

## 제1 중족골 근위 반월형 절골술과 Ludloff 절골술 후 교정 각도에 따른 절골편간 접촉 면적 비교(예비보고)

한림대학교 강남성심병원 정형외과, 충남대학교 기계설계공학과\*

박용욱 · 장근종 · 박상호\*

### A Comparison of the Contact Area between Three Different Correcting Angles after Proximal Crescentic Osteotomy and Ludloff Osteotomy of the First Metatarsal (Preliminary Report)

Yong-Wook Park M.D., Keun-Jong Jang, M.D., Sang-Ho Park, Ph.D.\*

Department of Orthopedic Surgery, Kangnam Sacred Heart Hospital, Hallym University College of Medicine, Seoul, Korea  
Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea\*

#### =Abstract=

**Purpose:** This study was performed to compare the contact area between three different correcting angles after the proximal crescentic and Ludloff osteotomies of the first metatarsal.

**Materials and Methods:** We used the two sawbone models. Proximal crescentic (PCO) and Ludloff osteotomies (LO) were performed and secured using K-wires under the correcting intermetatarsal angle (IMA) 5°, 10°, and 15°. Then each 6 osteotomized model was scanned five times and measured the contact area using the calculating program. We excluded the highest and lowest values.

**Results:** The mean area of cutting surface was 189 mm<sup>2</sup> in PCO, 863 mm<sup>2</sup> in LO. The mean contact area (contact ratio; contact area ×100/area of cutting surface) of PCO was 149 mm<sup>2</sup> (79%) in 5°, 139.5 mm<sup>2</sup> (74%) in 10°, 107 mm<sup>2</sup> (57%) in 15° IMA. The mean contact area (contact ratio) of LO was 711 mm<sup>2</sup> (82%) in 5°, 535.5 mm<sup>2</sup> (62%) in 10°, 330 mm<sup>2</sup> (38%) in 15° IMA.

**Conclusion:** A significant decrease in the contact area and contact ratio according to increase in correcting IMA was noticed in LO. We recommend the PCO rather than LO, when the IMA is needed to correct over 15°.

**Key Words:** Hallux valgus, First metatarsal, Proximal crescentic osteotomy, Ludloff osteotomy, Contact area

## 서 론

무지 외반증의 해부병리학적 특징은 족무지의 외반 변형과 함께 제1 중족골의 내전 변형이라고 하겠다. 제1 중족골의 내전 변형으로 인한 제1 중족골 두의 내측 돌출은 신발을 신게 되면 신발과의 마찰과 압박으로 인해 심한 통증을 호소하게 된다. 그러므로 족무지의 외반 변형을 교정하기 위한 노력과 함께 제1 중족골의 내전 변형을 교정하기 위한

Received April 20, 2010 Accepted May 13, 2010

• Yong-Wook Park, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Kangnam Sacred Heart Hospital,  
948-1 Dalim-1dong, Youngdeungpo-gu, Seoul 150-719, Korea  
Tel: +82-2-829-5165 Fax: +82-2-2634-1908  
E-mail: aofas@chollian.net

노력 역시 중요하다고 하겠다. 제1 중족골의 내전 변형을 교정하기 위한 술식으로는 갈매기형 절골술(*chevron osteotomy*)<sup>1)</sup>, 반월형 절골술(*crescent osteotomy*)<sup>2)</sup>, Ludloff 절골술<sup>3)</sup> 등이 있으며, 각각의 술식에 대한 임상 결과<sup>4,9)</sup>, 고정 방법에 따른 안정성 비교<sup>10-15)</sup> 등이 알려져 있다. 반면에 각 술식을 시행한 후 원위 절골편과 근위 절골편간의 접촉면적에 대한 이해는 보고된 바가 없다. 본 교실에서는 동일한 발 모델을 이용하여 제1 중족골 근위 반월형 절골술, Ludloff 절골술을 시행한 후 원위-근위 절골편간의 접촉면적을 살펴 보았기에 보고하는 바이다.

