J Korean Soc Phys Med, 2021; 16(4): 85-93
https://doi.org/10.13066/kspm.2021.16.4.85

Online ISSN: 2287-7215
Print ISSN: 1975-311X

Research Article

Open Access

안쪽세로활 변형을 가진 고교 남자 태권도 선수의 근활성도, 근피로도 및 균형의 평가

원성환 · 유경태[1] · 이호성[2†]

단국대학교 일반대학원 운동의과학과, [1]남서울대학교 물리치료학과, [2]단국대학교 부설메디스포츠연구소

Evaluation of Muscle Activity, Muscle Fatigue and Balance in Male High School Taekwondo Athlete with Deformity of Medial Longitudinal Arch

Seong-Hwan Won, MS · Kyung-Tae Yoo, PT, PhD[1] · Ho-Seong Lee, PhD[2†]

Department of Kinesiologic Medical Science, Graduate, Dankook University
[1]Department of Physical Therapy, Namseoul University
[2]Institute of Medical-Sports, Dankook University

Received: August 13, 2021 / Revised: August 30, 2021 / Accepted: October 20, 2021
ⓒ 2021 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study aimed to examine the evaluation of muscle activity, muscle fatigue and balance in male high school Taekwondo athlete with a deformity of the medial longitudinal arch.

METHODS: The 20 male high school Taekwondo athletes participated in the study they have been measured radiographic a medial longitudinal arch and divided into a medial longitudinal arch group (higher than 18.8°; MLA group, n = 12) and control group (lower than 18.8°; CON group, n = 8). All subjects were measured muscle activity (TA, PT, PL and PB), muscle fatigue (TA, PT, PL and PB) and balance (A-, AL-, L-, PL-, P-, PM-, M-, AM-direction and composite score; CS).

RESULTS: The muscle activity of TP was significantly higher in MLA group compared to CON group (p = 031) and the muscle fatigue of TA was significantly lower in MLA group compared to CON group (p = .043). However, balance did not show significant differences between the groups.

CONCLUSION: These results confirmed that male high school Taekwondo athlete with a deformity of medial longitudinal arch increase TP and decrease TA, but there was no difference on balance.

Key Words: Medial longitudinal arch, Muscle activity, Muscle fatigue, Balance

†Corresponding Author : Ho-Seong Lee
hoseh28@dankook.ac.kr, http://orcid.org/0000-0002-5779-1080
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

편평발(pes planus)은 목말밑 관절(subtalar joint)의 부정렬과 근기능 이상의 문제 등 다양한 원인으로 인하여

발의 아치(arch)는 낮아져 소실되며[1], 안쪽세로활(medial longitudinal arch)가 편평해지면서 다양한 정적 및 동적 변형을 유발한다고 알려져 있다[2]. 이러한 안쪽세로활(medial longitudinal arch)의 변형은 하지의 피로도와 에너지소비량을 증가시키고[3], 관절의 부정렬로 인한 하지의 근활성도 및 균형에 부정적인 영향을 미친다고 보고되었다[4,5,6]. 이에 여러 선행연구에서는 안쪽세로활의 형태를 측정하려는 방법으로 주상골 하강 검사(navicular drop test)[7], 안쪽세로활 공간의 부피 검사[8], 족저압 검사[9] 및 방사선학적 검사 등을 사용하고 있으며, 내측면 촬영을 통한 발꿈치뼈 경사각(Calcaneal pitch angle; CPA)은 안쪽세로활의 변형을 평가하는데 신뢰도가 높은 방사선학적 측정 방법이다[10,11]. 일반적인 체중 부하 상태에서 측정한 내측면 방사선 촬영상 CPA는 20°에서 30°로 알려져 있으며, 한국 정상 젊은 남성 300명을 대상으로 CPA를 측정한 결과, 23.9 ± 5.1로 나타났다고 보고되었다[12]. 안쪽세로활의 하강(편평족)은 발의 회내(pronation)와 정강뼈의 안쪽돌림(internal rotation)을 유발하여 무릎뼈의 부정렬과 아탈구 및 넓다리네갈래근의 불균형을 발생시키며[6], 엉덩관절의 안쪽돌림으로 골반 변형이 발생하여 척추각 및 요추전만을 일으킨다고 보고되었다[13]. 또한, 편평족은 정상 발보다 에너지소비량이 증가하였고 피로도가 높아졌다고 하였다[14]. 특히 후천적인 안쪽세로활의 기능적 변형은 하지 근육의 활성도 및 긴장도를 측정하여 평가할 필요가 있다고 보고되었으며[4], 여러 선행연구에서는 안쪽세로활의 변형으로 인한 하지 근활성도의 변화[15], 보행의 변화[16], 기능적 평가[17] 및 부상[18] 등 안쪽세로활의 변형과 근육 간의 상관성을 비교・분석하여 안쪽세로활 변형으로 발생되는 요인을 알아보기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

