

무릎외반의 균형 검사 및 보행 중에 근활성도와 발바닥압의 평가

윤정욱 · 유경태^{1†} · 이호성^{2†}

단국대학교 일반대학원 운동의과학과, ¹남서울대학교 물리치료학과, ²단국대학교 부설메디스포르츠연구소

Evaluation of Muscle Activity and Foot Pressure during Gait, and Balance Test in Patients with Genu Valgum

Jeong-Uk Yoon, MS · Kyung-Tae Yoo, PT, PhD^{1†} · Ho-Seong Lee, PhD^{2†}

Department of Kinesiologic Medical Science, Graduate, Dankook University

¹Department of Physical Therapy, Namseoul University

²Institute of Medical-Sports, Dankook University

Received: January 17 2022 / Revised: January 18 2022 / Accepted: February 16 2022

© 2022 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study sought to evaluate muscle activity and foot pressure during gait, and balance in female college students with genu valgum.

METHOD: Participants were assigned based on their Q-angle to genu valgum group greater than 20° (GVG, n = 12), unilateral genu valgum group greater than 20° (UVG, n = 11), and control group (CON, n = 13). All subjects were evaluated for balance (Trace length, C90 area, C90 angle, and the Romberg test), muscle activity (gluteus medius; GM, tensor fasciae latae; TFL, vastus medialis; VM, vastus lateralis; VL, biceps femoris; BF, gastrocnemius; GCM and tibialis

anterior; TA) and foot pressure (F/F ratio, R/F ratio, Hallux, 2~5 toe, 1st MT, 2~4 MT, 5th MT, Midfoot, M/heel, and L/heel) during gait.

RESULTS: Romberg test showed significantly increased loss of balance in the UVG group compared with the CON. In the forward position, the imbalance was significantly increased in the UVG and GVG groups compared to the CON. Muscle activity of VL, GCM, and TA significantly increased in the GVG group compared with the CON. Static foot pressure, 1st MT significantly increased in the GVG compared to the CON group. The 5th MT significantly decreased in the CON compared with the GVG group. The R/F ratio significantly decreased in the GVG compared to the CON group. In dynamic foot pressure, the 2~5 toe significantly increased in the GVG compared with the UVG group. The left 5th MT significantly decreased in the UVG compared with the CON and GVG groups.

CONCLUSION: These results indicate that genu valgum has a negative effect on balance, muscle activity, and foot

†Corresponding Author : Kyung-Tae Yoo, Ho-Seong Lee
taeyoo88@nsu.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0001-7956-819X>
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.

pressure during gait in female college students.

Key Words: Balance, Foot pressure genu valgum, Muscle activity

I. 서론

무릎외반(genu valgum)은 무릎관절의 비정상적인 변형으로 무릎이 신체의 정중선 쪽으로 편(displacement)된 형태라고 알려져 있다[1]. 일반적으로 무릎외반의 형성은 3~5세에 발생하여 6세 전후에 슬개대퇴 관절각(Qudriceps-angle; Q-angle)이 약 12°에서 안정화되어 성장 과정 중에 자연스럽게 개선된다고 보고되고 있다[2]. 하지만 성인의 무릎외반은 대퇴사두근의 약화, 비만, 소아마비, 장경인대의 단축 및 고관절의 내회전각의 증가로 발생한다고 보고되고 있다[3]. 특히 무릎외반은 남성과 비교해서 골반이 넓은 여성에서 높게 발생하며[4,5], 고관절의 외전, 외회전 근육과 대퇴사두근의 약화[6], 외측광근(vastus lateralis; VL)과 장경인대(iliotibial band)의 장력이 증가하면서 내측광근(vastus medialis; VMO)의 약화로 슬개대퇴통증 증후군(patellarfemoral pain syndrom; PFPS)을 유발한다고 보고되고 있다[7-10]. 이에 Lee와 Kim [11]은 무릎외반을 가진 피험자를 대상으로 내측광근 강화 운동 및 고관절의 외회전 근육 강화 운동을 시행한 결과, 내측광근의 활성도가 증가하면서 무릎외반이 개선되었다고 보고하였다.

특히, 무릎외반은 고관절의 굴곡, 내전 및 외회전의 가동범위가 감소하여 잘못된 보행을 초래한다고 보고하였다[12]. 또한, 잘못된 보행은 근육의 약화 및 좌우측의 비대칭을 초래한다고 알려져 있다[13]. 아울러 Stief 등[14]은 보행 중에 무릎의 신전(extension) 각도를 비교한 결과, 보행의 마지막 구간에서 무릎 신전 각도는 통제집단과 비교해서 무릎외반 집단에서 낮게 나타났으나, 보행의 중간 및 마지막 구간에서 무릎 내전(adduction) 각도는 통제집단과 비교해서 무릎외반 집단에서 높게 나타났다고 보고하였다. 이외에도 Winter [15]은 보행 시 입각기(stance phase)에서 발바닥압을 관찰한 결과, 무릎외반은 보행 중에 발의 중심으로부터

신체의 무게중심이 이동할 때 무릎관절의 내측 움직임을 통해 무릎의 외반력이 발생하여[16], 골관절염의 유병률을 증가시킬 가능성이 있다고 보고하였다[17]. 또한, 무릎외반은 무게중심점(center of pressure; COP)을 앞쪽으로 이동시켜 균형능력이 감소하였다고 보고되었다[18]. 이처럼 무릎외반은 잘못된 보행 패턴을 유발할 가능성이 크다고 생각된다. 특히 무릎외반은 보행 중에 내측광근 등의 하지 근육의 근력 약화 및 균형의 감소가 발생한다고 알려졌지만, 하지 근육 중에 어떤 근육이 약화되어 있는지, 또한 발바닥압과 균형은 어떤 관련성이 있는지를 보다 명확하게 검토할 필요가 있다고 생각된다. 또한 무릎외반은 한쪽 다리 외반, 즉 비대칭성 외반과 양쪽 다리 외반의 대칭성 외반[19]으로 분류하여 보행 시 각각의 근육의 약화 정도와 정적 및 동적 균형을 평가하여 비교·분석할 필요가 있다고 생각된다.

