

무지 외반증 각변형에 대한 디지털영상의 전산화 계측: 100%와 150% 확대영상에서의 계측비교

한양대학교 의과대학 정형외과학교실

성일훈 · 이두연 · 성장호 · 서우영

Computerized Measurement on Angular Parameters for Hallux Valgus: Comparison of 100% and 150% Magnified Digital Radiography

Il-Hoon Sung, M.D., Doo-Yeon Lee, M.D., Chang-Ho Sung, M.D., Woo-Young Seo, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Hanyang University College of Medicine, Seoul, Korea

=Abstract=

Purpose: To study computerized measurements of angular parameters on 100% and 150% resized digital radiography of hallux valgus deformity

Materials and Methods: 30 digital radiography of standing foot anteroposterior view of hallux valgus patients were included. Two observers(A, B) independently measured hallux valgus angle (HVA), 1-2 intermetatarsal angle (IMA), and distal metatarsal articular angle (DMAA) in two times on both 100%-size and 150% magnified images respectively, using computerized measurement software tools. The results were interpreted with the statistical software program, Statistical Analysis System, version 9.2.

Results: In repeated measurements of each observer, measurements on 150% magnified image showed no differences of all three parameters and with 100%-size image, there were differences of HVA (observer A) and 1-2 IMA (observer B) ($p > 0.05$). When testing interobserver reliability, both observers showed differences in measurement of HVA and DMAA ($p < 0.05$), but no differences in measurement of 1-2 IMA in both images. Within the 95% confidence interval, limits of error of measurements between two observers on HVA, IMA and DMAA were 2.7°, 1.4° and 5.0° respectively in 100%-size images, and 2.6°, 1.6° and 4.7° respectively in 150% magnified images.

Conclusion: In computerized measurements for angular parameters of hallux valgus with digital radiography, 150% magnified images showed intraobserver reliability. Both 100% and 150% magnified images failed to show interobserver reliability. Measurement of 1-2 IMA in both 100% and 150% images showed less interobserver error.

Key Words: Hallux valgus, Angular parameters, Computerized measurement

Received: January 15, 2012 Revised: January 30, 2012

Accepted: February 14, 2012

• **Doo-Yeon Lee, M.D.**

Department of Orthopaedic Surgery, Hanyang University Hospital, College of Medicine, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-792, Korea
Tel: +82-2-2290-8476 Fax: +82-2-2299-3774
E-mail: sungih@hanyang.ac.kr

* 본 연구는 산업체지원연구(한양대학교 과제번호:200900000001868)임.

서 론

방사선 영상의 계측에 의한 무지 외반증의 변형각의 정도는 수술 방침의 결정 요인 중 하나이지만¹⁻³⁾ 고전적 또는 디지털 영상 계측에서 측정의 오차가 보고되어 있다.⁴⁾ 디지털 영상은 영상을 확대하는 방법론적인 차이는 있으나 필

요에 따라 영상을 확대를 할 수 있으며 확대 영상에서 피사체의 선 구분이 용이하여 판독에 도움을 줄 수 있다는 보고가 있다.⁵⁾ 확대된 영상은 무지 외반증 변형각 정도의 측정 기준 참고점(reference point) 설정에 필요한 골경계선 및 관절면의 구분을 용이하게 할 수 있으므로 디지털 영상의 크기가 계측 값에 영향을 있을 것이라는 가정하에 저자들은 컴퓨터를 이용하여 디지털 영상을 두 가지 크기로 달리 하여 무지 외반각, 제1-2 중족골간 각 및 중족골 원위 관절면 각을 계측하여 연구하였다.

대상 및 방법

2006년 1월부터 2008년 12월까지 본원에 내원한 환자 중 제1 중족골에 사선 절골술을 시행 받았던 중등도 또는 고도의 무지 외반증 30족의 체중부하 족부 전후면 디지털 영상을 대상으로 연구하였다. 원위 중족골 절골술 또는 다



Figure 1. Digitalized image of standing foot anteroposterior view on the Picture Archiving and Communication System program, π -viewer[®] (5.0.9.81 version, Infinitt health corporation).