한편, 운동선수의 발은 체중에 대한 지속적인 충격부하로 인해 과사용(overuse)이 발생하며, 잠재적인 과사용은 하지 상해와 변형을 유발하게 되는 주원인이다[19]. 특히, 태권도 선수는 발기술을 많이 사용하며, 연속적인 공격에 의한 발기술 사용으로 발의 관리가 중요하다[20]. 또한, 태권도 선수의 균형과 안정적인 움직임에는 하지의 정렬과도 밀접한 관계가 있으며[21], 하지의 정렬은 발부터 골반까지의 모든 관절이 운동 사슬(kinetic chain)의 형태로써 구조와 기능이 서로 영향을 미친다고 하였다[22]. 아울러 태권도 종목 특성상 발차기나 스텝은 하지의 순간적인 힘과 균형을 위한 지속적인 움직임으로 하지의 근피로를 유발하였고[24], 반복적인 부하 운동과 고강도 훈련은 근피로의 원인으로 보고되고 있으며[24], Murley 등[15]은 근피로도는 신경근과 근력이 급격하고 즉각적으로 저하되어 운동수행력에 부정적인 영향을 미친다고 보고되었다. 또한, 변형된 안쪽세로활은 발목의 불안정성을 유발시켜 발목관절 주변 근육의 피로도를 증가시켰다[26]. 따라서 안쪽세로활의 변형은 태권도 선수의 하지 근육의 활성도 및 피로도에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 하지만 태권도 선수를 대상으로 안쪽세로활의 변형이 관련 근육의 활성도 및 피로도에 미치는 영향을 검토한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다. 앞서 언급한 것처럼, 발의 변형, 특히 안쪽세로활의 변형과 근활성도, 근피로도 및 균형 등의 근생리학적 및 방사선학적 평가에 관한 연구는 많이 보고되고 있지만, 태권도 선수를 대상으로 이러한 평가를 비교・분석한 연구는 전무한 실정이다. 이에 이 연구에서는 안쪽세로활의 변형을 가진 고교 남자 태권도 선수를 대상으로 근활성도, 근피로도 및 균형을 평가하여 태권도 선수의 의・과학적 문제점을 파악하고, 향후 개선할 방안을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

연구대상은 대한태권도협회에 선수등록을 한 운동경력이 3년 이상인 I 시의 고교 남자 태권도 선수 20명을 대상으로 안쪽세로활의 CPA를 측정하여(Fig. 1) 18.8° 이하의 안쪽세로활 변형 집단(medial longitudinal arch group; MLA group, n = 12) 및 18.8° 이상의 통제집단(control group; CON group, n = 8)으로 분류하였다[12]. 모든 대상자 및 보호자에게 연구목적 및 방법에 대하여 충분히 설명한 후 자발적으로 참가 동의를 얻었으며,

Fig. 1. Measurement of the calcaneal pitch angle.

Fig. 2. Wireless EMG system.

Table 1. Physical Characteristics of the Subjects

Group (n)	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
CON (8)	18.14 ± .69	177.71 ± 4.27	69.86 ± 4.98
MLA (12)	17.92 ± .95	176.69 ± 5.96	66.92 ± 7.96

Means ± SD, CON: control group, MLA: medial longitudinal arch group

대상자의 신체적 특성은 (Table 1)에 제시한 바와 같다.