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구에서는 여자 대학생을 대상으로 양쪽 무릎의 Q-각이 20° 이상의 무릎외반 집단(Genu valgum group; GVG, n = 12)와 한쪽 무릎의 Q각이 20° 이상의 한쪽무릎 외반집단(Unilateral Genu valgum; UVG, n = 11) 및 무릎 Q-각이 20° 이하의 정상 범위의 통제집단(Control group; CON, n = 13)으로 분류하였다. 모든 대상자는 하지의 병리적 결함 및 통증이 없고, 독립보행이 가능한 여자 대학생을 대상으로 선정하였다. 각 대상자에게 연구의 취지 내용과 일정에 대해 충분한 설명 후에 자발적으로 실험 참가에 동의한 대상으로 동의서를 받고 연구를 진행하였으며, 연구대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구절차

무릎외반을 가진 여자 대학생을 대상으로 신체조성(체중, 근육량), 정적 및 동적 균형(이동거리, 이동범위, 이동각도 및 Romberg 검사) 및 보행 중에 하지의 근활성도(중둔근, 대퇴근막장근, 내측광근, 외측광근, 대퇴

Table 1. Physical Characteristics and Q-angle of Subjects

Variable	CON (n = 13)	UVG (n = 11)	GVG (n = 12)	F
Age (yrs)	21.53 ± 1.26	21.09 ± 1.37	21.41 ± .99	.420
Height (cm)	161.38 ± 5.28	161.55 ± 4.51	161.47 ± 4.71	.004
Weight (kg)	55.75 ± 8.20	54.99 ± 6.14	54.52 ± 7.07	.920
Body Mass (kg/m ²)	21.04 ± 2.90	21.04 ± 1.76	20.92 ± 2.61	.128
Q-angle Left	14.46 ± 3.64	21.18 ± 8.48 [†]	26.08 ± 7.11 [†]	9.800 [*]
Q-angle Right	13.69 ± 4.38	14.36 ± 3.61 [†]	26.41 ± 8.89 [†]	16.550 [*]

mean ± SD. *p < .05, †p < .05 vs CON, ‡p < .05 vs GVG

이두근, 비복근 및 전경골근) 및 발바닥압(앞쪽 및 뒤쪽 평균 압력, 엄지발가락, 2~5발가락, 제1발 중족골, 제2-4발 중족골, 제5발 중족골, 중간 발바닥, 내측 뒤꿈치 및 외측 뒤꿈치)을 측정하였다.

3. 측정항목

1) 신체조성

신체조성은 체성분 측정기(Inbody 720, biospace, Korea)를 이용하여 체중(Kg), 및 근육량을 측정하였다. 피험자는 통일된 간편한 복장으로 티슈를 이용하여 손바닥과 발바닥을 닦은 후 측정 장치에 올라서서 정확한 위치에 발바닥 전극을 밟은 후 손잡이를 들고 직립 자세로 팔과 다리를 약간 벌린 상태에서 측정하였고, 측정 오차를 최소화하기 위해 각 대상자는 측정 8시간 이전에 식사, 카페인 및 함유된 음료 및 알코올의 섭취를 삼가도록 하였고 측정 전까지 공복 상태를 유지하였다.

2) Q-각

무릎외반의 Q-각을 측정하기 위하여 촬영 시 다리는 고관절 넓이로 벌린 상태에서 슬개골이 전면을 향하게 하여 촬영한 후 전상장골극(ASIS)에서 슬개골 중양을 연결하는 선과 경골조면에서 슬개골 중양을 연결하는 선에 의해 이루어지는 각을 측정하였다[20].

3) 균형

균형은 측정 장비 Balance training system (BT4)를 사용하여, 피험자의 정적 균형(static balance) 및 동적

균형(dynamic balance)을 측정하였다. 정적 균형은 양손을 허리에 고정된 후에 정면을 주시한 상태에서 눈을 감은 상태와 눈을 뜬 상태로 30초간 수행 중에 측정하였다. 피험자의 앞, 뒤, 오른쪽 및 왼쪽 방향의 안정성 한계와 압력중심점(center of pressure; COP)의 이동 거리(trace length), 이동 범위(C90 area), 이동 각도(C90 angle) 및 고유수용감각(Romberg test)을 측정하였다. 동적균형은 앞쪽 방향(Forward), 뒤쪽 방향(Back ward), 왼쪽 방향(Leftward) 및 오른쪽 방향(Rightward)을 측정하였다. 측정 자세는 뒤꿈치 간격을 2cm로 하였고, 각 발끝은 중심선을 기준으로 양발을 각각 15° 외측으로 향하게 하여 양손은 똑바르게 선 자세에서 자연스럽게 위치하도록 하였다.

4) 근활성도

근활성도는 Wireless EMG system (Delsys Trigno Wireless EMG system)를 사용하여, 근전도의 표본 수집률(sampling rate)은 1,000Hz로 하였고, 초기 잡음(baseline noise)은 1mV 이하 및 입력 저항값(input impedance)은 100m Ohms 이상, 주파수 대역폭은 20~45Hz의 대역 통과 필터(band pass filter)를 적용하였고, 동상 제거비율(common mode rejection ratio)은 100dB 이상으로 설정하여 측정하였다. 연구에 참여하기 전에 각 대상자는 편한 복장으로 갈아입고 피부 저항으로 생기는 오차를 줄이기 위해 알코올 솜으로 피부 표면을 닦은 후에 전극을 부착하였다. 무선 근전도 기기의 표면 전극은 SENIAM (surface electromyography for non-invasive assessment of muscle)에서 제안하는 권고사항에 따라 중둔근, 대퇴근



Fig. 1. Region of Interest on Foot Pressure.