### 대상 및 방법

뉴달에서 제작한 2개의 동일한 발 모델(*ankle saw bone*)<sup>®</sup> (*Pacific Research, Vashon, WA*)과 360°도를 표시한 나무판을 준비하였다. K-강선을 이용해 발 모델을 나무판에 견고히 고정하였다(Fig. 1). 이때 제1 중족골 장축이 나무판에 표시한 원의 중심점에서부터 0°까지 연결한 선상에 위치하게 하였다.

한 모델에는 근위 반월형 절골술을 시행하였고, 다른 모델에는 Ludloff 절골술을 시행하였다. 근위 반월형 절골술은 제1 중족-내측 설상골간 관절에서 원위 1.2 cm 되는 곳의 족배측에 반월형 진동톱을 이용해 톱의 볼록한 면이 원위를 향하도록 하여 제1 중족골과 수직이 되는 가상의 선과

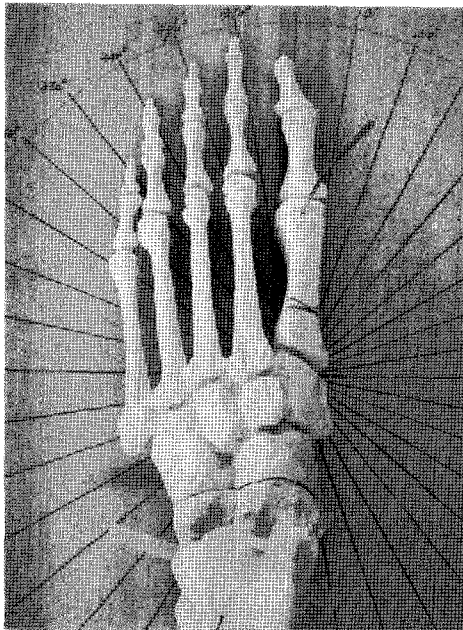


Figure 1. Close-up photograph of the ankle saw bone<sup>®</sup> fixed to woodblock.

나무판과 수직이 되는 가상의 선 중간선을 통해 절골을 시행하였다. Ludloff 절골술은 제1 중족-내측 설상골간 관절 족배측에서 원위 0.8 cm 되는 곳에서 제1 중족골 경부 쪽 저측을 향해 가능하면 제1 중족골 수평면과 평행을 이루도록 하여 절골하였다.

근위 반월형 절골술을 시행한 발 모델의 경우 영상 증폭 장치하에 원위 절골 편을 내측으로 회전시켜 절골술 전에 표시한 중족골 두 중심이 나무판에 표시된 5°, 10°, 15°에 위치하도록 한 후 하였다(Fig. 2). Ludloff 절골술을 시행한 발 모델의 경우 역시 영상 증폭 장치하에 원위 절골 편을 내측으로 회전시켜 절골술 전에 표시한 중족골 두 중심이 나무판에 표시된 5°, 10°, 15°에 위치하도록 하였다(Fig. 3). 원위 절골 편을 외측이 아닌 내측으로 회전시킨 이유는 외측 회전의 경우 변형이 없는 발 모델을 사용하였기에 회전 각이 클 경우 제2 중족골과 충돌이 발생하기 때문으로, 내측으로 회전시켜도 접촉면적의 변화는 발생하지 않기 때문이다.

절골 후 절골 면의 면적 및 중족골간 각을 5°, 10°, 15° 인위적으로 증가시킨 후 근위 절골 편과 원위 절골 편과의 접촉면적을 구하기 위해 Exyma<sup>®</sup> (*ZSCAN, Korea*)를 이용하

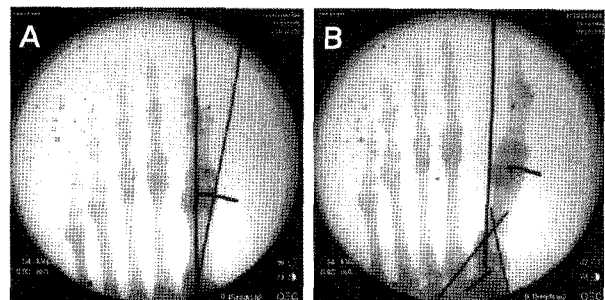


Figure 2. AP radiographs of the ankle saw bone<sup>®</sup> fixed to wood-block under the C-arm. (A) Before proximal crescent osteotomy. (B) After proximal crescent osteotomy.

