

디지털 영상을 이용한 무지 외반증 변형각 측정에서 서로 다른 두 계측 방법의 비교

한양대학교 의과대학 정형외과학교실, 홍익병원 정형외과*, 힘찬 병원 정형외과†, 메디힐 병원 정형외과‡, 선한 목자 병원 정형외과§
성일훈 · 김기천* · 성창호 · 서우영† · 이두연‡ · 조영아§

Comparison of Angle Measurements on Hallux Valgus with Two Different Methods Using Digital Images

Il-Hoon Sung, M.D., Ki Chun Kim, M.D.*, Chang-Ho Sung, M.D., Woo-Young Seo, M.D.†, Doo-Yeon Lee, M.D.‡, Young A Cho, M.D.§

Department of Orthopaedic Surgery, Hanyang University College of Medicine, Seoul, Korea, Department of Orthopaedic Surgery, Hongik General Hospital*, Department of Orthopaedic Surgery, Himchan Hospital†, Department of Orthopaedic Surgery, Mediheal Hospital‡, Department of Orthopaedic Surgery, Good Shepherd Hospital§

=Abstract=

Purpose: To study inter- and intra-observer reliabilities of computerized measurements of the angular parameters of hallux valgus deformity, using two different kinds of software tools for angle measurement on the digital radiography.

Materials and Methods: On 35 digital radiographies of standing foot anteroposterior view of hallux valgus, two observers (A, B) independently measured hallux valgus angle (HVA) and 1-2 intermetatarsal angle (IMA₁₋₂) twice, using two methods. In method I, an angle was determined from duplicated lines to longitudinal axes made for bisecting line on the target bones with software tool. In method II, an angle was calculated automatically and directly from bisecting lines (longitudinal axes) made on the target bones. We compared two methods using paired t-test to determine significance of differences. Inter- and intra-observer reliabilities were evaluated using the intraclass correlation coefficients (ICC).

Results: There were no significant differences between measurements of method I and II for each observer ($p>0.05$) and intraobserver reliability were good. ($ICC>0.9$) Inter-observer reliability for method I and II was good of the HVA (ICCs, 0.912 and 0.905) and moderate of the IMA₁₋₂ (ICCs, 0.505 and 0.537). There were interobserver differences in HVA of method I and II.

Conclusion: No significant difference was found statistically between measurements of method I and II. Both methods I and II would be acceptable to measure angular parameters of hallux valgus deformity.

Key Words: Hallux valgus, Angular parameters, Computerized measurement, Different software tools

Received: January 20, 2013 Revised: February 7, 2013
Accepted: February 14, 2013

• **Corresponding Author: Ki Chun Kim, M.D.**
Department of Orthopaedic Surgery, Hong Ik General Hospital,
899-1, Sinjeong 4-Dong, Yangcheon-gu, Seoul, Korea
Tel: +82-2-2693-5555 Fax: +82-2-2697-4605
E-mail: 711000e@naver.com

서 론

무지 외반각(Hallux valgus angle, HVA) 및 제1-2 중족골간 각(first intermetatarsal angle, IMA₁₋₂)과 같은 무지 외반증 변형각의 계측 시 디지털 측정이 수

기 측정보다 우수하다고 보고되어 있다.¹⁻³⁾ 디지털 영상에서의 각도 측정은 소프트웨어에 내장된 도구에 따라서 측정 방식이 다양할 수 있으며 이에 따른 측정 결과에 차이가 발생할 수 있다. 즉 각도 측정에 필요한 선을 구현하는 소프트웨어와 그 선으로부터 각을 측정하는 소프트웨어가 상이하면 측정에 필요한 선을 생성시킨 후 각 측정을 위해 중첩된 선을 만들면서 오차가 발생할 수 있다. 이에 저자들은 인접한 두 장골의 기준 참고점을 지정하면 자동으로 두 장골의 중축 생성 및 중축간 각이 측정되는 도구를 개발하여 측정한 무지 외반각 및 제1-2 중족골간 각과 중축에 수동으로 중첩하여 측정한 각 사이의 차이에 대한 연구를 하였다.