막장근, 내측광근, 외측광근, 대퇴이두근, 비복근 및 전 경골근에 부착하였고, 보행 중 근육 별 활성도를 확인 하기 위해 무선 근전도기를 부착 후 50cm 뒤에서 보행을 시작하여 압력센서 매트 위를 밟고 보행하는 동안 측정하였다.

5) 발바닥압

발바닥압은 양발에 가해지는 압력을 측정하는 도구 인 Gaitview (gait-view AFA-50, alFOOTs, Korea)를 사용하여, 왼쪽, 오른쪽 앞쪽 및 뒤쪽으로 발바닥압 영역을 각각 1/4로 나누어 세분된 압력 지수를 측정하였다. 정적 발바닥압 측정을 위해 피험자는 신발을 벗고 양발을 50cm 압력 센서 매트 위에 바로 선 상태에서 시선은 정면을 바라본 채 30초간 정적 자세로 측정하였다. 동적 발바닥압은 보행 중 압력 분포를 확인하기 위해 50cm 압력 센서 매트 위를 30초간 보행 중 반복하여

측정하였다. 집단에 따른 정적 및 동적 자세의 압력 중심점(COP)을 비교하기 위해 단계별 기록된 정보를 통해 발바닥에 앞쪽 및 뒤쪽 평균 압력, 엄지발가락, 2-5발가락, 제1발 중족골, 제2-4발 중족골, 제5발 중족골, 중간 발바닥, 내측 발뒤꿈치 및 외측 발뒤꿈치의 압력을 측정하였다<Figure 1>.

4. 자료처리

이 연구에서 수집된 모든 자료는 SPSS WIN ver.20.0을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였고, 집단 간의 분석은 일원 배치 분산분석(One-way measures ANOVA)을 실시하였으며, 시기 간에 유의한 차이가 나타날 때 사후 검정(post-hoc)에 따른 다중비교를 실시하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 균형

정적 균형의 변화는 Table 2에 제시된 바와 같다. 눈을 감은 상태에서 정적 균형의 Romberg 검사는 CON과 비교해서 UVG에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p = .032$). 하지만 눈을 감은 상태 및 눈을 뜬 상태에서 이동거리, 이동범위, 이동각도, Romberg 검사는 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 동적 균형의 변화는 Table 3에 제시된 바와 같다. 동적 균형에서 앞쪽 방향은 CON과 비교해서 UVG ($p = .047$) 및 GVG ($p = .005$)에서 각각 통계적으로 유의하게 높게

Table 2. Differences between Opened and Closed Eyes on Static Balance between Groups

Variables		CON	UVG	GVG	F
Opened Eyes	Trace Length (mm)	251.5 ± 78.19	242.95 ± 73.53	240.75 ± 73.42	.770
	C90 area (mm ²)	213.35 ± 152.68	193.72 ± 189.10	142.94 ± 83.20	.751
	C90 angle (°)	11.93 ± 69.90	21.31 ± 75.07	-4.42 ± 72.82	.375
Closed Eyes	Trace Length (mm)	327.17 ± 138.58	333.96 ± 122.08	338.79 ± 153.37	.220
	C90 area (mm ²)	217.96 ± 241.96	280.55 ± 196.18	278.93 ± 276.85	.271
	C90 angle (°)	-10.26 ± 72.31	-6.47 ± 68.93	-11.02 ± 76.29	.013
	Romberg test (mm)	114.77 ± 77.17	201.09 ± 109.18 [†]	183.50 ± 96.82	2.876 [*]

mean ± SD. * $p < .05$, [†] $p < .05$ vs CON

Table 3. Differences in Dynamic Balance Between Groups

Variables	CON	UVG	GVG	F
Forward (°)	3.92 ± .82	4.74 ± 1.00 [†]	5.07 ± 1.09 [†]	4.711 [*]
Backward (°)	4.94 ± 1.24	4.66 ± 1.08	4.82 ± 1.02	.182
Leftward (°)	4.96 ± 1.98	4.67 ± 1.50	5.42 ± 1.59	.825
Rightward (°)	4.99 ± 1.15	4.98 ± 1.67	5.59 ± 1.41	.730

mean ± SD. * p < .05, † p < .05 vs CON

Table 4. Differences in Muscle Activity During Gait Between Groups

Variables	CON	UVG	GVG	F	
GM (%)	Left	13.22 ± 6.59	8.65 ± 1.95	10.29 ± 6.67	2.039
	Right	13.03 ± 4.50	10.34 ± 1.55	10.56 ± 4.01	2.050
TFL (%)	Left	5.54 ± 2.81	7.09 ± 3.08	6.98 ± 4.04	.832
	Right	6.47 ± 5.49	6.89 ± 4.31	7.15 ± 3.62	.071
VM (%)	Left	18.98 ± 4.86	16.96 ± 4.08	15.99 ± 4.79	1.365
	Right	18.66 ± 5.41	20.87 ± 8.33	16.42 ± 3.62	1.580
VL (%)	Left	18.29 ± 3.722	23.60 ± 7.69	24.10 ± 8.66 [†]	2.707 [*]
	Right	18.79 ± 6.27	19.02 ± 7.09	25.01 ± 9.01 [†]	2.641 [*]
BF (%)	Left	14.43 ± 5.52	16.51 ± 5.79	16.72 ± 8.37	.446
	Right	15.60 ± 6.87	13.32 ± 3.96	17.52 ± 6.71	1.434
GCM (%)	Left	27.56 ± 6.17	23.70 ± 6.51	21.98 ± 5.70 [†]	2.734 [*]
	Right	27.02 ± 9.09	25.25 ± 10.01	21.37 ± 4.37	1.539
TA (%)	Left	20.12 ± 4.48	22.81 ± 6.46	24.55 ± 3.58 [†]	2.588 [*]
	Right	19.49 ± 6.49	21.24 ± 5.86	24.71 ± 4.95 [†]	2.574 [*]

mean ± SD. GM; gluteus medius, TFL; tensor fasciae latae, VM; vastus medialis, VL; vastus lateralis, BF; biceps femoris, GCM; gastrocnemius, TA; tibialis anterior. * p < .05, † p < .05 vs CON