2. 연구절차

모든 대상자는 발의 방사선학적 검사를 통해 안쪽세로활의 발꿈치뼈 경사각을 측정하여 안쪽세로활 변형 집단과 통제 집단으로 분류한 후 근활성도, 근피로도 및 균형을 각각 측정하여 집단 간의 차이 검정을 실시하였다.

3. 측정항목

1) 근활성도 및 근피로도

근활성도 및 근피로도는 앞정강근(tibialis anterior; TA)의 배측 굴곡, 뒤정강근(tibialis posterior; TP)의 저측 굴곡, 짧은종아리근(peroneus brevis; PB) 및 긴종아리근(peroneus longus; PL)의 배측 굴곡과 외반 동작 시 6초(단축성 수축: 3초, 신장성 수축: 3초)간 등장성 수축(isotonic contraction)중에 무선근전도(Wireless EMG System, Trigno Wireless Delsys, USA)를 이용하여 측정하였다(Fig. 2). 사전에 근활성도 신호의 정량화를 위해 해당 근육의 최대 수의적 등척성수축(maximum voluntary isometric CON grouptraction; MVIC)을 측정하였다[27,28]. 전극의 부착 위치는 SENIAM(Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle)의 권고사항에 따라 TA는 종아리뼈 끝 지점과 내측 복사뼈 끝 사이의 1/3 지점에, TP는 내측 복사뼈와 정강뼈 거친면 사이의 1/2 지점에, PB는 외측 복사와 종아리뼈 머리 지점 사이의 1/4 지점에, 그리고 PL는 종아리뼈 머리 지점과 외측 복사 사이의 1/4지점에 근섬유 방향과 평행하게 부착하였다(Fig. 3)[29,30]. 근전도 파형은 1024 Hz의 샘플링 주파수 (sampling frequency)로 채취하였고, rawEMG의 파형은 오차를 줄이기 위해 시작 구간 1.5초와 마지막 구간 1.5초의 파형을 제외하여 3초의 근전도 파형의 RMS(root mean square)값을 각각 도출한 후 사전에 측정된 MVIC에 각 근육을 대비하여 %MVIC 값을 정량화하였다. 또한, 근피로도는 rawEMG의 파형을 중앙 주파수 (median frequency)값을 구하여 산출하였다[31].

2) 균형

균형은 SEBT(Star excursion balance test)를 이용하여 측정하였으며(Fig. 4), 한 다리로 체중을 지탱하면서 반

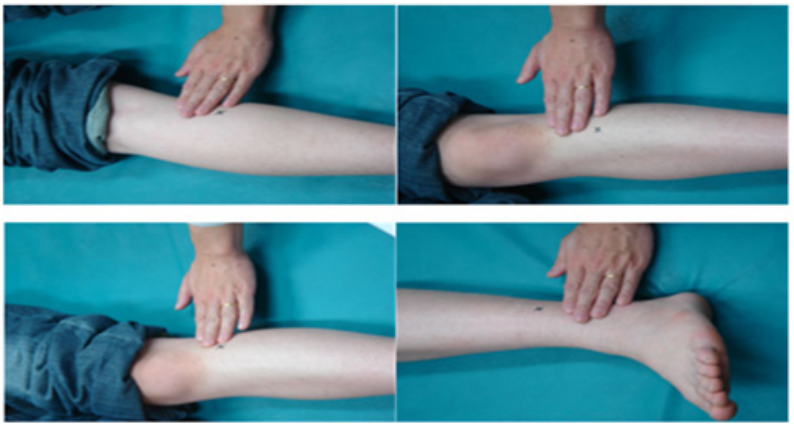

Fig. 3. Surface electrode of the attachment region.