대상 및 방법

중등도 또는 고도의 무지 외반증 35족의 수술 전 체중 부하 족부 전후면 디지털 영상을 대상으로 연구하였다. 각도의 측정은 Wide사의 의학 진단 모니터(medical diagnostic monitor, model No.: PGL21, 해상도: 1536*2048)에서 디지털 영상을 의료 영상 저장 전송 시스템(PACS [Picture Archiving and Communication System])용 의료영상 프로그램인 π -viewer[®] (5.0.9.81 version, Infinitt healthcare corporation)와

이에 내장된 소프트웨어 도구(software tool)를 이용하였다. 측정의 용이함과 오차를 줄이기 위하여 PACS 용 의료영상 프로그램인 π -viewer[®]에 내장된 영상확대 도구를 이용하여 150% 확대 영상을 이용하였다.⁴⁾ 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각을 측정하였으며 2002년 Coughlin 등이 연구하여 보고한 방법⁵⁾을 참조하여 측정 기준 참고점을 해당 중족골의 인접 관절면으로부터 1.5 cm 떨어진 지점에서 관절면에 평행한 선을 연장했을 때 만나는 내외측 피질골의 외연으로 하였다. 근위 족지골에서도 같은 방법으로 0.75 cm 지점에 설정하였다.

150% 확대 디지털 영상에 측정 기준 참고점을 표시하면 중선이 표시되는 도구와 그 중선들 위에 다시 수동으로 선을 생성하여 각도가 측정되는 도구를 이용한 측정(Fig. 1)과 기준 참고점을 지정하면 중선이 표시되면서 각도가 자동 측정되는 도구를 이용하여 측정(Fig. 2)을 시행하였다. 전자로 측정되는 각을 측정 I 각으로, 후자를 이용하여 측정되는 각을 측정 II 각으로 하여 비교하였다. 관찰자 2명이 일주일 이상의 간격으로 2회에 걸쳐 무지 외반각, 제1-2 중족골간 각에 대해 각각 측정 I 각과 측정 II 각을 반복 측정하였다. 각각 관찰자에서 2회 반복 측정 평균값을 이용하여 측정 I 각과 측정 II 각의 범위와 paired T-test로 유의성을 분석했

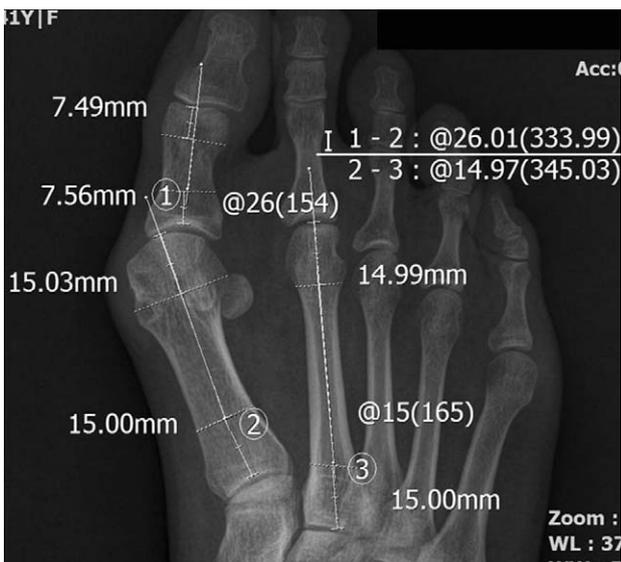


Figure 1. A line is drawn to bisect the shaft of the proximal phalanx at two levels, with pointing the 4 spots of cortices. A line is also drawn on 1st metatarsal by the same usage. Angle I was measured automatically.



Figure 2. Duplicated lines (①, ②) were drawn to determine angle II on HVA. IMA₁₋₂ was also measured by same tool.