나타났다. 하지만 동적 균형에서 뒤쪽 방향, 왼쪽 방향 및 오른쪽 방향은 집단 간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

2. 근활성도

근활성도의 변화는 Table 4에 제시된 바와 같다. 왼쪽 (p = .044) 및 오른쪽(p = .047)의 VL은 CON과 비교해서 GVG에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 왼쪽의 GCM은 CON과 비교해서 GVG (p = .029)에서 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다. 왼쪽(p = .031) 및 오른쪽(p

= .032)의 TA는 CON과 비교해서 GVG에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 하지만 왼쪽 및 오른쪽 GM, TFL, VM, BF과 오른쪽의 GCM은 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3. 발바닥압

정적 발바닥압의 변화는 Table 5에 제시된 바와 같다. 오른쪽 제1발 중족골은 CON과 비교해서 GVG에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(p = .030). 왼쪽의 제5발 중족골은 CON과 비교해서 GVG에서 통계적으로

Table 5. Differences in Static Foot Pressure Between Groups

Variables		CON	UVG	GVG	F
F/F ratio (kPa)	Left	25.81 ± 3.49	25.80 ± 5.75	24.89 ± 3.89	.171
	Right	24.68 ± 3.70	25.08 ± 3.84	27.30 ± 2.96	1.959
R/F ratio (kPa)	Left	24.04 ± 4.69	24.04 ± 4.69	23.18 ± 2.66	.505
	Right	24.84 ± 3.38	24.71 ± 4.91	24.62 ± 2.70	.012
Hallux (kPa)	Left	39.78 ± 18.45	31.98 ± 25.64	50.53 ± 25.83	1.837
	Right	34.30 ± 25.74	22.80 ± 18.89	43.81 ± 31.85	1.843
2-5 toes (kPa)	Left	13.58 ± 11.10	8.98 ± 10.67	16.29 ± 23.06	.544
	Right	9.35 ± 5.67	11.55 ± 11.73	11.27 ± 7.81	.203
1 st Mt head (kPa)	Left	94.62 ± 35.00	98.10 ± 28.01	106.54 ± 23.59	.532
	Right	72.24 ± 29.36	84.51 ± 41.08	101.80 ± 26.83 [†]	2.573 [*]
2-4 Mt head (kPa)	Left	141.54 ± 23.62	134.83 ± 29.36	126.39 ± 24.91	1.068
	Right	138.71 ± 30.36	135.30 ± 21.92	136.19 ± 27.95	.052
5 th Mt head (kPa)	Left	104.76 ± 46.68	94.65 ± 48.75	90.65 ± 35.13 [†]	4.127 [*]
	Right	104.76 ± 46.67	94.65 ± 35.14	90.33 ± 48.75	.351
Midfoot (kPa)	Left	59.81 ± 28.43	47.42 ± 28.77	40.93 ± 38.18	1.120
	Right	70.67 ± 49.35	52.05 ± 24.24	60.90 ± 44.21	.645
M/heel (kPa)	Left	148.52 ± 11.84	147.38 ± 18.74	151.87 ± 7.09	.367
	Right	149.17 ± 13.22	149.76 ± 10.85	152.72 ± 11.38	.309
L/heel (kPa)	Left	161.42 ± 17.40	161.22 ± 17.73	157.87 ± 17.40	.157
	Right	157.58 ± 17.02	159.35 ± 14.06	148.55 ± 16.61	1.543

mean ± SD. F/F; forefoot, R/F; rearfoot, MT; metatarsal, M/heel; Medial heel, L/heel; Lateral heel. *p < .05, †p < .05 vs CON

로 유의하게 높게 나타났다(p = .007). 하지만 오른쪽 및 왼쪽 앞쪽 평균압력, 뒤쪽 평균압력, 엄지발가락, 2-5발가락, 중간발바닥, 내측 발뒤꿈치, 외측 발뒤꿈치 발바닥 및 왼쪽의 제1발 중족골과 오른쪽의 제5발 중족골은 집단간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 동적 발바닥압의 변화는 Table 6에 제시된 바와 같다. 오른쪽 앞쪽 평균압력은 CON과 비교해서 GVG에서 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다(p = .032). 오른쪽의 2-5 발가락 압력은 UVG와 비교해서 GVG에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(p = .048). 왼쪽의 제5 중족골 압력은 CON 및 GVG와 비교해서 UVG(p = .022, p = .003)에서 각각 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다. 하지만 오른쪽 및 왼쪽의 앞쪽 평균압력, 엄지발가락, 제1발 중족골, 제2-4 중족골, 중간발바닥, 내

측 뒤꿈치, 외측 뒤꿈치, 왼쪽 및 뒤쪽 평균압력, 2-5 발가락 및 오른쪽 제5발 중족골은 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

IV. 고찰

이 연구는 무릎외반의 정적 및 동적 균형 검사와 보행 중에 근활성도 및 발바닥압을 평가한 결과, 정적 균형의 Romberg 검사는 CON과 비교해서 UVG에서, 동적 균형의 앞쪽 방향은 CON과 비교해서 UVG 및 GVG에서 각각 유의하게 높게 나타났다. 왼쪽 및 오른쪽 외측광근, 왼쪽 및 오른쪽의 전경골근 및 왼쪽의 비복근의 활성도는 CON과 비교해서 GVG에서 각각 유의하게 높게 나타났다. 정적 발바닥압에서 오른쪽