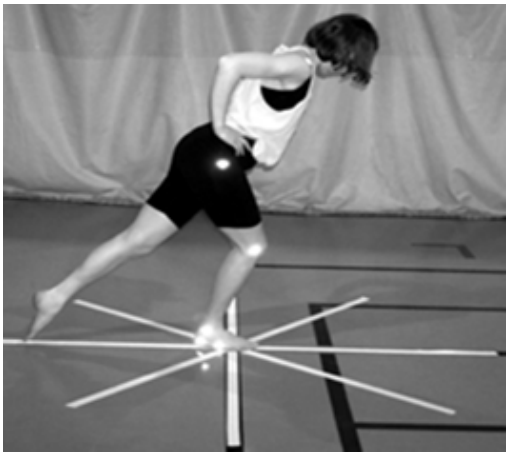

Fig. 4. Star excursion balance test.

대편 다리를 8개 방향으로 뻗었을 때의 거리를 측정하는 검사로 45°의 간격으로 앞측(A), 앞외측(AL), 외측(L), 뒤외측(PL), 뒤측(P), 뒤내측(PM), 내측(M), 앞내측(AM)의 8개 방향으로 선을 놓은 후에 피험자가 그 중앙에 한발을 축으로 서서 반대 발을 각 방향의 선을 따라서 최대한 뻗어 엄지발가락 끝부분까지의 거리를 측정하였다. 도달거리는 하지의 길이와 관련이 있으므로 하지의 길이로 정량화하였다. 도달거리를 정량화하기 위하여 공식(이탈 거리 ÷ 하지 길이) × 100으로 계산하였으며, 복합 도달거리(composite score; CS)는 [총 이탈 거리 ÷ (사지길이 × 8)] × 100으로 계산하였다[32].

4. 자료처리

이 연구에서 모든 자료는 SPSS 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하여 기술통계치(means ± SD)를 산출하였다. 집단 간의 차이를 각각 비교·분석하기 위해서 독립표본 t-검정(Independent samples t-test)을 실시하였다. 모든 분석의 통계적 유의수준은 α = .05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 근활성도

근활성도는 (Table 2)에 제시한 바와 같다. TP의 활성도는 CON group과 비교해서 MLA group에서 유의하게 높은 것으로 나타났다(p = .031). 하지만 TA, PL 및 PB의 활성도는 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 근피로도

근피로도는 (Table 3)에 제시한 바와 같다. TA의 피로도는 CON group과 비교해서 MLA group에서 유의하게 낮은 것으로 나타났다(p = .043). 하지만 PL, PB 및 TP의 피로도는 집단 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3. 균형

균형은 (Table 4)에 제시한 바와 같다. A, AL, L, PL, P, PM, M, AM 및 CS는 집단 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다.

Table 2. Comparison of Muscle Activation between Groups

Variables	CON	MLA	t	p
TA (%MVIC)	36.20 ± 11.20	35.87 ± 17.96	-.048	.960
PL (%MVIC)	27.20 ± 10.88	30.89 ± 13.07	.676	.508
PB (%MVIC)	29.96 ± 8.98	27.67 ± 14.37	-.236	.816
TP (%MVIC)	15.39 ± 5.31	24.98 ± 11.94	2.390	.031*

Means ± SD, *p < .05, CON: control group, MLA: medial longitudinal arch group, TA; tibialis anterior, PL: peroneus longus, PB: peroneus brevis, TP: tibialis posterior

Table 3. Comparison of Muscle Fatigue between Groups

Variables	CON	MLA	t	p
TA (Hz)	106.87 ± 19.50	133.26 ± 31.64	2.180	.043*
PL (Hz)	106.05 ± 20.97	129.89 ± 33.19	1.866	.078
PB (Hz)	96.81 ± 24.09	103.65 ± 19.16	.707	.488
TP (Hz)	100.02 ± 25.19	113.89 ± 16.86	1.471	.159

Means ± SD, *P < .05, CON: control group, MLA: medial longitudinal arch group, TA; tibialis anterior, PL: peroneus longus, PB: peroneus brevis, TP: tibialis posterior