다. 두 가지 방법으로부터 각각 측정된 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각에서의 평균 차이를 계산하였고 관찰자내, 관찰자간 일치도는 각 관찰자의 계측 I 각과 계측 II 각의 2회 반복 측정 평균값으로 급내 상관 (intraclass correlation coefficients (ICC))을 이용하여 분석하였으며 불량(0.00-0.39), 보통(0.40-0.74), 우수(0.75-1.00)으로 구분하였다.⁶⁾

결 과

관찰자 A, B가 무지 외반각, 제1-2 중족골간 각에 대해 측정한 계측 I 과 계측 II 방법은 paired T-test 결과 모두 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

관찰자내 일치도의 결과는 관찰자 A, B 모두에서 무지 외반각에 대한 계측 I과 II 방법의 일치도 (ICC=0.998와 0.996)와 제1-2 중족골간각에 대한 계측 I과 II 방법에 대한 일치도(ICC=0.991와 0.969)는 모두 ‘우수’ 하였다(Table 1).

관찰자간 일치도는 무지 외반각의 계측 I과 계측 II

방법에서 ‘우수’ 이었고(ICC=0.905와 0.912), 제1-2 중족골간 각의 계측 I 각과 계측 II 각은 ‘보통’ 이었다 (ICCs=0.505와 0.537). 관찰자간 무지 외반각의 측정 차이는 계측 I 각과 계측 II 각 모두에서 의의가 있었으며 제1-2 중족골간 각에서는 계측 I 각과 계측 II 각 모두 차이가 없었다(Table 2).

관찰자 A가 두 가지 방법간에서 보였던 무지 외반각에서의 차이는 각각 평균 0.46° 이었고 제1-2 중족골간 각에서는 0.26°이었으며 관찰자 B는 각각 평균 0.53°과 0.61°였다(Table 2).

고 찰

무지 외반각 및 제1-2 중족골간 각은 무지 외반증에서 치료 방향을 결정하는 데 있어 주요 요소 중 하나이다. 여러 측정 방법이 존재하나 2002년 Coughlin 등⁵⁾이 미국 족부 족관절 학회(American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS)) 특별 위원회에서 제시한 지침이 주로 임상 및 연구에 이용되고 있다. 본

Table 1. The Results of Statistical Analysis for the Repeated Measurements of Observer A and B (Mean ± Standard deviation)

Observer	Variable	Method I [†]	Method II [§]	95% Confidence interval	ICC (p-value)
A	HVA*	32.85 ± 8.27	32.71 ± 8.23	0.995-0.999	0.998 (0.157)
	IMA ₁₋₂ [†]	15.43 ± 2.29	15.34 ± 2.37	0.981-0.995	0.991 (0.127)
B	HVA*	34.33 ± 7.76	34.17 ± 7.83	0.993-0.998	0.996 (0.172)
	IMA ₁₋₂ [†]	16.19 ± 2.94	16.24 ± 3.02	0.939-0.984	0.969 (0.689)

* HVA: hallux valgus angle, [†] IMA₁₋₂: first intermetatarsal angle, [‡] Method I: angles from manually over-drawn (duplicated) lines to longitudinal axes, [§] Method II: angles, automatically measured from bisection lines (longitudinal axes), ^{||} ICC: intraclass correlation coefficient

Table 2. The Statistical Analysis for the Results of Measurements between Observer A and B (Mean ± Standard deviation)

Variable		Observer A	Observer B	95% Confidence interval	ICC	p-value
HVA*	Method I [‡]	32.85 ± 8.27	34.33 ± 7.76	0.796-0.954	0.905	0.011
	Method II [§]	32.71 ± 8.23	34.17 ± 7.83	0.807-0.958	0.912	0.009
	I-II [¶]	0.46 ± 0.32	0.53 ± 0.42			
	(Range)	(0.0-1.7)	(0.0-1.7)			
IMA ₁₋₂ [†]	Method I [‡]	15.43 ± 2.29	16.19 ± 2.94	0.259-0.734	0.537	0.078
	Method II [§]	15.34 ± 2.37	16.24 ± 3.02	0.219-0.713	0.505	0.052
	I-II [¶]	0.26 ± 0.19	0.61 ± 0.44			
	(Range)	(0.0-0.7)	(0.0-2.2)			

* HVA: hallux valgus angle, [†] IMA₁₋₂: first intermetatarsal angle, [‡] Method I: angles from manually over-drawn (duplicated) lines to longitudinal axes, [§] Method II: angles, automatically measured from bisection lines (longitudinal axes), ^{||} ICC: intraclass correlation coefficient, [¶] |I-II|: Differences between Method I and Method II

연구에서도 이 지침에 따라 연구를 시행하였다.

