

정상인과 통증이 있는 족부의 내측 종아치의 높이와 부피

인제대학교 의과대학 서울백병원 정형외과학교실

이우천 · 문정석

The Height and Volume of Medial Longitudinal Arch in Normal and Painful Feet

Woo-Chun Lee, M.D., Jeong-Seok Moon, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Seoul Paik Hospital, College of Medicine, Inje University, Seoul, Korea

=Abstract=

Purpose: The purpose of this study was to investigate the differences in simple radiographic parameters and results of 3-D scan among normal and patient groups.

Materials and Methods: Seventy subjects in each group were studied. Control group consisted of subjects without plantar foot pain (normal group), and two patient groups were one with plantar forefoot pain (metatarsalgia group), the other with plantar heel pain (heel pain group). Simple radiographic parameters were obtained and 3-D scan was done with foot scanner (Nexscan, K&I, Korea) and The height and volume of the space under the medial longitudinal arch was analyzed (Enfoot, K&I, Korea). These parameters were compared and correlation between radiological parameters and results of the 3-D scan were studied.

Results: The results of all parameters distributed normally. There was no significant differences among the groups in radiological parameters (talo-first metatarsal angle, calcaneal pitch angle and height of the talar head in standing lateral radiograph) and arch height and arch volume on 3-D scan. There were statistically significant correlations between radiological and 3-D scan results.

Conclusion: This study revealed that there is no significant differences in medial longitudinal arch height and volume among normal and different patient groups and there are variety of arch height in patients with similar symptoms.

Key Words: Foot, Medial longitudinal arch, Metatarsalgia, Heel pain, 3-D scan

서 론

발에 있는 내측 종아치의 높이를 판단하기 위한 방사선학적 지표들에는 거골-제1 중족골간 각도, 종골 피치 각도 등이 있다. 이런 지표들이 일정한 범위를 벗어나는 경우를 편평족 또는 요족이라고 하며, 치료 전후의 변형의 변화 정도를 이런 지표를 이용하여 표현한다. 그러나 상당수의 발 통증 환자의 발은 편평족이나 요족이라는 변형의 범주에 포함될 정도로 심한 아치의 이상 소견을 보이지 않는데, 단순 방사선상에서는 발의 아치 모양이 비슷하더라도 후족 부가 외반 또는 내반됨에 따라서 발의 형태의 상당한 변화

• Address for correspondence

Woo-Chun Lee, M.D.

Seoul Paik Hospital, College of Medicine, Inje University,
82 Jeo-dong, Jung-gu, Department of Orthopaedic Surgery
100-032, Seoul

Tel: +82-2-2270-0042 Fax: +82-2-2270-0264

E-mail: wclee@seoulpaik.ac.kr

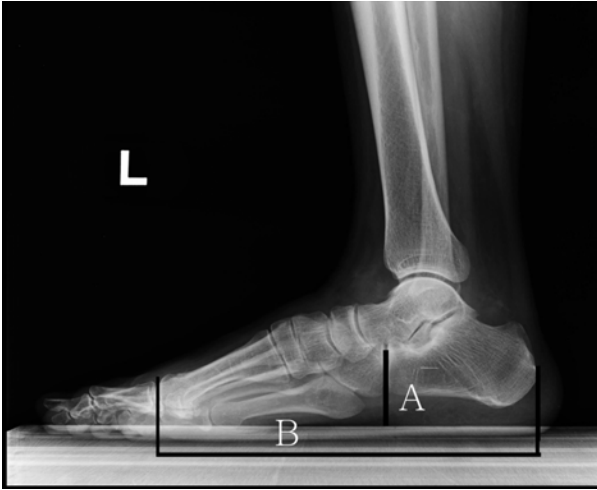


Figure 1. Standing lateral radiograph showing talar head height (A) and arch length (B).

가 있을 가능성이 있으며, 평면상의 측정치로 실제의 발의 형태를 유추하는 데는 한계가 있을 것으로 사료된다. 단순 방사선상의 지표들이 아닌 아치를 판단하는 다른 방법 중에서 아치 부분의 공간의 부피가 질환을 판단하고, 깔창 제작에 응용할 수 있는 가능성이 있을 것이라는 가정하에 본 연구를 시작하였다. 또한 단순 방사선상의 지표들과 발을 3차원 스캔한 결과를 비교하여 보면 발의 형태에 대한 어떤 새로운 인식이 가능할 것으로 판단하였다.