Table 6. Differences in Dynamic Foot Pressure Between Groups

Variables		CON	UVG	GVG	F
F/F ratio (kPa)	Left	29.09 ± 3.38	31.58 ± 7.80	30.39 ± 3.19	.716
	Right	26.93 ± 1.71	28.22 ± 2.44	27.57 ± 3.28	.775
R/F ratio (kPa)	Left	21.79 ± 3.15	21.53 ± 2.51	21.81 ± 2.48	.038
	Right	22.19 ± 1.80	21.37 ± 2.48	20.23 ± 2.26 [†]	2.526 [*]
Hallux (kPa)	Left	92.84 ± 31.11	86.29 ± 29.55	105.83 ± 26.28	1.147
	Right	67.25 ± 41.52	90.01 ± 37.34	95.51 ± 37.39	1.669
2-5 toes (kPa)	Left	34.79 ± 24.88	32.78 ± 18.15	49.06 ± 13.27	2.436
	Right	34.66 ± 20.99	26.36 ± 18.99 [#]	43.63 ± 18.70	2.126 [*]
1 st Mt head (kPa)	Left	120.72 ± 25.33	134.74 ± 22.40	119.93 ± 30.97	1.125
	Right	116.72 ± 23.66	123.92 ± 29.06	118.35 ± 24.24	.252
2-4 Mt head (kPa)	Left	164.61 ± 21.43	158.14 ± 19.43	162.32 ± 12.86	.377
	Right	154.28 ± 18.78	158.10 ± 19.56	154.32 ± 7.38	.210
5 th MT head (kPa)	Left	123.01 ± 34.86	91.08 ± 39.60 [#]	134.82 ± 19.45	5.589 [*]
	Right	104.92 ± 32.33	98.27 ± 39.19	92.58 ± 42.08	.332
Midfoot head (kPa)	Left	103.59 ± 39.92	80.99 ± 35.73	97.74 ± 47.64	.930
	Right	96.93 ± 40.31	75.49 ± 29.57	88.87 ± 46.89	.869
M/heel head (kPa)	Left	144.20 ± 11.02	153.23 ± 7.18	143.53 ± 18.83	1.887
	Right	154.32 ± 9.68	154.90 ± 8.27	148.08 ± 11.16	1.768
L/heel head (kPa)	Left	163.12 ± 14.45	163.12 ± 14.45	168.19 ± 11.84	.973
	Right	157.64 ± 9.93	155.14 ± 15.73	160.91 ± 12.23	.601

mean ± SD. F/F; forefoot, R/F; rearfoot, MT; metatarsal, M/heel; Medial heel, L/heel; Lateral heel. * p < .05, † p < .05 vs CON

제1발 중족골 압력과 왼쪽의 제5발 중족골 압력 및 동적 발바닥에서 뒤쪽의 평균 압력은 CON과 비교해서 GVG에서, 동적 발바닥압에서 왼쪽의 제5발 중족골 압력과 오른쪽의 2-5 발가락 압력은 CON과 비교해서 UVG에서 각각 유의한 차이가 나타났다. 이상의 결과, 이 연구에서 여자 대학생의 무릎외반은 정적 및 동적 균형의 저하, 근활성도 및 발바닥압에 부정적인 영향을 미치는 것으로 확인하였다.

이 연구에서 눈을 감은 상태에서 정적 균형의 Romberg 검사는 CON과 비교해서 UVG에서 높게 나타났다. Romberg 검사는 양다리의 고유수용성 감각을 평가하는 방법으로 눈을 감은 상태에서 신체에 직립 자세를 유지하여 균형을 평가한다고 알려져 있다[21]. 통상, 고유수용성 감각은 관절의 위치(joint position)와 관절

의 운동(joint movement)에 대한 정보를 인지하여 시각 정보 없이도 신체 및 관절의 위치와 운동을 파악할 수 있다고 보고되어 있다[22]. 또한 근육의 감각기관인 근방추(muscle spindle)와 골지건(golgi tendon organ), 피부 수용기, 시각계와 청각계는 균형을 조절한다고 보고되고 있다[23]. 특히 눈 감은 상태는 시각계의 감각을 차단함으로써 근육의 감각기관에서 균형을 조절한다고 알려져 있다[24]. 선행연구에 의하면, 정적인 자세에서 무릎외반을 동반한 회내발은 발바닥의 아치가 편평해져서 발과 지면이 접촉하는 내·외측 기저면이 넓어져 균형에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다[18,25,26]. 이 연구에서 정적 균형은 CON과 비교해서 양쪽 무릎의 Q-각이 20° 이상의 GVG에서 차이가 나타나지 않았다. 이것은 양측의 무릎외반이 균형을 이루었기 때문으로

생각된다. 하지만 이 연구에서 Romberg 검사는 CON과 비교해서 UVG에서 현저하게 높게 나타났다. 이 연구에서 UVG는 한쪽 무릎의 Q-각이 20° 이상, 즉 비대칭성 무릎외반을 가지고 있어서 결국에는 Q-각의 차이가 정적 균형의 Romberg 검사에 영향을 미쳤을 가능성이 있다고 생각된다.