른 방식의 절골술을 시행 받았거나 류마티스 관절염이나 족부의 외상 또는 수술적 치료의 과거력이 있는 환자의 영상은 연구 대상에서 제외하였다.

각도의 측정은 Wide사의 의학 진단 모니터(medical diagnostic monitor, model No. PGL21; 해상도,1536×2048)에서 디지털영상을 의료영상 저장전송 시스템(picture archiving and communication system, PACS)용 소프트웨어인 π -viewer[®] (5.0.9.81 version, Infinitt healthcare corporation)에 제공된 각 계측 및 중선(bisecting line) 그리기 도구를 이용하였다(Fig. 1). 본 연구에서 무지 외반각, 제1-2 중족골간 각의 측정은 2002년 Coughlin 등⁶⁾이 연구하여 보고한 방법을 참조하여 측정 기준 참고점을 중족골의 원위 관절면 및 근위 관절면으로부터 1.5 cm 지점에서, 근위 족지골에서도 같은 방법으로 0.75 cm 지점에서 측정하였으며 중족골 원위 관절면의 측정 기준 참고점은 Coughlin과 Jones⁷⁾이 2007년 보고한 방법을 이용하였다.

PACS용 소프트웨어인 π -viewer[®]에 내장된 영상 확대 도구로 디지털 영상 크기를 조절할 때, 0.5 배수의 확대가 비교적 용이하며 영상을 2배 이상으로 확대하면 모니터상에서 영상을 한 화면에 표시할 수 없어서 여러 가지 각도를 계측 하기에 매우 불편하므로 체중부하 족부 전·후면 디지털 사진을 모니터상에서 실제 족부의 크기와 같은 크기(100%)로 조절한 영상 및 이를 150% 확대한 영상을 이용하였다(Fig. 2). 계측은 관찰자가 모니터상의 디지털 영상에 기준 참고점을 표시하면 내재된 소프트웨어상의 도구들 중에서 자동으로 중선이 표시되는 도구와 각도 계측 도구를 이용하여 무지 외반각, 제1-2 중족골간 각 및 중족골 원위 관절면 각을 측정하였다. 이를 한 명의 관찰자(A) 및 다른 독립된 관찰자(B)가 일주일 간격으로 2회에 걸쳐 각각의 각도를 반복 계측하였다. 100%와 150% 확대 영상에서

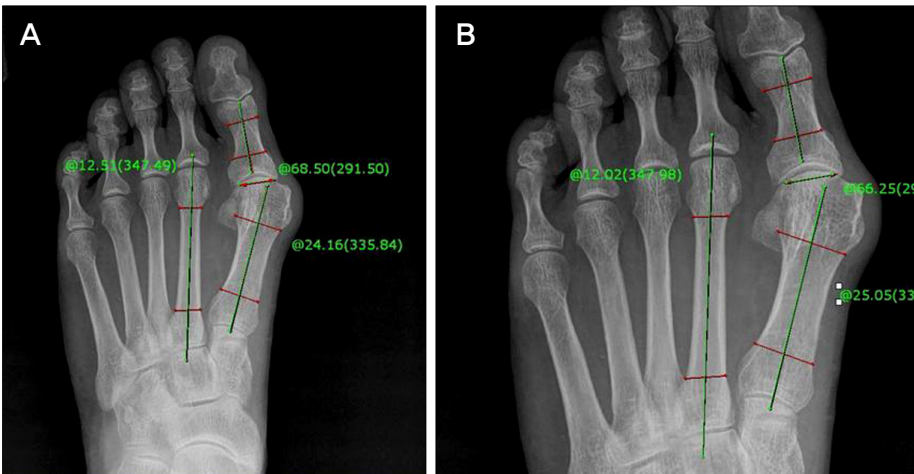


Figure 2. Computerized measurements of HVA, 1-2 IMA and DMAA with 100% (A) and 150% (B) sized images. HVA, hallux valgus angle; IMA, intermetatarsal angle; DMAA, distal metatarsal articular angle.