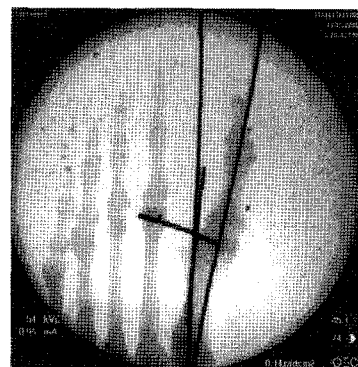


Figure 3. AP radiograph of the ankle saw bone<sup>®</sup> fixed to wood-block under the C-arm after Ludloff osteotomy.

였으며(Fig. 4), 이를 전산화 프로그램인 Rapidform<sup>®</sup> (INUS, Korea)을 이용해 수치화하였다(Fig. 5).

Exyma<sup>®</sup>를 이용한 스캔과 Rapidform<sup>®</sup>을 이용한 수치 계산을 5회 반복하였으며, 얻어진 결과 수치 중 최대치와 최소치를 버려 가능하면 오차를 줄이고자 하였다.

## 결 과

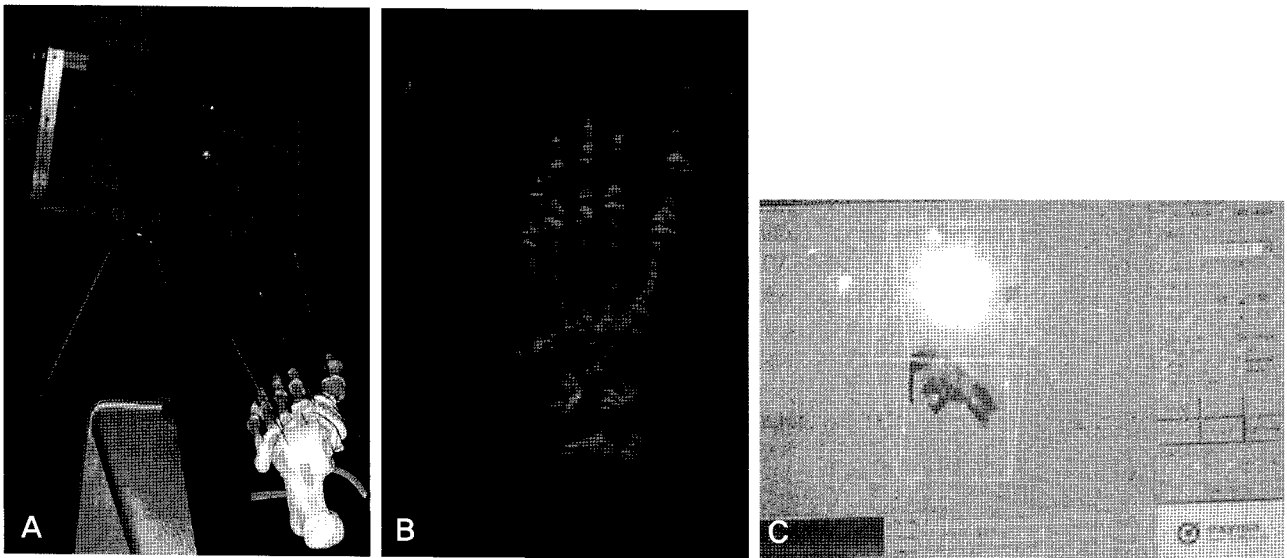
절골 후 절골 면의 면적은 근위 반월형 절골술의 경우 189±14 mm<sup>2</sup>, Ludloff 절골술의 경우 863±40 mm<sup>2</sup>로, 절골 면의 면적은 Ludloff 절골술의 경우가 근위 반월형 절골술의 경우보다 약 4.6배 넓었다(Table 1).