이 연구에서 동적 균형의 앞쪽 방향은 CON과 비교해서 UVG 및 GVG에서 각각 유의하게 높게 나타났다. 무릎관절은 엉덩관절과 발목관절의 사슬(chain) 형태로 움직임이 상호작용할 뿐만 아니라[27], 발의 움직임과도 연결되어 있다고 하였다[28]. Cobb 등[25]은 무릎 외반으로 발목의 회내는 내측 종족궁의 지속적인 침하(collapse of medial longitudinal arch)가 발생하여 비정상적인 발바닥압을 유발해서 압력중심점을 앞으로 이동시켜 균형이 감소한다고 보고하였다. 따라서 동적 균형의 앞쪽 방향은 무릎외반으로 인하여 뒤꿈치의 접촉이 제한되었기 때문에 앞쪽 방향의 동적 균형에 부정적인 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 또한 Almeida 등[29]은 신체의 앞쪽 방향의 동적 균형은 신체의 앞뒤 안정성을 유지하는 근육과 발목관절 근육의 활성 상태에 따라 조절된다고 보고 하였으며, 앞쪽 방향의 균형은 발목에서 높은 움직임 조절이 필요하며 안쪽 비복근과 전경골근의 활성을 통해 유지된다고 보고하였다[30]. 이 연구에서 비복근 및 전경골근의 활성도는 CON과 비교해서 GVG에서 낮게, 전경골근에서 높게 나타났다. 따라서 이 연구에서 GVG에서 앞쪽 방향의 동적 균형이 낮게 나타난 이유는 발목 움직임 조절이 불안정하였기 때문으로 생각된다. 추후 연구에서는 발의 형태와 움직임에 따른 균형을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

일반적으로 내측광근 및 외측광근은 무릎과 역학적인 관련성이 높으며, 무릎의 통증 및 정렬에 주요한 요인으로 알려져 있다[7,9]. 특히 무릎 굴곡 및 신전 시 내측광근 및 외측광근의 활성도는 무릎 통증이 없는 사람과 비교해서 슬개대퇴 동통증후군에서 1:1 근활성 비율로 발생하였다고 보고하였다[31]. 슬개대퇴 동통증후군의 발생은 무릎의 Q-각이 증가하여 높게 나타났으며[7,9], 무릎외반을 가진 대상자의 내측광근 및 외측광근의 근활성 비율을 조사한 결과, 내측광근과 외측광

근의 근활성 비율은 .9대 1.0으로 외측광근이 높게 나타났다라고 보고하였다. 선행연구에 의하면, 무릎외반은 무릎 중앙의 미쿨리츠(Mikulicz) 선 중간에 있는 슬개골이 안쪽에 위치하기 때문에 바깥쪽으로 당기는 대퇴직근(rectus femoris)과 외측광근에서 보다 높은 활성도를 발생시킨다고 보고하였다[32]. 따라서 이 연구에서 외측광근의 활성도가 CON과 비교해서 GVG에서 높게 나타난 이유는 슬개골의 위치 및 움직임 때문으로 생각된다. 앞서 언급한 것처럼, 무릎관절은 발목관절과 사슬(chain)의 형태로 정렬되어 있으며[27], 무릎외반은 대퇴골의 내전 및 내회전이 발생하면서 경골의 내전을 유발하기 때문에 발의 회내(pronation)를 발생시킨다고 보고하였다[33]. 특히 무릎외반 시 전경골근은 배측 굴곡(dorsiflexion)이 발생하여 발의 회내에 저항하므로 활성도가 높게 나타났다고 보고하였다[30]. 또한, 전경골근은 발 중심점을 기준으로 외측 경계에 체중을 분산하기 위해 발꿈치뼈의 안쪽 근육 힘을 발생시키면서 활성도가 증가한다고 알려져 있다[34]. 아울러 비복근은 전경골근과 함께 발목 움직임이 상호작용하여 조절되며, 비복근과 전경골근의 활성을 통해 발목이 유지된다고 보고하였다[34]. 따라서 이 연구에서 비복근 및 전경골근의 활성도는 발의 움직임 변화에 영향을 받을 가능성이 있다고 생각된다. 하지만 이 연구에서 비복근 및 전경골근의 활성도는 CON과 비교해서 UVG에서 차이가 나타나지 않았다. 선행연구에 의하면, 하지 불균형, 특히 하지의 길이 및 근력의 차이는 근육 기능에 변형, 즉 근활성도에 변형적인 영향을 미친다고 보고하였다[35]. 반면에 Park & Lee [36]는 하지 근력의 불균형은 보행 시 근력이 우세한 발이 비 우세한 발의 근력을 보상하기 위해 양발을 지지하는 시간이 더 길어지며, 보폭은 비 우세한 발이 더 큰 형태로 나타났다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 GCM 및 TA의 활성도가 UVG에서 차이가 나타나지 않은 이유는 보행 중에 보상 작용 때문으로 생각된다.

한편, 시상면에서 관찰한 무릎외반은 골반의 전방 경사를 발생시키며, 대퇴사두근 및 대퇴이두근과 안정성의 측면에서 관련이 높다고 보고되고 있다[37]. 또한 전두면에서 관찰한 무릎외반은 대퇴골의 내전 및 내회

전을 유발하여 TFL의 활성도는 증가하며, 중둔근의 활성도는 감소한다고 보고되고 있다[38]. 하지만 이 연구에서 중둔근, 대퇴근막장근, 내측광근 및 대퇴이두근에서 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 보행 중 발생하는 고관절 및 무릎의 각도가 작게 발생하였기 때문으로 생각된다.