각각 관찰자에서 2회 반복 측정값으로 관찰자 내 측정 결과를 비교 평가하였고 관찰자 간의 비교는 각 관찰자가 2회 반복한 측정값의 평균값으로 평가하였다. SAS (statistical analysis system) version 9.2[®] (SAS institute) 이용하여 계측치가 정규분포를 따르는 경우 paired *t*-test, 정규분포를 따르지 않는 경우에는 Wilcoxon signed-rank test를 통해 통계학적 분석을 하였다.

결 과

1. 관찰자내 측정결과 비교

관찰자 A의 무지 외반각에 대한 반복 측정결과는 100% 크기 영상에서 계측한 무지 외반각만이 반복 계측값의 비교에서 통계적으로 차이를 보였고($p=0.04$) 150% 확대 영상에서는 어느 계측값도 반복측정에 차이를 보이지 않았다($p>0.05$, Table 1).

관찰자 B의 무지 외반각의 반복 계측결과는 100% 족부 크기의 영상으로 계측한 제1-2 중족골간 각만이 반복 계측에서 차이를 보였고($p=0.01$) 150% 확대 영상에서는 관찰자 A에서와 같이 어느 계측값도 반복 측정에서 계측의 차

이가 없었다($p>0.05$, Table 2).

2. 관찰자 간 측정결과 비교

관찰자 간 측정값의 비교에서는 100% 크기의 영상과 150% 확대 영상 모두에서 무지 외반각과 중족골 원위 관절면 각은 관찰자 간의 차이가 있었고($p<0.05$) 제1-2 중족골간 각은 관찰자 간 비교에 계측 차이가 없었다($p>0.05$, Table 3).

관찰자 간의 측정 비교에서 100% 크기 영상에서의 오차 범위 한계는 무지 외반각, 제1-2 중족골간 각과 중족골 원위 관절면 각이 각각 2.7°, 1.4°와 5.0°이었고 150% 영상에서는 각각 2.6°, 1.6°와 4.7°이었다.

고 찰

디지털화된 영상 데이터는 컴퓨터와 해당 영상 데이터를 처리하는 프로그램을 통해 길이, 각도 등의 측정이 용이하며 또한 이상부위를 확대하여 관찰할 수 있기 때문에 영상의 가시성을 조절할 수 있으며 영상의 명암이나 대조를 강조하는 등의 다양한 편의성이 제공 된다.^{6,9)} 이러한 특징으

Table 1. The Results of Statistical Analysis for the Repeated Measurement of Observer A

Variable	1 st (n=30)	2 nd (n=30)	1 st measurement-2 nd measurement (n=30)	Confidential interval	p-value
	mean±SD				
HVA (100% size image)	36.64±8.00	37.96±9.66	-1.32±4.43	3.3	0.044 [†]
IMA (100% size image)	17.66±2.47	17.50±2.77	0.16±1.67	1.2	0.604 [*]
DMAA (100% size image)	16.43±6.84	15.93±6.95	0.50±2.95	2.2	0.365 [*]
HVA (150% size image)	37.00±8.00	36.98±8.84	0.02±2.32	1.7	0.681 [†]
IMA (150% size image)	17.33±2.53	17.35±2.54	-0.02±1.14	0.9	0.912 [*]
DMAA (150% size image)	15.14±5.89	15.13±5.92	0.02±2.42	1.8	0.970 [*]

HVA, hallux valgus angle; IMA, intermetatarsal angle; DMAA, distal metatarsal articular angle.

*Paired *t*-test; [†]Wilcoxon signed-rank test.