측정 방법 외에 컴퓨터의 발달로 디지털화된 영상의 신뢰도 및 정확도에 대한 고찰이 있었다.^{1,3)} 하지만 이는 고전적 연구와 같이 측정 방법에 대한 관찰자내 또는 관찰자간 오차 연구이며 측정법 오차에 대한 연구는 미미하다.

디지털화된 영상 자료는 내재된 소프트웨어 도구를 통해 길이나 각도의 측정뿐 아니라 원하는 부위의 영상에 대한 확대, 명암 조절 또는 수정이 용이하다.⁷⁻⁹⁾ 따라서 다양한 영상 자료가 디지털화될 경우 의료 영상 저장 전송시스템용 의료영상 프로그램에 있는 다양한 소프트웨어 도구를 이용하여 원하는 부위의 확대와 음영 조절을 통해 경계를 조정할 수도 있고 측정이 필요한 경우에는 필요한 측정선이 표시될 때까지 쉽게 수정하면서 반복 측정할 수 있다. 이런 장점으로 인해 디지털 영상의 측정이 전통적 방식으로 필름 영상을 측정한 것보다 이론적으로 용이하다는 보고가 있다.^{1,3,7,8)}

전통적으로 무지 외반증에서 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각은 수술 결정시 중요한 고려대상이지만 여러 저자들이 측정 시 다양한 정도의 오차를 보고하고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 전통적 필름 영상을 이용한 수기 측정에서는 근위 족지골, 중족골에서의 중축 중선(bisecting line) 생성을 위한 기준 참고점을 만들고 이를 이용하여 자와 연필로 측정선을 생성할 때와 각도기로 각을 측정할 때 모두 측정 오차가 발생할 수 있다. 의료용 디지털 영상 프로그램에서는 대개 각도 측정 도구가 있기 때문에 전통적 방법의 각도기 사용상의 측정 오차는 줄일 수 있으나 각도 측정 도구가 인식하는 중첩선을 그리는 과정에서 관찰자간 또는 관찰자내 오차가 발생할 수 있다. 즉 국내에서 현재 임상적으로 이용되고 있는 영상 저장 전송시스템용 의료 영상 프로그램에는 장골의 중축을 찾는 도구는 대개 포함하고 있으나 두 개의 장골 사이에 중축 중선이 정해져도 자동으로 각을 측정하는 각 측정 도구가 없는 경우에는 다시 각을 측정하는 도구를 사용하기 위하여 중축선 위에 중첩선을 그려 그 사이의 각을 측정하게 된다. 그러므로 중첩선을 그릴 때 기존의 선과 오차가 발생할 개연성이 있다. 더욱 자동화된 측정 도구를 사용하면 측정 오류가 덜 발생할 것이라는 가정하에 본 연구에서 저자들은 측정 기준 참고점을 지정하면 중선이 표시되면서 각도가 자동 측정되는 도구를 프로그램 개발자에게 의뢰하여 디지털 영상 프로

램에 추가 하여 두 방법으로 측정 결과를 비교하였다. 동일 관찰자가 측정하였던 두 가지 측정값 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았고 '우수'한 일치도를 보였고 또한 두 관찰자 사이에 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각의 측정 I 각과 측정 II 각의 일치도가 우수와 보통의 결과로써 관찰자간에서도 유사한 일치도를 보였다. 두 가지 측정방법의 비교로만 볼 때 통계적 지표는 두 방법이 유사한 패턴을 보임을 알 수 있다. 그러므로 장골의 중축을 구현하여 자동으로 각을 측정하는 측정 도구가 편리한 점은 있으나 측정 결과에서 일치도를 고려할 때 개발 비용 대비 유용성에는 의문이 있다.