저자들은 단순 방사선상의 지표들과 3차원적인 스캔을 이용한 측정 결과가 정상인과 발바닥 통증이 있는 환자 군에서 차이가 있는가를 알아보기 위하여 본 연구를 하였다.

대상 및 방법

발바닥의 통증이 없는 대조군(이하 정상 군이라고 함) 70명, 전족부 바닥에 통증이 있는 환자(이하 중족골 통증 군이라고 함) 70명, 뒤꿈치 족저부에 통증이 있는 환자(이하

하 뒤꿈치 통증 군이라고 함) 70명을 대상으로 하였다. 단순 방사선상의 지표들을 측정하고, 발을 삼차원 발 스캐너(Nexscan, K&I, Korea)를 이용하여 스캔한 후에 분석프로그램(Enfoot, K&I, Korea)을 이용하여 삼차원 공간을 분석하였다.

정상 군과 양측 또는 우측에만 증상이 있는 대상자는 우측 족부를 대상으로 하였으며, 좌측 족부에만 통증이 있는 환자는 좌측을 대상으로 하였다. 단순 방사선상의 지표로는 측면 방사선상에서 거골-제1 중족골간 각도, 종골 피치각도를 측정하고, 아치 비율을 구하였다. 아치 비율은 저자들이 아치의 높이를 판단하기 위한 지표로 고안한 것인데 거골두의 가장 하방을 아치의 가장 높은 점으로 하고 바닥에서 거골두의 하방까지의 거리를 거골두 높이라고 하였다. 거골두 높이의 실측치가 발 크기 방사선 촬영 시에 발생하는 확대에 의한 오차가 발생하지 않도록 하기 위하여 거골두 높이를 아치 길이(제1중족골두의 가장 원위단에서 종골의 가장 후방까지의 거리)로 나눈 값을 아치 비율이라고 하였다(Fig. 1).

각각의 각도와 길이는 같은 사람이 두 번 측정한 것의 평균치로 하였다.

검사하는 발에는 체중부하를 하지 않고 발을 바닥에 대면 족저부의 대부분이 바닥에 닿으며 내측 종아치 아래 부분에만 공간이 발생하는데 이곳을 내측 종아치 공간이라고 하였다(Fig. 2). 내측 종아치 부분의 공간은 하방과 상방, 외측은 경계가 있으나 내측은 경계가 없으므로 제1중족골두 내측의 가장 돌출된 부분과 뒤꿈치 내측의 가장 돌출된 부분을 잇는 선에서 지면에 수직인 면을 세웠다고 가상하여 내측 한계를 설정한 후에 막힌 공간을 만든 후에 부피를 측정하였는데, 이 가상면이 상방으로 연장되면서 발에 막히지 않고 허공으로 연장되어서 막힌 공간을 설정할 수가 없는 경우가 있었다. 그래서 이 가상면을 외측으로 5 mm와 10 mm 이동한 면을 가상하고 그 면에 의하여 형성

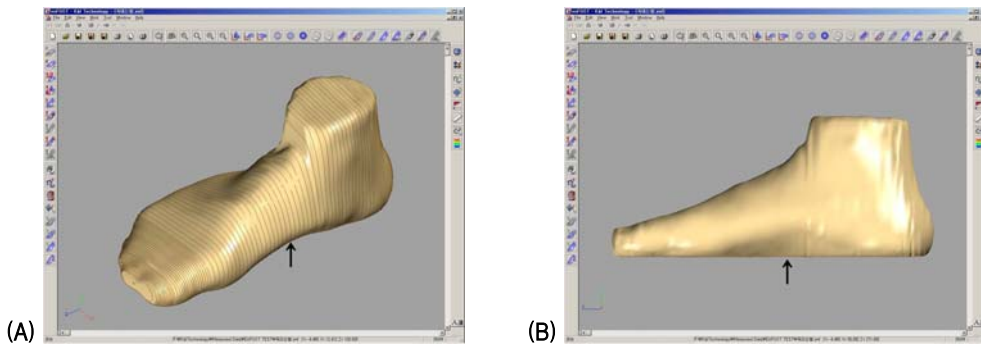


Figure 2. Oblique (A) and lateral (B) Images of three dimensional foot scan showing medial longitudinal arch (↑).