Table 2. The Results of Statistical Analysis for the Repeated Measurement of Observer B

Variable	1 st (n=30)	2 nd (n=30)	1 st measurement-2 nd measurement (n=30)	Confidential interval	p-value
	mean±SD				
HVA (100% size image)	34.80±8.60	35.38±8.84	-0.59±1.58	1.2	0.052 [*]
IMA (100% size image)	17.21±2.19	17.72±2.10	-0.51±1.02	0.8	0.011 [*]
DMAA (100% size image)	18.87±5.73	18.74±5.51	0.13±1.66	1.2	0.975 [†]
HVA (150% size image)	34.71±8.03	35.16±8.11	-0.45±1.48	1.1	0.108 [*]
IMA (150% size image)	17.67±2.06	18.07±2.57	-0.39±1.44	1.1	0.146 [*]
DMAA (150% size image)	18.17±6.26	17.98±5.79	0.19±1.76	1.3	0.559 [*]

HVA, hallux valgus angle; IMA, intermetatarsal angle; DMAA, distal metatarsal articular angle.

*Paired *t*-test; [†]Wilcoxon signed-rank test.

Table 3. The Statistical Analysis for the Results of Measurement between A and B

Variable	Average of 1 st measurement and 2 nd measurement			Confidential interval	p-value
	Observer A (n=30)	Observer B (n=30)	Observer A-Observer B's measurement (n=30)		
	mean±SD				
HVA (100% size image)	37.30±8.59	35.09±8.69	2.21±3.66	2.7	0.003*
IMA (100% size image)	17.58±2.49	17.47±2.09	0.12±1.87	1.4	0.734*
DMAA (100% size image)	16.18±6.73	18.81±5.56	-2.63±6.73	5.0	0.041 [†]
HVA (150% size image)	36.99±8.35	34.93±8.04	2.06±3.52	2.6	0.001*
IMA (150% size image)	17.34±2.47	17.87±2.22	-0.53±2.10	1.6	0.175*
DMAA (150% size image)	15.14±5.78	18.07±5.96	-2.94±6.28	4.7	0.016*

HVA, hallux valgus angle; IMA, intermetatarsal angle; DMAA, distal metatarsal articular angle.

*Paired t-test; [†]Wilcoxon signed-rank test.

로 인해 디지털 영상에서의 계측 시 관찰자가 적절한 계측 선을 표시할 수 있을 때까지 쉽게 수정을 할 수가 있으며 방사선이 투과되었던 음영 지수를 조정할 수 있고 이를 통해 골경계선을 보다 명확히 할 수 있어 필름 영상의 계측보다 이론적으로 용이하다는 보고가 있다.⁸⁻¹⁰⁾

무지 외반증에서는 방사선학적으로 계측된 무지 외반각 및 제1-2 중족골간 각의 조합으로 분류된 중증도와 더불어 최근 중족골 원위 관절면 각 또한 수술의 방침을 결정하는 요소로 고려되는 대상이지만¹¹⁻¹³⁾ 이들 각도 계측에서 다양한 정도의 오차가 있음이 보고되어 있다.^{4,6,9)} 디지털 영상에서의 계측은 필름 영상의 계측과는 달리 각도기와 펜을 이용하지 않고 내장된 소프트웨어를 이용하여 디지털 방식의 측정을 할 수 있다. 또한 영상을 확대시키면 영상 자체의 세밀함은 줄어들지만 영상을 이루는 픽셀의 크기를 확대시킬 수 있고 디지털 영상의 대조를 조절할 수 있으며 참고점을 설정하는 픽셀 크기는 일정하게 유지되므로 영상크기의 차이는 무지 외반증의 변형각 계측값에 영향이 있을 것이라는 가정하에 저자들은 크기를 달리한(100%와 150%) 디지털 영상에서의 계측값을 비교하였다.