이 연구에서 무지 외반각에 대한 관찰자간 차이가 크지 않지만(평균 1° 이내 및 최대 1.7° 이내) 유의한 차이가 있었던 점과 관찰자간 제1-2 중족골간 각에서 평균 1° 이내와 최대 2.2° 이내의 차이를 보이고 있음에도 일치도가 '보통'이었던 것은 측정 도구를 이용하는 방법, 측정의 숙련도 및 측정 기준 참고점의 위치 선정 등에 관한 관찰자간의 개인차를 나타내는 것으로 보이며 추후 어떤 요인에 의해 관찰자간 차이가 발생하는지에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다. 사용자 개인이 디지털 영상 측정에 관련된 소프트웨어의 사용에 대하여 얼마나 숙련되어 있는가와 측정 방법의 정밀성 및 측정 기술에 대한 개인차 등이 영향을 미칠 것으로 생각되며 이러한 점 때문에 다양한 각도 측정에 이용되는 소프트웨어 도구를 달리하는 경우 유의성 여부의 확인이 필요하다고 생각된다.

본 연구의 두 가지 측정 방법에서 관찰자간 및 관찰자내 신뢰도가 있는 점 뿐만이 아니라 이전의 연구에서 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각에서의 차이가 평균 2 내지 3° 이내를 일치의 기준으로 연구하였던 것^{2,13)}을 감안하면 본 연구의 두 가지 측정 방법간의 비교에서 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각에서의 차이가 모두 평균 1° 내이었므로 유사한 측정 소프트웨어 도구를 사용하는 경우 두 방법 모두 임상적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

무지 외반증 디지털 영상에서 무지 외반각과 제1-2 중족골간 각을 측정 하는 경우, 중선 생성 도구로 구현된 선들 위에 다시 선을 그어 측정하는 각 측정 도구를

이용하는 것과 비교하여 중선이 표시되면서 각도가 자동 계측되는 도구를 이용하는 방법 간에는 관찰자내 및 관찰자간 계측에서 유의한 차이가 없었으므로 두 가지 방법 모두 계측에 이용할 수 있다고 생각된다. 디지털 영상 프로그램에서 제공하는 상이한 소프트웨어 도구를 사용하여 계측 방법을 다르게 하는 경우에는 소프트웨어 도구 사용 상의 오류를 검증하는 고려가 필요하다.

REFERENCES

1. **Pique-Vidal C, Maled-Garcia 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.
2. **Farber DC, Deorio JK, Steel MW, 3rd.** Goniometric versus computerized angle measurement in assessing hallux valgus. *Foot Ankle Int.* 2005;26:234-8.
3. **Srivastava S, Chockalingam N, El Fakhri T.** Radiographic angles in hallux valgus: comparison between manual and computer-assisted measurements. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49:523-8.
4. **Sung I-H, Lee D-Y, Sung C-H, Seo W-Y.** Computerized Measurement on Angular Parameters for Hallux Valgus: Comparison of 100% and 150% Magnified Digital Radiography. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2012;16:53-57.
5. **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.
6. **Shrout PE, Fleiss JL.** Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull.* 1979;86:420-8.
7. **Pisano ED, Cole EB, Hemminger BM et al.** Image processing algorithms for digital mammography: a pictorial essay. *Radiographics.* 2000;20:1479-91.
8. **De Carvalho A, Vialle R, Thomsen L et al.** Reliability analysis for manual measurement of coronal plane deformity in adolescent scoliosis. Are 30×90 cm plain films better than digitized small films? *Eur Spine J.* 2007;16:1615-20.
9. **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.
10. **Coughlin MJ, Freund E, Roger A.** Mann Award. The reliability of angular measurements in hallux valgus deformities. *Foot Ankle Int.* 2001;22:369-79.
11. **Saltzman CL, Brandser EA, Berbaum KS et al.** Reliability of standard foot radiographic measurements. *Foot Ankle Int.* 1994;15:661-5.
12. **Resch S, Ryd L, Stenstrom 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.
13. **Shima H, Okuda R, Yasuda T, Jotoku T, Kitano N, Kinoshita M.** Radiographic measurements in patients with hallux valgus before and after proximal crescentic osteotomy. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91:1369-76.