 근전도소프트웨어(EMG analyzer, BTS Bioengineering, Italy)를 사용하였다. 근전도 신호는 표본수집률(sampling rate)은 1kHz로

하였다. 노이즈 제거를 위해 20 Hz low-pass 필터링과 500 Hz high-pass 필터링을 사용하였다. 근육별 근전도 신호는 RMS (root mean square)로 처리하였다.

3. 실험방법

본 실험을 위해 발등굽힘 각, 목말밑관절의 가쪽면 짐 각 그리고 근활성도를 측정하기 위해 검사자 3명이 참가하였다. 대상자는 엎드려 누운자세로 발과 발목을 편 자세로 침대 끝 부분 15 cm 정도 떨어져서 반대쪽 하지가 엉덩관절 굽힘, 바깥돌림, 벌림 그리고 무릎 굽힘이 되도록 하였다. 이 때 양쪽 발의 측정은 오른쪽, 왼쪽 발 측정에 대해 무작위로 측정하였다. 검사자는 캘리퍼(Dynatron skinfold califer)를 사용하여 하퇴의 하부 1/3을 이등분하였고 이 때, 캘리퍼는 하퇴의 안쪽과 바깥쪽 부분에 위치하여 발꿈치뼈에서 20 cm 떨어진 위치에 수성펜으로 가운데 지점에 표시하고 다시 발꿈치뼈 15 cm 위에 캘리퍼를 위치시켜 중간지점에 반복 표시하였다. 수직선이 이등분선을 만들도록 똑바로 그은 다음 발꿈치뼈를 이등분하였다. 목말밑 관절 각도는 하퇴1/3지점의 이등분선과 발꿈치뼈의 이등분선 사이의 각도로 정의하였다(Smith-Oricchio와 Harris, 1990). 목말 밑 관절 각도를 측정하기 위해 각도계 중심은 발뒤꿈치 뼈 근위부 위 아킬레스 건 원위부에 위치시켰고 고정자는 하퇴의 이등분선에 그리고 움직이는 발뒤꿈치의 이등분선에 위치시켜 기록하였다. 능동적인 발등굽힘 동안 발등굽힘 각도를 측정하기 위해 고정자는 종아리뼈 머리와 외복사뼈에 움직이는 다섯 번째 발허리관절의 세로축에 그리고 각도기 중심은 외복사뼈 먼

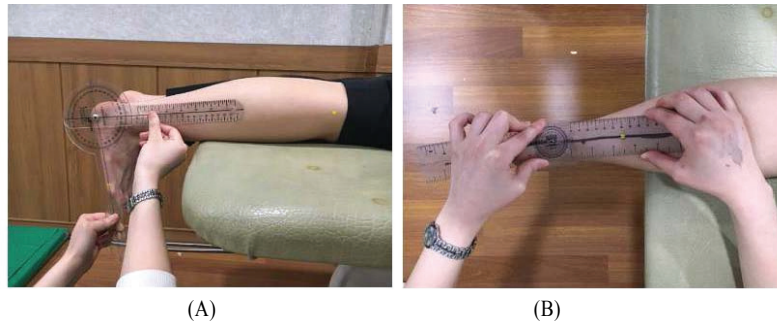


Fig. 1. Measurement of ankle dorsiflexion (A) and eversion of subtalar joint (B).



Fig. 2. The electrode placements for TA and EDL.

곳에 위치시켰다.

무선 근전도를 이용하여 능동적인 발등굽힘 시 앞정강근과 긴발가락편근의 근활성도를 알아보기 위해 각 근육의 전극 부착 부위를 수성펜으로 표시하였다. 앞정강근은 종아리뼈와 내측복사뼈 사이의 1/3지점에 긴발가락편근은 정강뼈와 외복사뼈 사이의 1/3지점에 위치한다(Koh 등, 2011). 따라서 이 부위를 참조하여 맨손근력검사(manual muscle testing)자세에서 최대 근육 수축 시 뚜렷이 보이는 근육에 전극을 부착하였다. 표면근전도 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위해 부착 부위에 소독용 알코올로 피부지방을 제거한 후 표면 전극을 피부에 부착하였다. 대상자들은 근활성도 측정을 위해 옆드려 누운 자세에서 무릎을 완전히 편 상태로 발목을 최대한 능동굽힘을 하도록 하였다. 각 근육의 근전도 신호의 정규화하기 위해 최대 자발적 등척성 근수축(maximal voluntary isometric contraction: MVIC) 측정을 하였으며 앞정강근의 최대 수의적 등척성 근수축 시 앉은 자세에서 발등굽힘 시 발가락을 구부린 상태로 검사자가 저항을 발등 위에 주면 발목을 최대한 등쪽굽