Table 4. Comparison of Balance between Groups

Variables	CON	MLA	t	p
A (cm)	73.62 ± 13.84	64.38 ± 4.01	-2.019	.062
AL (cm)	76.26 ± 6.11	71.32 ± 9.90	-1.303	.209
L (cm)	83.24 ± 8.74	83.71 ± 5.58	.135	.894
PL (cm)	84.06 ± 8.23	83.67 ± 10.19	.094	.926
P (cm)	106.74 ± 9.87	107.74 ± 9.13	.215	.833
PM (cm)	86.37 ± 7.18	80.69 ± 11.52	-1.151	.268
M (cm)	77.64 ± 10.90	73.20 ± 6.70	-1.121	.277
AM (cm)	64.42 ± 3.22	61.00 ± 7.28	-1.303	.209
CS (cm)	87.49 ± 6.00	84.13 ± 6.29	-1.105	.287

Means ± SD, CON: control group, MLA: medial longitudinal arch group, A: Anterior, AL: anterolateral, L: lateral, PL: posterolateral, P: posterior, PM: posteromedial, M: medial, AM: anteromedial, CS: composite score

Ⅳ. 고 찰

이 연구에서는 안쪽세로활의 변형을 가진 고교 남자 태권도 선수를 대상으로 근활성도, 근피로도 및 균형을 평가하여 비교·분석한 결과, 고교 남자 태권도 선수의 안쪽세로활 변형은 TP의 활성도가 높게 나타났고, TA의 피로도는 낮게 나타났다. 하지만 균형은 차이가 나타나지 않았다는 것을 확인하였다.

일반적으로 근육이 활성을 하면 인체의 근력은 중추신경계로부터 발생한 전기적자극이 신경을 통하여 각

운동 단위로 전달되어 근섬유가 수축하면서 발생한다고 알려져 있으며, 이 때 근육의 활동과 동원 정도를 파악할 수 있다고 보고하였다[33]. 특히, 발목관절의 주변 근육의 활성도는 발목의 불안정성과 발 아치의 변형으로 차이가 나타났다고 보도하였다[4]. 이 연구에서 TA, PL 및 PB의 활성도는 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았지만, TP의 활성도는 CON group과 비교해서 MLA group에서 유의하게 높게 나타났다. 통상, 발의 안쪽세로활이 변형되는 가장 큰 원인은 TP의 기능 약화에 있다[34]. 즉 TP는 주상골에 정지(insertion)되어 있어서 TP의 기능 약화는 점진적인 안쪽세로활의 소실 및 후족부의 외반 전족부의 변형을 야기한다고 하였다[34]. 또한, TP의 수축은 발목관절의 저측 굴곡(plantar flexion)과 내반(inversion)의 움직임을 발생시켜 안쪽세로활을 유지한다고 보고되고 있다[36]. Hyung [37]은 일반인의 정상발과 안쪽세로활 변형의 편평발 및 요족을 대상으로 치료적 운동을 시행한 후에 근활성도를 측정한 결과, 치료적 운동이 근활성도에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 하지만 태권도 선수는 하지의 굽힘과 신전, 발목의 반복적인 움직임을 사용하여 공격과 방어에 필요한 빠른 스텝과 움직임을 동반한다고 알려져 있다[38]. 위에서 언급한 바와 같이, TP는 주상골을 상승시키면서 안쪽세로활을 지지하였으며[39], 태권도 스텝은 반복적인 저측 굴곡과 내반이 발생하는 동작으로 안쪽세로활을 유지할 필요가 있다. 따라서 TP의 근활성도가 CON group과 비교해서 MLA group에서 유의하게 높게 나타난 이유는 태권도 선수의 반복되는 고강도의 훈련, 즉 반복적인 발목관절의 움직임이 CON group보다 MLA group에서 하강한 안쪽세로활의 상승을 필요로 하기 위한 보상패턴이 작용하였기 때문으로 생각된다.