Figure 3. A photograph of foot showing that a perpendicular plane to the floor along the line which connects the medial surface of the first metatarsal head and the heel does not touch the medial surface of the foot (A) and a plane 5 mm lateral to this plane touches the medial surface of the foot to make a closed space under the medial longitudinal arch (B).

되는 내측 종아치 공간의 부피를 측정하였으며, 각각을 5 mm 아치 공간, 10 mm 아치 공간이라고 하였다(Fig. 3).

이와 같이 형성된 내측 종아치 공간에서 수직 높이가 가장 높은 부분을 아치 높이라고 하였으며 각각 5 mm 아치 높이, 10 mm 아치 높이라고 하였다. 아치 높이는 발길이 170 cm로 표준화하기 위하여 아치 높이 170/ 환자의 발길이를 구하여 비교하였다.

정상 군과 전족부 통증 군, 뒤꿈치 통증 군 사이에 각각의 지표들에 유의한 차이가 있는가를 단변량 분산분석(one way ANOVA) 검사를 하였으며 유의 수준은 $p=0.05$ 로 하

였다. 또한 단순 방사선상 거골-제1 중족골간 각도와 거골두 높이, 그리고 삼차원 스캔 상의 아치 높이 사이의 Pearson 상관계수를 구하였다. 통계 프로그램은 Medcalc version 8.0 (Medcalc Softwear, Mariakerke, Belgium)을 사용하였다.

결 과

단순 방사선상의 모든 계측치와 3차원 스캔상의 계측치들이 정규 분포를 하였다.

단순 방사선상에서 거골-제1 중족골간 각도는 정상군에서 평균 -3.6 ± 5.56 도, 중족골 통증군에서 -2.1 ± 5.17 도, 뒤꿈치 통증 군에서 -2.2 ± 5.68 도이였으며 각 군 간에 유의한 차이가 없었다.

단순 방사선상에서 종골 피치각은 정상군에서 평균 16.7 ± 5.10 도, 중족골 통증군에서 평균 17.1 ± 4.58 도, 뒤꿈치 통증군에서 평균 17.3 ± 3.99 도이였으며 각 군 간에 유의한 차이가 없었다.

단순 방사선상에서 아치 비율은 세 군에서 모두 평균 0.3 ± 0.03 이였으며 각 군 간에 유의한 차이가 없었다.

삼차원 스캔상에서 5 mm 아치 높이는 정상군에서 평균 15.8 ± 6.68 mm, 중족골 통증군에서 14.2 ± 6.39 mm, 뒤꿈치 통증군에서 14.5 ± 5.84 mm이였으며 10 mm 외측의 아치 높이는 정상군에서 평균 11.6 ± 5.65 mm, 중족골 통증군에서 9.6 ± 5.18 mm, 뒤꿈치 통증군에서 9.6 ± 5.07 mm 이었다(Table 1). 5 mm 아치 공간은 정상군에서 평균 8.6 ± 5.96 cm³, 중족골 통증 군에서 6.8 ± 4.38 cm³, 뒤꿈치 통증군에서 7.2 ± 4.58 cm³이었고, 10 mm 아치 공간은 정상군에서 평균 4.2 ± 4.00 cm³, 중족골 통증군에서

Table 1. Arch Volume and Arch Height at 5 mm and 10 mm Medial to the Inside Joint Line

	Arch V5* (mm ³)	Arch H5 [†] (mm)	Arch V10 [‡] (mm ³)	Arch H10 [§] (mm)
No pain	8.6	15.8	4.2	11.6
Metatarsalgia	6.8	14.2	3.1	9.6
Heel pain	7.2	14.5	3.5	9.6

No pain, control subjects with no foot pain; metatarsalgia, patients with plantar forefoot pain; heel pain, patient with heel pain.

*Arch V5, the volume of a space under the medial longitudinal arch formed by a plane which passes 5 mm lateral to the line connecting the medial surface of the first metatarsal head and the heel; [†]Arch H5, the height of a space under the medial longitudinal arch formed by a plane which passes 5 mm lateral to the line connecting the medial surface of the first metatarsal head and the heel; [‡]Arch V10, the volume of a space under the medial longitudinal arch formed by a plane which passes 10 mm lateral to the line connecting the medial surface of the first metatarsal head and the heel; [§]Arch H10, the height of a space under the medial longitudinal arch formed by a plane which passes 10 mm lateral to the line connecting the medial surface of the first metatarsal head and the heel.