힘하도록 하였고 긴발가락편근의 최대 수의적 등척성 근수축 시 앉은 자세에서 발등굽힘 시 발가락을 구부린 상태로 검사자가 저항을 2~5번 째 발가락 위에 주면 발가락들을 최대한 등쪽굽힘 하도록 하였다. 앞정강근과 긴발가락편근의 근육 불균형 정도를 비교하기 위해 비대칭 지수(asymmetry index: AI)를 다음과 같이 산출하였다(Reynard 등, 2009): $Amplitude\ AI = \frac{amplitude\ TA - amplitude\ EDL}{(amplitude\ TA + amplitude\ EDL)} \times 100$. 이 때 양의 값이 나오면 상대적으로 앞정강근 활성도가 높고 음의 값이 나오면 긴발가락편근 활성도가 높다는 것을 의미한다.

4. 자료분석 및 통계방법

발목관절의 능동적 발등굽힘 시 각 군 간의 발등굽힘 각, 가쪽변짐 각, 그리고 각 근육 별 %MVIC, 앞정강근과 긴발가락편근의 비대칭지수(AI)를 비교하기 위해 비모수 검정인 Mann-whitney U검정을 실시하였다. 통계처리는 SPSS version 20.00 (SPSS Inc., Chicago IL, USA)을 사용하였으며 유의수준은 .05로 하였다.

III. 연구결과

정상발 군에 비해 평발 군에서 앞정강근의 근활성도의 값은 유의하게 낮았고($p < .05$), 긴발가락편근의 근활성도 값은 높았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다($p > .05$). 앞정강근과 긴발가락편근의 비대칭 지수는 평발 군에서 정상발 군보다 음의 값으로 유의하게 낮았다($p < .05$)(Table 2). 발목관절의 등쪽굽힘 각은 평발 군

Table 2. Comparison of EMG data and ROM of ankle and subtalar joint between normal feet and pes planus

Variables		Normal feet	Pes planus	p
EMG data	TA%MVIC	66.25±20.08	52.41±16.19	.02*
	EDL%MVIC	67.56±21.65	69.84±17.50	.63
	Amplitude AI (%)	1±19	-30±24	.00*
ROM (degrees)	Ankle dorsiflexion	5.21±2.25	7.72±4.68	.05
	Eversion of subtalar joint	.42±3.55	3.83±4.44	.00*

TA: tibialis anterior; EDL: extensor digitorum longus; MVIC: maximal voluntary isometric contraction; AI: asymmetric index; ROM: range of motion. *p<.05

이 정상발 군보다 컸으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었으며(p>.05), 목말밑관절의 가쪽변짐 각은 유의하게 컸다(p<.05)(Table 2).

IV. 고 찰

본 연구에서는 정상발과 평발에서의 능동적인 발등 굽힘 시 발목 및 목말밑 관절의 가동범위와 앞정강근과 긴발가락편근의 근활성도 비대칭 지수를 비교하고자 하였다. 비대칭 지수는 정상발 군과 평발군 각각 1%과 -30%이었으며 앞정강근의 %MVIC 값은 각각 66%와 52%로 유의한 차이가 있었다. 또한 목말밑 관절의 가쪽 변짐 각도는 정상발 군 4°, 평발 군 3.8°였다. 평발군의 경우 비대칭 지수가 음의 값으로 산출된 이유는 정상발과 비교했을 때 긴발가락편근에 비해 상대적으로 앞정강근의 근활성도가 낮았기 때문이다. 따라서 능동적인 발등굽힘 시 평발이 정상발에 비해 감소된 앞정강근의 근활성도로 인해 목말밑 관절의 가쪽변짐 각이 컸을 것이라 사료된다. 따라서, 본 연구에서는 평발로 인한 다양한 과사용 손상 및 증후군을 평가 및 치료할 때 발등굽힘근들의 근육 불균형을 고려할 것을 제안한다.