절골 후 중족골간 각을 5° 증가시킨 후 근위 절골 편과 원위 절골 편과의 접촉면적은 근위 반월형 절골술의 경우 149±12 mm<sup>2</sup>, Ludloff 절골술의 경우 711±34 mm<sup>2</sup>로, 절골 편간의 접촉 비(절골 편간의 접촉면적/절골면적×100)는 각

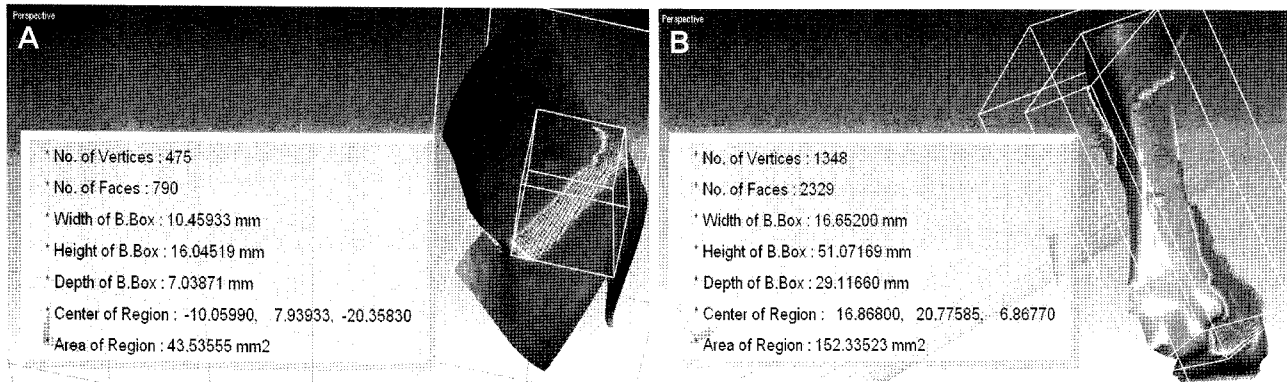
각 79%, 82%였다. 절골 후 중족골간 각을 10° 증가시킨 후 근위 절골 편과 원위 절골 편과의 접촉면적은 근위 반월형 절골술의 경우 140±10 mm<sup>2</sup>, Ludloff 절골술의 경우 536±28 mm<sup>2</sup>로, 절골 편간의 접촉 비는 각각 74%, 62%이었다. 절골 후 중족골간 각을 15° 증가시킨 후 근위 절골 편과 원위 절골 편과의 접촉 면적은 근위 반월형 절골술의 경우 107±6 mm<sup>2</sup>, Ludloff 절골술의 경우 330±18 mm<sup>2</sup>로, 절골 편간의 접촉 비는 각각 57%, 38%였다(Table 2).

**Table 1.** Comparison of the Cutting Area between Proximal Crescent and Ludloff Osteotomies

	Proximal crescent osteotomy	Ludloff osteotomy
Cutting area (mm <sup>2</sup> )	175	823
	189	863
	203	903



**Figure 4.** Scanning procedure with Exyma-E200<sup>®</sup>. (A) Proximal crescent osteotomy. (B) Ludloff osteotomy.



**Figure 5.** Calculating procedure with Rapidform 2004<sup>®</sup>. (A) Proximal crescent osteotomy. (B) Ludloff osteotomy.

**Table 2.** Comparison of the Contact Area between Proximal Crescent and Ludloff Osteotomies

Intermetatarsal angle	Proximal crescent osteotomy		Ludloff osteotomy	
	Contact area (mm <sup>2</sup> )	Contact ratio	Contact area (mm <sup>2</sup> )	Contact ratio
Increase 5 degrees	1	137	711	
	2	149	745	82
	3	161	677	
Increase 10 degrees	1	130	508	
	2	139.5	535.5	62
	3	149	563	
Increase 15 degrees	1	101	312	
	2	107	330	38
	3	113	348	

## 고 찰

고도의 무지 외반증에서 제1 중족골 내전 변형에 대한 교정술로 다양한 절골술들이 보고되고 있으며, 이에 대한 임상결과 및 장단점에 대해서도 널리 알려져 있다<sup>1-3,10,16-18</sup>. 이들 절골술은 제1 중족골 간부 또는 근위에서 시행하게 되는데, 이는 대부분의 술식들이 제1 중족골의 내전 변형에 대해 큰 교정각을 얻고자 함이다. 대표적 술식으로 근위 갈매기형 절골술<sup>1</sup>, 반월형 절골술<sup>2</sup>, Ludloff 절골술<sup>3</sup>, Scarf 절골술<sup>16</sup>이 있으며, 이들 술식들을 서로 비교하거나<sup>17,19,20</sup> 절골술 후 다양한 고정 기구를 사용하여 안정성을 비교한 많은 보고들<sup>18,19,21,26,27</sup>이 있고, 결국 고정력의 상실은 원위 절골 편의 부정 유합으로 이어진다<sup>22-25</sup>.