에서 $3.1 \pm 2.70 \text{ cm}^3$, 뒤꿈치 통증군에서 $3.5 \pm 2.81 \text{ cm}^3$ 이었고 각 군 간에 유의한 차이가 없었다.

단순방사선상의 거골-제1 중족골간 각도와 아치 비율, 5 mm 아치 높이, 10 mm 아치 높이 사이에는 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다($P < 0.001$)

고 찰

발을 3차원적으로 측정하기 위한 방법으로 Bergmann 스캐너²⁾, AMFIT 시스템⁴⁾ 등이 있으며, 3차원 전산화 단층 촬영을 이용하는 방법¹⁰⁾도 보고되어 있다. 본 연구에 사용된 스캐너는 3D vision을 이용한 영상 복원 방식을 바탕으로 발 및 화형(last)의 삼차원 모델을 자동으로 생성해주는 데, 측정 대상의 표면에 반사된 레이저 슬릿광을 CCD (charge coupled device) 카메라로 촬영하고 이를 이용하여 삼차원 정보를 복원하는 방식이다⁴⁾.

본 연구에서 다른 지표들을 제외하고 내측 종아치 공간의 부피를 구한 이유는 발바닥이 지면에 닿으면 다른 부분들은 전부 바닥면에 접촉하여 평평한 면을 이루고 내측 종아치의 아래 부분만 바닥으로부터 분리되어 공간을 형성하기 때문이다. 체중의 1/2 만큼 체중 부하를 하여 연구한 보고^{3,5)}가 있으나 체중 부하를 하면 내측 종아치 부분마저 바닥면과 완전히 접촉하여 부피 측정이 불가능한 예들이 많아서 체중 부하를 하지 않은 상태에서 스캔한 측정치를 이용하여 부피를 구하였다.

스캔상에서 아치의 근위단, 원위단, 외측단 등의 여러 가지 지표를 측정할 수도 있을 것이지만 여러 가지 오차의 가능성이 있으며³⁾, 부피만 측정하면 높이 이외에 종방향과 횡방향의 길이가 미치는 영향을 종합적으로 판단할 수 있기 때문에 가장 뚜렷한 지표인 높이와 부피만을 측정하였다.

방사선학적인 방법으로 아치를 측정할 경우에는 뼈를 기준으로 아치의 높낮이를 판단하지만 표면을 3차원 스캔한 결과는 뼈와 연부 조직을 포함한 외형상의 아치의 높낮이와 전체적인 공간의 부피를 측정할 수 있다는 차이점이 있다. 본 연구에서 단순 방사선상의 지표들인 거골-제1 중족골간 각과 아치비율, 그리고 삼차원 스캔상의 아치 높이 사이에는 강한 상관관계를 나타내어서 단순 방사선상의 지표만으로도 아치 부피를 상당히 반영할 수 있다고 할 수 있을 것이다. 또한 삼차원 스캔상에서 5 mm 아치 높이와 10 mm 아치 높이는 상관관계수가 0.92로서 어느 평면을 이용하거나 거의 같은 의미가 있을 것이다.