관찰자내 반복계측에 대한 재현성의 검증에서는 100% 크기의 영상에 한해서 관찰자 A는 무지 외반각 측정에서, 관찰자 B의 경우에는 제1-2 중족골간 각의 측정에 있어서 차이를 보였으므로 이들 각도는 관찰자내 반복 측정의 재현성이 없다. 이는 컴퓨터를 이용한 이전의 계측 연구¹⁴⁾에서 서로 다른 관찰자가 관찰자내에서의 반복 측정값의 재현성이 모두 확보되지 않는 한, 이를 조합하는 분류 자체의 신뢰성을 획득할 수 없다고 해석하였던 것과 유사한 결과이다. 150% 확대 영상으로 반복 측정한 비교 결과에서는 두 관찰자 모두에서 모든 각도의 반복 측정에 통계적으로 계측값이 차이가 없는 신뢰성이 있으므로 임상적으로 중증도 분류에는 150% 확대 영상 이용하는 것이 100% 크기의

디지털영상보다 관찰자 내의 재현성이 있는 분류를 할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 디지털 영상 크기에 따라서 그리고 관찰자를 달리하여 서로 다른 변형각에서 계측값이 차이를 보이는 점을 고려한다면 각도 측정 방법상의 잠재적 오류뿐만이 아니라 영상 크기의 표준화에 대한 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

관찰자 간의 비교에 있어서는 영상의 크기가 별 의미 있는 영향이 없었으나 100% 크기의 영상 및 150% 확대 영상 모두에서 제1-2 중족골간 각의 경우에는 영상의 크기와 상관없이 관찰자 간 계측의 신뢰도가 있었고 그와는 달리 무지 외반각과 중족골 원위 관절면 각은 영상크기와 관련 없이 이들 각도는 컴퓨터 계측으로 관찰자 간 계측의 신뢰성이 없었다. 이 결과는 무지 외반각과 중족골 원위 관절면 각을 측정할 때 측정 방법상의 관찰자 간 오류의 개선이 요구된다고 할 수 있다.

95%의 신뢰 구간에서 오차범위의 한계에 대한 검증에서는 무지 외반각의 경우 100% 크기의 영상 및 150% 확대 영상에서 2.7°와 2.6°로서 Schneider 등¹⁵⁾과 Panchbhavi와 Trevino¹⁶⁾가 컴퓨터를 이용한 무지 외반각을 측정한 보고에서 5°가 오차의 한계로 제시된 것과 비교하여 보았을 때, 단순 비교의 제한점을 감안하더라도 본 연구의 측정결과는 100% 및 150% 크기의 영상 모두에서 오차의 범위가 비교적 줄어든 것으로 생각된다. 제1-2 중족골간 각의 경우에도 오차의 범위가 각각 1.4° 및 1.6°이므로 기존에 발표되었던 보고¹⁵⁾에서의 오차범위 3.6°보다 작은 것으로써 이 각도의 관찰자 간 오차범위도 향상이 된 것으로 생각된다. 이는 중증도 분류에 있어 무지 외반증의 변형각의 정도가 경계값에 존재하는 경우에 관찰자에 따라 오차범위 내에서 분류가 바뀔 수 있으므로¹⁷⁾ 이런 부분에서의 오류를 줄일 수 있을 것이라 생각된다. 그러나 중족골 원위 관절면 각의 경우에는 관찰자 간 오차범위의 한계가 각각 5.0° 및 4.7°이었던

으며 이는 오차의 범위가 허용하기에 여전히 큰 것으로 생각된다.

변형각 측정에 있어서 참값을 알 수 있다거나 계측 오차를 없앨 수 있는 것이 아니므로 관찰자내와 관찰자 간 신뢰성을 확보한 상태에서 측정 오차범위를 최소화하는 것이 관건이라고 할 수 있다. 본 연구에서 확대 영상의 경우 관찰자내 검증에는 신뢰성이 있었고 반면에 관찰자 간 신뢰도는 없는 양상으로 나타나는 것을 감안한다면 관찰자 간에서 발생할 수 있는 계측과정에서의 방법상의 잠재적 오류가 가장 먼저 해결되어야 될 문제로 생각된다. 각도 측정 소프트웨어 도구의 정밀성의 부족과 기준 참고점에 설정에 관한 일관성 결여와 같은 측정과정상의 문제점을 해소하기 위하여 향상된 계측 프로그램 및 개선된 참고점 설정 방법의 제시에 대한 추가연구가 필요할 것이다.