일반적으로 발은 외부환경과 신체가 접촉되는 첫 번째 부위이며, 안정성과 적응을 위해 중추신경계로 감각 정보를 제공하는 역할을 한다고 알려져 있다[18,39]. 또한, 발은 앞쪽과 가쪽 세로할 아치(longitudinal arch)와 가로할 아치(transverse arch)가 있으며, 정상적인 발의 체중 부하점은 제1발 중족골(1st metatarsal head) 제5발 중족골(5th metatarsal head) 그리고 발꿈치뼈의 바닥면과 삼각지점에서 이루어진다고 보고되어 있다[40]. 선행연구에 의하면, 정상 발바닥의 압력은 제2 중족골과 제3 중족골에서 가장 크게 나타났다고 보고되었지만[41], 이 연구에서 정적 발바닥압의 제1발 중족골은 CON과 비교해서 GVG에서 높게 나타났으며, 반면에 제5발 중족골은 CON과 비교해서 GVG에서 낮게 나타났다. Teyhen 등[42]은 제1발의 중족골은 무릎외반에서 크게 나타났으며, 반면에 제5발 중족골은 작게 발생하였다고 보고하였다. 따라서 무릎외반은 대퇴골의 내전을 발생시켜서 정적 발바닥압에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

한편, 이 연구에서 동적 발바닥압의 오른발 뒤쪽의 평균 압력은 CON과 비교해서 GVG에서 낮게 나타났다. 선행연구에 의하면, 뒤쪽의 평균 압력은 발 앞쪽과 발 뒤쪽의 비율에 따라 구분되며, 뒤쪽의 평균 압력이 낮을수록 앞쪽의 평균 압력은 높게 나타났다고 보고하였다[43]. 이러한 결과, 즉 앞서 언급한 것처럼, 이 연구에서 앞쪽 발바닥압이 높게 나타난 것은 무릎외반으로 발생한 회내 발의 부정적 영향 때문으로 생각된다. 이 연구에서 왼쪽의 제5발 중족골은 CON 및 GVG와 비교해서 UVG에서 유의하게 낮게 나타났다. 통상, 동적 발바닥압은 입각기 시에 측정하며, 보행 중에는 입각기와 유각기가 상호작용한다고 알려져 있다[44]. 특히 앞서 언급한 것처럼, 하지의 불균형은 보행 패턴 및 근활성도에 영향을 미친다고 보고하였다[36]. 따라서 이 연

구에서 UVG, 즉 편측 무릎외반은 유각기 시에 무릎외반 측(왼쪽발)과 무릎외반이 아닌 측(오른쪽 발)의 불균형 차이가 입각기 시에 내측 전달력을 높게 발생시켜서 제5발 중족골에서 차이가 나타났다고 생각된다.

V. 결론

이 연구에서 무릎외반의 균형 검사와 보행 중에 근활성도 및 발바닥압을 평가한 결과, 정적 균형에서 Romberg 검사는 CON과 비교해서 UVG에서, 동적 균형에서 앞쪽 방향은 CON과 비교해서 UVG 및 GVG에서 각각 유의하게 높게 나타났다. 왼쪽 및 오른쪽의 외측광근, 왼쪽 및 오른쪽의 전경골근 및 왼쪽의 비복근의 활성도는 CON과 비교해서 GVG에서 각각 유의하게 높게 나타났다. 정적 발바닥압에서 오른쪽 제1발 중족골과 왼쪽의 제5발 중족골 및 동적 발바닥압에서 뒤쪽의 평균은 CON과 비교해서 GVG에서, 동적 발바닥압에서 왼쪽의 제5발 중족골과 오른쪽 2-5 발가락은 CON과 비교해서 UVG에서 각각 유의하게 차이가 나타났다. 따라서 이 연구에서 여자 대학생의 무릎외반은 정적 및 동적 균형의 저하, 근활성도 및 발바닥압에서 부정적인 영향을 미치는 것으로 확인하였다. 향후 연구에서는 무릎외반을 개선하기 위한 적절한 운동 프로그램을 개발할 필요가 있다고 생각된다.

References

- [1] Monk Ap, Choji K, O'Connor JJ, et al. The Shape of the distal femur: a geometrical study using MRI. *Bone Joint J.* 2014;96(12):1620-30.
- [2] Guzman H, Yaszay B, Scott VP, et al. Early experience with medial femoral tension band plating in idiopathic genu valgum. *J Child Orthop.* 2011;5(1):11-7.
- [3] Olerud C, Berg P. The variation of the Q angle with different positions of the foot. *Clin Orthop Relat Res.* 1984;(191):162-5.
- [4] Almonroeder TG, Benson LC. Sex differences in lower extremity kinematics and patellofemoral kinetics during