몇몇 이전 연구에서 신경계 및 근골격계 환자를 대상으로 발등굽힘근들의 근육 불균형에 대해 보고하였다(Reynard 등, 2009; Vittore 등, 2009). Reynard 등(2009)은 정상군과 편마비 환자에게 30m 보행 시 유각기 동안의 앞정강근과 긴발가락편근의 근활성도 값을 측정 한 결과, 편마비 환자에게 비대칭 지수의 값이 28%, 정상군

에서 9%로 비대칭 지수의 차이가 있었고(p<.05), 긴발가락편근의 근활성도는 편마비 군(98%MVIC)이 정상군(137%MVIC)보다 통계학적으로 낮았다. 본 연구에서의 평발 군의 감소된 앞정강근의 근활성도와는 상반되게, 이전 연구에서는 편마비 군은 긴발가락편근의 약화로 인한 높은 비대칭 지수(양의 값)가 편마비 환자의 보행 중 안쪽들린환발증(foot varus)을 일으키는 요인이라고 언급하였다(Reynard 등, 2009). Vittore 등(2009)은 유연성 평발 아동들을 대상으로 편안하게 누운자세와 선자세에서 발등굽힘과 엄지발가락 등쪽굽힘 시 근활성도를 측정하였다. 그 결과, 정상발 군에 비해 평발 군이 앞정강근과 긴엄지발가락편근의 근활성도가 모두 감소하였다. 따라서 앞정강근과 긴엄지발가락편근과 같은 안쪽변짐시키는 발등굽힘근은 발꿈치가 뒤침(supination)되게 하고 발의 역학적 구조를 바로 정렬하는데 중요하다고 하였다. 즉, 앞정강근과 긴발가락편근의 약화는 발의 바깥쪽힘(valgus)을 유발하여 결국 목말밑 관절을 옆침시켜 평발을 야기시킨다고 보고하였다. 따라서, 이전 연구들과 본 연구의 결과로 미루어 볼 때 발등굽힘근들의 근육 불균형은 발의 자세 즉, 목말밑 관절의 옆침과 뒤침 자세를 일으킬 수 있는 요인이라고 사료된다.

이전 문헌들에서 안쪽변짐 시키는 앞정강근과 뒤정강근(tibialis posterior)의 근력 약화는 안쪽 세로활의 지지 감소와 발의 옆침과 관련이 있다고 언급하였다(Kendall 등, 1993; Neumann, 2002; Root, 1977). 본 연구에서도 발 외재근 중 앞정강근이 정상 군에 비해 평발군에서 근활성도가 낮았고 비대칭 지수가 음의 값으로

더 낮았다. Vittore 등(2009)은 외재근 중 뒤침의 기능을 가진 앞정강근과 뒤정강근이 약화가 오면 내측 세로발궁을 지지하는 생리학적 모형의 발바닥 아치를 유지할 수 없기 때문에 이러한 뒤침근들의 외재근 강화가 필요하다고 언급하였다. 따라서 이전 문헌들과 본 연구의 결과로 미루어 볼 때 평발로 인한 다양한 질환들을 예방하거나 치료를 하고자 할 때에는 발등굽힘 시 긴발가락 폼근의 근활성도를 억제시키면서 앞정강근의 근력을 강화하는 것을 추천한다. Koh (2011)는 평발을 대상으로 6주간의 발보조기 착용과 발 내재근 그리고 앞정강근과 뒤정강근과 같은 발 외재근의 근력강화가 목말뼈-첫 번째 발허리뼈(TFM) 각도를 증가시켰다고 보고하였다. 향후 연구에서는 발등굽힘 근력 강화운동 시 긴발가락 폼근은 억제하면서 선택적으로 앞정강근을 활성화시킬 수 있는 운동방법을 고안할 필요가 있을 것이다.

발등굽힘 제한은 평발을 일으키는 요인이다(Hösl 등, 2014). 발뒤부(hindfoot)의 등쪽굽힘의 현저한 감소와 앞발(forefoot)의 증가된 등쪽굽힘 증가가 있다고 하였다. 그러나 본 연구결과, 정상발(5.2°)에 비해 오히려 평발(7.7°)이 발등굽힘 각이 유의한 차이는 없었지만 컸다. 그 이유는 목말밑 관절의 중립위치에서 발등굽힘 각을 측정하지 않았기 때문에 평발의 경우 보상 움직임으로 목말밑 관절과 발목뼈중간 관절의 과도한 옆침이 일어나 순수한 발등굽힘 각을 측정할 수 없었다. 향후 연구에서는 정상군과 평발군에서 목말밑 관절의 중립위치에서의 발등굽힘 각을 비교하는 것이 필요할 것이다.

본 연구의 제한점으로는 첫 번째로, 대상자의 평발 기준이 방사선 사진으로 평가할 수 없어서 평발의 등급에 제한이 없었기 때문에 일반화를 시키는데 오류가 있을 수 있다. 두 번째로 측정도구를 삼차원으로 구현하지 못했기 때문에 이차원적인 움직임을 측정했다는 한계점이 있다. 특히 앞발의 등쪽굽힘 각도를 동시에 측정할 수 없었다는 한계가 있으므로 이에 대해 발등굽힘 각도의 통계적 유의성이 검증되지 않았다고 판단된다.