한편, 근육의 피로가 증가할수록 근활동 전압의 전도 속도 및 운동 단위의 발화율(firing rate)이 감소하였다고 보고되었다[40]. 또한, 근피로는 순간적인 힘과 균형을 위한 지속적인 움직임과 반복적인 부하 운동이 원인이며, 근활동의 지표로 알려져 있다[24]. 특히, 안쪽세로활의 변형은 불안정성을 유발하였으며[26], 안쪽세로활의 하강은 후족부의 외반과 거골의 저측 굴곡을 발생시켰다고 보고하였다[41]. 앞서 언급한 바와 같이, TA는 후족부의 내반과 거골의 배측 굴곡을 하면서 발의 회내를 조절하고 있으며[42], 발목관절의 배측 굴곡(dorsiflexion)시 가장 높은 활성도 및 안정화(foam closing)에 중요한 역할을 한다고 보고되고 있다[43]. 특히 TA는 태권도 발차기 시 동원되는 근육 중 하나이며[44], 발목의 배측 굴곡에 의해서 발차기의 힘이 발생하였다고 보고하였다[45]. 또한, 태권도 경기는 발차기로 인해 근피로가 유발하였으며, 특히, 발차기 시 TA에서 근피로가 높게 발생하였다고 보고하였다[44]. 이 연구에서 안쪽세로활의 변형은 TA의 근피로가 낮게 나타났다. 이것은 반복적인 태권도 훈련으로 안쪽세로활의 변형이 발생하였고, TA의 신경 근육 억제 혹은 약화로 인하여 근피로도에 영향을 미쳤다고 생각된다.

균형은 자세를 유지하면서 체중에 의한 중력을 지지면에서 안정적으로 움직일 수 있는 능력이며[46], 운동선수, 특히 태권도 선수의 기능적 능력을 증가시키는 중요한 요인이다[47]. 또한, 균형은 관절의 고유수용감각, 근육 및 관절의 불균형, 발의 아치 등에 따라 변화될 수 있다고 하였다[48]. 특히, 발의 아치는 균형과 밀접한 관계가 있으며, 안쪽세로활의 변형은 발목의 움직임이 회내 방향으로 움직이기 때문에 균형이 저하한다고 보고되고 있다[49]. 이 연구에서 균형은 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이 연구에서 균형은 한발을 고정하여 균형을 유지한 상태에서 다른 발을 이동시킨 거리를 측정하는 편측의 균형 능력을 평가하였다[31]. 일반적으로 태권도 선수는 한발을 주축으로 균형을 유지한 상태에서 반대 측 발을 이용하여 공격과 방어를 하는 특징을 가지고 있다[44]. Park 등[50]은 노인을 대상으로 6주간의 태권도 운동프로그램을 적용한 결과, 운동 후에 균형이 증가하였다고 보고하였으며, Cha와 Oh [38]는 태권도 시범단 선수와 일반 태권도 수련생을 대상으로 균형을 평가한 결과, 균형은 일반 태권도 수련생과 비교해서 시범단 선수에서 높게 나타났다고 보고하였다. 따라서 태권도 훈련은 균형을 향상시킨다고 생각된다. 아울러 Kim [51] 의 연구에 의하면, 태권도 선수를 대상으로 불안정성 발목과 안정성 발목을 대상으로 배측 굴곡, 저측 굴곡 및 내번의 고유수용성감각

을 비교한 결과, 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 균형은 안쪽세로활의 변형이 있음에도 불구하고 집단 간에 유의한 차이가 발생하지 않은 이유는 한발을 주축으로 반대측 발을 든 상태에서 연속적인 발차기를 수행하거나 외발로 스텝을 이용하는 등 태권도 종목 특성에 의한 반복적인 훈련때문으로 생각된다.

Ⅴ. 결 론

이 연구에서는 안쪽세로활의 변형을 가진 고교 남자 태권도선수를 대상으로 근활성도, 근피로도 및 균형을 평가하여 비교·분석한 결과, 고교 남자 태권도선수의 안쪽세로활 변형은 TP의 활성도가 높게 나타났고, TA의 피로도는 낮게 나타났다. 하지만 균형은 차이가 나타나지 않았다는 것을 확인하였다. 향후 연구에서는 안쪽세로활의 변형에 대한 치료적운동이 신체적 능력 및 근생리학적 변화에 미치는 영향을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

References

[1] Franco AH. Pes Cavus and Pes Planus: Analyses and Treatment. PTJ. 1987;67(5):688-94.

[2] Toullec, E. Adult flatfoot. Orthop Traumatol Surg Res. 2015;101(1):S11-S7.