결 론

무지 외반증 환자의 디지털 영상을 이용하여 무지 외반각, 제1-2 중족골간 각 및 중족골 원위 관절면 각을 서로 다른 크기(100%와 150%)의 영상에서 비교 계측하였을 때, 150% 확대 영상은 100% 크기 영상에 비하여 관찰자내 반복측정에는 보다 신뢰성이 있었다. 관찰자 간 검증에서는 두 가지 크기의 영상 모두 제1-2 중족골간 각만이 관찰자 간 신뢰성이 있었으나 영상 크기의 차이는 관찰자 간 검증에서는 영향이 없었다. 영상 크기와 관계없이 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각의 계측 오차범위의 향상이 있었었지만 계측 오차를 보다 줄일 수 있는 측정 방법을 개발하려는 다양한 시도가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. **Bordelon RL.** Evaluation and operative procedures for hallux valgus deformity. *Orthopedics*. 1987;10:38-44.
2. **Coughlin MJ, Mann RA, Saltzman CL.** *Surgery of the foot and ankle*. 8th ed. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2007. 183-362.
3. **Mann RA.** *Bunion surgery: decision making*. *Orthopedics*. 1990;13:951-7.
4. **Piqué-Vidal C, Maled-García I, Arabi-Moreno J, Vila J.** Radiographic angles in hallux valgus: differences between measurements made manually and with a computerized program. *Foot Ankle Int*. 2006;27:175-80.
5. **Hur G, Hwang YJ, Cha SJ, Kim SY, Kim YH.** Optimization of digital mammography resolution using magnification technique in computed radiography. *J Korean Radiol Soc*. 2004;50:447-52.
6. **Coughlin MJ, Saltzman CL, Nunley JA 2nd.** Angular measurements in the evaluation of hallux valgus deformities: a report of the ad hoc committee of the American Orthopaedic Foot & Ankle Society on angular measurements. *Foot Ankle Int*. 2002;23:68-74.
7. **Coughlin MJ, Jones CP.** Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int*. 2007;28:759-77.
8. **Pisano ED, Cole EB, Hemminger BM, et al.** Image processing algorithms for digital mammography: a pictorial essay. *Radiographics*. 2000;20:1479-91.
9. **De Carvalho A, Vialle R, Thomsen L, et al.** Reliability analysis for manual measurement of coronal plane deformity in adolescent scoliosis. Are 30 x 90 cm plain films better than digitized small films? *Eur Spine J*. 2007;16:1615-20.
10. **Van Vo H, Safiedine AM, Short T, Merrill T.** A comparison of 4 common methods of hand-measured techniques with a computerized technique to measure the first intermetatarsal angle. *J Foot Ankle Surg*. 2004;43:395-9.
11. **Lin JS, Bustillo J.** Surgical treatment of hallux valgus: a review. *Curr Opin Orthop*. 2007;18:112-7.
12. **Bargman J, Corless JR, Gross AE, Lange F.** A review of surgical procedure for hallux valgus. *Foot Ankle*. 1980;1:39-43.
13. **Coughlin MJ, Roger A.** Mann Award. Juvenile hallux valgus: etiology and treatment. *Foot Ankle Int*. 1995;16:682-97.
14. **Kang CN, Choi KI, Lee DY, Sung IH.** The computerized measurement for the radiological severity of hallux valgus. *J Korean Foot Ankle Soc*. 2009;13:1-6.
15. **Schneider W, Csepan R, Kasperek M, Pinggera O, Knahr K.** Intra- and interobserver repeatability of radiographic measurements in hallux surgery: improvement and validation of a method. *Acta Orthop Scand*. 2002;73:670-3.
16. **Panchbhavi VK, Trevino S.** Comparison between manual and computer-assisted measurements of hallux valgus parameters. *Foot Ankle Int*. 2004;25:708-11.
17. **Resch S, Ryd L, Stenström A, Johnsson K, Reynisson K.** Measuring hallux valgus: a comparison of conventional radiography and clinical parameters with regard to measurement accuracy. *Foot Ankle Int*. 1995;16:267-70.