V. 결론

본 연구에서는 정상발과 평발에서 능동적인 발등굽

힘 시 앞정강근과 긴발가락폼근의 근활성도 비대칭 지수를 비교하고자 하였다. 연구 결과, 평발 군에서 감소된 앞정강근의 근활성도로 인해 비대칭 지수가 정상발 군보다 음의 값으로 유의하게 낮았으며, 이로 인해 발등굽힘 시 평발 군이 정상발 군에 비해 목말밑 관절의 가쪽번짐 각이 유의하게 컸다. 따라서 본 연구에서는 평발로 인한 다양한 과사용 손상 및 증후군에 대한 평가와 치료 시 발등굽힘근들의 근육 불균형을 고려할 것을 제안한다.

Acknowledgements

이 논문은 2018년도 중부대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임.

References

- Easley ME, Trnka HJ. Current concepts review: Hallux valgus part 1: Pathomechanics, clinical assessment, and nonoperative management. *Foot Ankle Int.* 2007; 8(5):654-9.
- Hosl M, Bohm H, Multerer C, et al. Does excessive flatfoot deformity affect function? A comparison between symptomatic and asymptomatic flatfeet using the Oxford Foot Model. *Gait Posture.* 2014;39(1):23-8.
- Jennings MM, Christensen JC. The effects of sectioning the spring ligament on rearfoot stability and posterior tibial tendon efficiency. *J Foot Ankle Surg.* 2008; 7(3):219-24.
- Jutta H. *Functional Anatomy for Physical Therapists.* 1st Edition. TPS. 2015.
- Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, et al. The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med.* 1999;27(5):85-93.
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG. *Muscles: Testing and Function, with Posture and Pain (4TH ed).* Baltimore. Lippincott Williams and Wilkins. 1993.
- Kim TH, Koh EK, Jung DY. The effect of Arch Support

- Taping on Plantar Pressure and Navicular Drop Height in subjects with Excessive pronated foot during 6 Weeks. *J Korean Soc Phys Med.* 2011;6(4):489-96.
- Koh EK, Jung DY, Kim TH. Comparison of the Muscle Activity Ratio of Tibialis Anterior and Extensor Digitorum Longus in Subjects with the Normal Toe and the Hammer Toe during the Active Ankle Dorsiflexion. *J Korean Soc Phys Med.* 2011;6(1):103-8.
- Koh EK. Effects of foot orthosis and strengthening exercises on the talo-first metatarsal angle and muscle strength in subjects with pes planus. Graduate School, Yonsei University : Dept. of Rehabilitation Therapy. 2011.
- Neumann DA. Ankle and Foot. In *Kinesiology of the Musculoskeletal System* (2nd ed). St. Louis. Mosby. 2002.
- Pinney SJ, Lin SS. Current concept review: Acquired adult flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2006;27(1):66-75.
- 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.
- Riemann BL, DeMont RG, Ryu K, et al. The Effects of Sex, Joint Angle, and the Gastrocnemius Muscle on Passive Ankle Joint Complex Stiffness. *J Athl Train.* 2001; 6(4):369-75.
- Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait Posture.* 2002;15(3):282-91.
- Reynard F, Deriaz O, Bergeau J. Foot varus in stroke patients: muscular activity of extensor digitorum longus during the swing phase of gait. *Foot.* 2009;19(2):69-74.
- Root ML. *Normal and Abnormal Function of the Foot.* Clinical Biomechanics Corporation. 1977.
- Ryan M, Grau S, Krauss I, et al. Kinematic analysis of runners with Achilles mid-portion tendinopathy. *Foot Ankle Int.* 2009;30(12):1190-5.
- Smith-Oricchio K, Harris BA. Interrater reliability of subtalar neutral, calcaneal inversion and eversion. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1990;12(1):10-5.
- Tiberio D. Evaluation of functional ankle dorsiflexion using subtalar neutral position. A clinical report. *Phys Ther.* 1987;67(6):955-7.
- Vittore D, Patella V, Petrera M, et al. Extensor deficiency: First cause of childhood flexible flat foot. *Orthopedics.* 2009;32(1):28-32.
- Van Boerum DH, Sangeorzan BJ. Biomechanics and pathophysiology of flat foot. *Foot Ankle Clin.* 2003;8(3):419-30.