- running. *J Sports Sci.* 2017;35(16):1575-81.
- [5] Lim BO, Park YH. A Comparison of Sex-based Differences in Knee Neuromuscular Biomechanical Factors during Basketball Rebound Jump. *KJSB.* 2007; 17(3):23-9.
- [6] Yoon TL, Kim KS. Gender Comparison of Muscle Activity and Strength in Gluteus Medius and Quadriceps and Knee Valgus Angle During Controlled Single-Leg Squat in Individuals With Patellar Femoral Pain Syndrome. *Phy Ther Korea.* 2016;23(1):11-9.
- [7] Boucher JP, King MA, Lefebvre R. Quadriceps femoris muscle activity in patellofemoral pain syndrome. *Am J Sports Med.* 1992;20(5):527-32.
- [8] Earl JE, Schmitz RJ, Arnold BL. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001;11(6):381-6.
- [9] Souza DR, Gross MT. Comparison of vastus medialis obliquus: Vastus lateralis muscle integrated electromyographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Phys Ther.* 1991;71(4):310-6.
- [10] Zeller BL, McCrory JL, Kibler WB. Differences in kinematics and electromyographic activity between men and women during the single-legged squat. *Am J Sports Med.* 2003;31(3):449-56.
- [11] Lee HS, Kim AR. The Effect of Corrective Exercise in a patient with knee joint valgus deformity: A single-subject A-B-A experimental design. *J Korean Soc Phys Med.* 2016;11(1):93-105.
- [12] Hughston JC, Walsh WM, Puddu G. *Patellar Subluxation and Dislocation.* Philadelphia. WB Saunders Company. 1984.
- [13] Lee ES, Kim BW, Kim CH. The effects of 8week pilates' universal reformer training on body composition, strength of lower extremity & balance control ability of adult women. *KJSB.* 2008;19(4):217-28.
- [14] Stief F, Bohm H, Schwirtz A, et al. Dynamic loading of the knee and hip joint and compensatory strategies in children and adolescents with varus malalignment. *Gait Posture.* 2011;33(3):490-5.
- [15] Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. In: Winter DA, editors. *Gait Posture.* 1995;3(4):193-214.
- [16] Lerner ZF, Demers MS, Delp SL, et al. How tibiofemoral alignment and contact locations affect predictions of medial and lateral tibiofemoral contact forces. *J Biomech.* 2015;28(4):644-50.
- [17] Kang JS, Lee WH, Lee, DJ. Effect of a modified maneuver for quadriceps muscle setting with co-contraction of the hamstrings on patients with knee joint osteoarthritis. *J Korean Phys Soc.* 2010;5(3):375-83.
- [18] Cote KP, Brunet ME, Gansnedder BM, et al. Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *J Athl Train.* 2005;40(1):41-46.
- [19] Ganesan B, Fong KNK, Luximon A, et al. Kinetic and kinematic analysis of gait pattern of 13 year old children with unilateral genu valgum. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2016;20(15):3168-3171.
- [20] Livingston L. The quadriceps angle: a review of the literature. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;28:105-9.
- [21] Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the Influence of Sensory Interaction on Balance: Suggestion from the Field. *Phys Ther.* 1986;66(10):1548-50.
- [22] Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, et al. *Principles of neural science.* New York: McGraw-hill. 2000.
- [23] Yun JE, Kim YH, Park JH. Lower limb's Proprioceptive Acuity with Position Matching Via Goal-directed Task. *Int J Sports Sci Coach.* 2013;15(3):129-39.
- [24] Chen SY, Chiu PW, Lee CH, et al. "Vision influences on postural stability in different ages," *Gait Posture.* 2005;21(1):5.
- [25] Cobb SC, Tis LL, Johnson BF, et al. The effect of forefoot varus on postural stability. *J Prthop Sports Phys Ther.* 2004;34(2):79-85.
- [26] Hertel J, Gay, MR, Denegar CR. Differences in Postural Control During Single-Leg Stance Among Healthy

- Individuals With Different Foot Types. *J Athl Train.* 2002;37(2):129-32.
- [27] Hwang SJ, Woo YK, Jeon HS. Effects of immobilization of the ankle and knee joints on postural stability in standing. *J Korean Soc Phys Ther.* 2008;15(1):30-7.
- [28] Rosenbaum D, Hautmann S, Gold L, et al. "Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion." *Gait Posture.* 1994;2:191-7.
- [29] Almeida FM, Tomiosso TC, Nakagaki, WR, et al. Effects of Passive Stretching on the Biochemical and Biomechanical Properties of Calcaneal Tendon of Rats. *Connect Tissue Res.* 2009;50:279-84.
- [30] Murley GS, Menz HB, Landorf KB. Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *J Foot Ankle Res.* 2009;2:35.
- [31] Power CM, Landel R, Perry J. Timing and Intensity of Vastus Muscle Activity During Functional Activities in Subjects With and Without Patellofemoral Pain. *Phys Ther.* 1996;76(9):946-955.
- [32] Sogabe A, Mukai N, Miyawakawa S, et al. Influence of knee alignment on quadriceps cross-sectional area. *J Biomech.* 2009;42(14):2313-7.
- [33] Thomas PA, Chris OD. Interactions between kinematics and loading during walking for the normal and ACL deficient knee. *J Biomech.* 2005;38:293-8.
- [34] Hansen ST. The cavovarus/supinated foot deformity and external tibia torsion: the role of the posterior tibia tendon. *Foot Ankle Clin.* 2008;13:325-8.
- [35] Kang SR, Yu CH, Kwon TK. Evaluation of BioMechanical Characteristics to Improve Muscle Strength Imbalance according to Exercise Load Deviation. *Int J Precis Eng Manuf.* 2017;18(10):1439-47.
- [36] Park YS, Lee SN. An analysis of gait variables by muscle strength imbalance of low extremity and descent-stair walking in elderly women. *KJGD.* 2012;20(2):127-32.
- [37] Hayes KW, Falconer J. Differential muscle strength decline in osteoarthritis of the knee: A developing hypothesis. *Arthritis Rheumatol.* 1992;5(1):24-8.
- [38] Gombatto SP, Collins DR, Saharmann SA, et al. Gender differences in pattern of hip and lumbopelvic rotation in people with low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2006;21(3):263-71.
- [39] Willson JD, Davis IS. Lower extremity mechanics of females with and without patellofemoral pain across activities with progressively greater task demands. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23(2):203-11.
- [40] Burgess S, Jordan C, Bartlett R. The influence of a small insert, in the footbed of a shoe, upon plantar pressure distribution. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1997;12(3):5-6.
- [41] Martinez-Nova A, Pod L, Huerta JP, et al. Cadence, Age, and Weight as Determinants of Forefoot Plantar Pressures Using the Biofoot In-shoe System. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2008;98(4):302-10.
- [42] Teyhen DS, Stoltenberg BE, Eckard TG, et al. Static Foot Posture Associated With Dynamic Plantar Pressure Parameters. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41(2):100-7.
- [43] Caselli A, Pham H, Giurini J, et al. The forefoot-to-rearfoot plantar pressure ratio is increased in severe diabetic neuropathy and can predict foot ulceration. *Diabetes Care.* 2002;25:1066-71.
- [44] Perry J, Burnfield J. Gait analysis: Normal and pathological function. *J Sports Sci Med.* 2010;9:353.