환자군과 정상군 사이에 본 연구의 지표들이 차이가 있는가를 연구하는 이유는 발바닥의 어떤 특정 부위의 통증이

있는 환자가 어떤 발 형태를 가지는 경향성을 파악하여 신발과 깔창 제작에 참고하려는 의미도 있다. 발바닥의 압력과 각종 방사선학적인 지표들과 관절 운동 각도들과 같은 예측 가능한 측정치들을 모두 종합하여도 족저 압력을 50% 밖에 예측할 수 없다는 보고⁸⁾가 있지만, 저자들은 아치가 높으면 바닥면과 접촉하는 면적이 좁아서 단위 면적당의 압력이 증가하므로 전족부 통증 등과 연관성이 있을 가능성이 있어서 이 연구를 하였다. 높이와 부피가 통증 부위에 따라서 차이가 있다면 환자에게 깔창을 만들어줄 때 아치 부분의 높이와 부피를 통증 부위에 따라서 다르게 만들어야 한다는 근거가 될 수 있다고 생각하였고, 중족골 통증이 있는 환자 군에서는 아치의 지표들이 정상에 비하여 높을 가능성이 있다고 생각하였으나 결과는 각 군 간에 차이가 없었다. 뒤꿈치 통증 환자에서 아치가 정상보다 낮다는 보고⁹⁾가 있으며, 정상군과 뒤꿈치 바닥 통증 환자군에서 성별을 구분하여 분석하면 유의한 차이가 있다는 보고⁷⁾가 있다. 이번 연구에서는 방사선 측정치와 삼차원 스캔을 이용한 측정치에서 모두 유의한 차이가 없다는 결과를 얻었다. 이번 연구는 삼차원 스캔을 한 경우만을 대상으로 분석하였으므로 대상자의 숫자가 적어서 성별을 구분하여 분석하지 못한 것이 이와 같이 차이가 없다는 결과가 나온 원인일 가능성이 있다. 각 군 간에 통계적인 유의성이 없다는 사실도 중요하지만, 각각의 측정치들이 정규 분포를 하기 때문에 각각의 군에서 측정치가 큰 사람, 작은 사람 등이 있을 수 있다는 의미이며 일정하게 작거나 큰 경향이 있는 것은 아니라는 것도 중요한 의미가 있다. 본 연구의 문제점은 체중과 연령에 따른 종아치 변화의 가능성을 고려하지 않았다는 점, 성별을 구분하지 않았다는 점, 연구 대상자의 수가 적다는 점들을 들 수 있을 것이다.

체중을 고려하지는 않았으나 발길리와 볼너비(ball width)가 남녀 모두에서 키와 상관관계가 있다는 보고¹¹⁾가 있어서 신장을 표준화하여 신장이 170 cm로 표준화한 상태에서 발길리를 표준화하여 아치 높이를 분석하였다. 특히 성별에 따라서 발의 여러 가지 측정치들이 다르다는 보고들^{5,11)}이 있으므로 향후에는 성별, 연령, 체중 등을 고려하여 다수를 대상으로 연구하여야 더욱 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것이라고 사료된다.

결 론

본 연구에서는 정상인과 전족부 통증 환자 군, 뒤꿈치 통증 환자군 사이에 내측 종아치의 높이와 부피에 차이가 없다는 결과를 얻었으며, 향후에 더 많은 대상자를 성별,

연령, 체중 등에 따라서 세분하여 연구하여야 더욱 의미 있는 결론을 내릴 수 있을 것이라고 판단한다.

REFERENCES

1. **Baba K:** *Foot measurement for shoe construction with reference to the relationship between foot length, foot breadth and ball girth. J Hum Ergol (Tokyo), 3: 149-156, 1974.*
2. **Bergmann JN:** *The Bergmann foot scanner for automated orthotic fabrication. Clin Podiatr Med Surg, 10: 363-375, 1993.*
3. **Kim S, Yang DC, Kim MJ, et al:** *Three Dimensional Analysis of the Medial Longitudinal Arch of Foot. J Korean Acad Rehab Med, 28: 469-476, 2004.*
4. **Lee BK:** *Development of 3-D measurement system for shoe industry. Master Thesis, Graduate School, Seoul National University, 2003.*
5. **Lee WJ, Lee DK, Jang SH, Lee SG and Park SB:** *Gender differences in adult foot shape with 3D Foot Scanner. J Korean Acad Rehab Med, 30: 626-631, 2006.*
6. **Mochimaru M, Kouchi M and Dohi M:** *Analysis of 3-D human foot forms using the free form deformation method and its application in grading shoe lasts. Ergonomics, 43: 1301-1313, 2000.*
7. **Moon HT, Moon JS and Lee WC:** *A radiographic analysis of the feet in heel pain. J Korean Foot Ankle Soc, 9: 9-12, 2005.*
8. **Morag E and Cavanagh PR:** *Structural and functional predictors of regional peak pressures under the foot during walking. J Biomech, 32: 359-370, 1999.*
9. **Prichasuk S and Subhadrabandhu T:** *The relationship of pes planus and calcaneal spur to plantar heel pain. Clin Orthop Relat Res, 306: 192-196, 1994.*
10. **Smith KE, Commean PK, Robertson DD, Pilgram T and Mueller MJ:** *Precision and accuracy of computed tomography foot measurements. Arch Phys Med Rehabil, 82: 925-929, 2001.*
11. **Wunderlich RE and Cavanagh PR:** *Gender differences in adult foot shape: implications for shoe design. Med Sci Sports Exerc, 33: 605-611, 2001.*