[3] Brukner, P. Clinical sports medicine. Australia. McGraw Hill, 1996;51-2.

[4] 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.

[5] Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, et al. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. J Electromyogr Kinesiol. 2008;18(3):420-25.

[6] Khamis S, Yizhar Z. Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. Gait Posture. 2007;25(1):127-34.

[7] Shrader JA, Popovich JM, Gracey GC, et al. Navicular drop measurement in people with rheumatoid arthritis: inter-rater and intra-rater reliability. J Phy Ther, 2005; 85(7):656-64.

[8] Lee C. Foot and ankle. Seoul. Kyohak. 2004.

[9] Hughes J, Kriss S, Hlenerman L. Aclinician's view of foot pressure: A comparison of three different methods of measurement. J Foot Ankle Inc. 1987;7(5):277-84.

[10] Sangeorzan BJ, Mosca V, Hansen Jr ST. Effect calcaneal lengthening on relationships among the hindfoot, midfoot and forefoot. J Foot Ankle Inc. 1993;14(3):136-41.

[11] Thomas JL, Kunkel MW, Lopez R, et al. Radiographic values of the adult foot in a standardized population. J Foot Ankle Surg. 2006;45(1):3-12.

[12] Lee YK, Yim SJ, Lee SH, et al. The talus-1st metatarsal angle, the talo-Horizontal angle and calcaneal pitch angle of young men in Korea. J Korean Foot Ankle Soc. 2010;14(2):161-4.

[13] Valmassy RL. (1996). Clinical biomechanics of the lower extremities. Mosby inc. 1996.

[14] Sahar B, Ali AJ, Mohammad AS, et al. Effect of Functional Fatigue on Vertical Ground-Reaction Force in Individuals With Flat Feet. J Hum Kinet. 2013;22(3):177-83.

[15] Murley GS, Menz HB, Landorf KB. et al. Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. J Foot Ankle Res. 2009;35(2): 1146-86.

[16] Bencke J, Christiansen D, Jensen K. et al. Measuring medial longitudinal arch deformation during gait. Gait Posture. 2012;35(3):400-4.

[17] 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.

[18] Nakhaee Z, Rahimi A, Abaee M. et al. The relationship between the height of the medial longitudinal arch and the ankle and knee injuries in professional runners. The Foot. 2008;18(2):84-90.

[19] Cavanagh PR, Lafortune MA. Ground reaction forces

in distance running. J biomech. 1980;13(5):397-406.

[20] Ren DG. analysis of plantal pressure and muscular activity in Taekwondo kicking motion. Department of physical education graduate school GangneungWonju national university. 2008.

[21] Bae GW, Lee WJ, Ju SB. Comparative analysis of flexibility, balance, leg length, index of pelvic deviation according to career of Taekwondo players. J Sports Sci Korea. 2008;17(1):727-34.

[22] Twomey D. Performance difference between normal and low araced feet in 9-12 years old childeren. Doctor of Degree. University of New South Wales. 2006.

[23] Kim WK. Jeon MJ. A study on the isokinetic muscle strength and muscle endurance of male high school Taekwondo athletes. The Korean J Phys Edu. 2006; 45(5):381-8.

[24] Anne FM. Beth C. Kherrin W. et al. The use of surface EMG power spectral analysis in the evaluation of back muscle function. J Rehabil Res Dev. 1997;34(4):427-39.

[25] Terry MM. Graydon J. The effect of exercise on cognitive performance in soccer-specific tests. J sports Sci. 1997; 15(5):459-68.

[26] Moisan G, Camille M, Descarreaux M. et al. Effects of foot orthoses on walking and jump landing biomechanics of individuals with chronic ankle instability. Phys Ther Sport. 2019;40:53-8.

[27] Choi HJ, Nam OJ. The effect of horseback riding simulator on static balance of cerebral palsy. J Korean Soc Phys Ther. 2014;26(4):269-73

[28] Hirosho A, Atsushi I, Satoshi I, Naoto M, et al. CON grouptribution of the tibialis posterior and peroneus longus to inter-segment coordination of the foot during single-leg drop jump. J Sports Biomech. 2020;1-14.

[29] Hermens HJ, Freiks B, Disselhorst-Klug C, et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. J Electro & Kinesiol. 2000;10:361-374.

[30] George SM, Andrew KB, Philip JT, et al. Tibialis posterior EMG activity during barefoot walking in people with neutral foot posture. J Electro & Kinesiol 2990;19:69-77.

[31] Eum YB. Lee HS. Lee JH. Effects of Bilateral and Unilateral Weight-bearing Exercises on Asymmetry Index of Muscle Activity, Muscle Fatigue and Muscle Tone in Healthy Men. Korean J Phys Edu. 2020;59(3):375-86.

[32] Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the star excursion balance test to assess dynamic postural-CON grouptrol deficits and outcomes in lower extremity injury: A literature and systematic review. J Athl Train. 2012; 47(3):339-57.

[33] Kim SH. Lee TW. Ko DY. Et al. A study on the low back muscle evaluation system using surface EMG. The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers. 2005;54(5):338-47.

[34] Tryfonidis M, Jackson W. Mansour R. et al. Acquired adult flat foot due to isolated plantar calcaneonavicular (spring) ligament insufficiency with a normal tibialis posterior tendon. Foot Ankle Surg. 2008;14(2):89-95.

[35] Mann RA, Thompson FM. Rupture of the posterior tibial tendon causing flatfoot. Bone Joint J. 1985;67:556-61.

[36] Kohls GJ, Angel JC, Singh D, et al. Tibialis posterior dysfunction: a common and treatable cause of adult acquired flatfoot. BMJ. 2004;4:329-33.

[37] Hyung IH. Effects of balace and muscle activities on the stability of foot. Doctor's Degree. Daegu University Korea. 2008.

[38] Cha YN, Oh JK. Difference of Lower Extremity, Trunk Muscle Strength, Balance Ability and Proprioception among Korea National Taekwondo Demonstration Player, Competition Player and Trainee. Sports Sci. 2016;33(2): 175-84.

[39] Kaye RA, Jahss MH. Tibialis posterior: a review of anatomy and biomechanics in relation to support of the medial longitudinal arch. AOFAS. 1991;11(4):244-7.

[40] Duchene J, Goubel F. EMG spectral shift as an indicator of fatigability in an heterogeneous muscle group. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1990;61:81-7.

[41] Migues A, Slullitel G, Astoul BJ, et al. Flexor digitorum longus transfer and medial displacement calcaneal osteotomy for posterior tibial tendon dysfunction: A Clinical and Rediographical Analysis. Foot Ankle Surg. 2007;13:167-70.

[42] O' CON groupnor, Kristian MP, Thomas B, et al. Examination of extrinsic foot muscles during running using mfMRI and EMG. J Electromyogr Kinesiol. 2006;16:522-30.

[43] Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system (Foundation for Physical Rehabilitation). Mosby. 2002.

[44] Park HS. Analysis of muscle fatigue and recruitment type in major muscles of expert and non-expert during Taekwondo dolyechagi. Master's Degree. Yong-In University. 2003.

[45] Hay JG, Reid JG. The anatomical and mechanical base of human motion. USA Inc. Printice-Hall. 1982.

[46] Bae SS, Kim BJ. A Study of Muscular Imbalance. J Korean Soc Phys Ther. 2001;13(3):821-8.

[47] Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. Sports Med Open. 2011;41:221-32.

[48] Cote KP, Brunt ME, Gansneder BM, et al. Effect of pronated and supinated foot posture on static and dynamic posture stability. J Athl Train. 2005;40(1):41-6.

[49] Huang CK, Kitaoka HB, An KN, et al. Biomechanical evaluation of longitudinal arch stability. Foot Ankle Int. 1993;14(6):353-7.

[50] Park SJ, KIM JH. Effect of balance ability and walking in the elderly by Taekwon-do program. J Korean Soc Phys Med. 2012;7(3):379-85

[51] Kim Y. A study on the ankle joint strength, proprioceptive and balance ability of national Taekwondo Demonstration players with chronic functional ankle instability. Master's Degree. Korea National Sport University. 2016.