김 등<sup>17</sup>은 무지 외반증에서 28예의 Mitchell 절골술과 26예의 근위 반월형 절골술을 시행한 후 임상결과를 비교하였다. Mitchell 절골술의 경우 고정 수단으로 실크 봉합사를 사용하였고 고정이 불안정한 경우 K-강선을 추가하였으며, 근위 반월형 절골술의 경우 금속 강선을 사용하였다. Mitchell 절골술의 경우 2예에서 원위 절골 편의 족배측 각 변형을, 근위 반월형 절골술의 경우 3예에서 원위 절골 편의 족배측 각 변형을 경험하였으나, 이들 각 변형이 고정 기구의 차이에 기인한 것인지는 언급하지 않았다. Acevedo 등<sup>20</sup>은 사체를 이용해 제1 중족골에 Ludloff 절골술, 반월형 절골술, scarf 절골술을 시행한 후 반복적 부하(cyclic load)를 가한 비교 역학 실험에서 Ludloff 절골술을 시행한 경우에서 좀 더 우수한 안정성을 보였다고 하였다. Lian 등<sup>19</sup>은 48예의 사체를 이용해 제1 중족골에 반월형 절골술을 시행한 후 1개의 금속 나사로 고정한 경우와 Ludloff 절골술을 시행한 후 2개의 금속 나사로 고정한 경우를 비교한 생역학적 연구에서 Ludloff 절골술을 시행한 후 2개의 금속 나사로 고정한 경우가 반월형 절골술을 시행한 후 1개의 금속 나사로 고정한 경우보다 구부림 강도(bending

strength)가 82% 크다고 하였고, 제1 중족골 근위 절골술 후 고정 수단으로 K-강선, 금속 나사, 스테플(staple)을 사용한 비교에서 금속 나사 고정이 절골부에 가장 우수한 안정성을 보였다고 하였다. 제1 중족골 근위 절골술 후 고정 수단으로 금속 나사 고정이 우수한 안정성을 보인다는 다른 보고<sup>21</sup>도 있다. 김 등<sup>18</sup>은 무지 외반증에서 근위 갈매기형 절골술 후 63예에서는 고정 수단으로 2개의 K-강선을 사용하였고, 19예에서는 1개의 Bold screw<sup>®</sup> (Newdeal, Interga, Lyon, France)를 사용한 후 고정 수단에 따른 결과 차이를 보고하였는데, K-강선을 고정 수단으로 사용한 경우 1예에서 불유합을 경험하였다고 하였다. Crosby와 Bozarth<sup>26</sup>은 무지 외반증에서 원위 갈매기형 절골술 후 고정을 시행하지 않은 경우 6예와 K-강선 고정을 시행한 경우 7예와 Herbert 나사를 고정 수단으로 사용한 경우 6예를 비교한 결과 차이를 발견할 수 없었다고 하였다. Bozkurt 등<sup>27</sup>은 사체를 이용해 제1 중족골 근위 반월형 절골술 후 고정 수단으로 K-강선을 사용한 경우와 유관 나사를 사용한 경우를 비교한 생역학적 연구에서 유관 나사를 사용한 경우에서 고정력이 더욱 우수하였다고 보고하였다. 지금까지 보고된 논문들의 대부분이 무지 외반증에서 제1 중족골 내전 변형에 대해 다양한 중족골 절골술을 시행한 후 절골술간의 비교 평가와 절골술 후 견고한 고정을 위해 사용된 여러 고정 수단간의 비교 평가에 치우치고 있었다.

본 교실에서는 제1 중족골 절골부 안정에 관여하는 요인들이 이외에도 절골술 후 절골 편간 접촉면적도 당연히 관여할 것으로 보고 본 실험을 시행하였다. 저자들의 경우 제1 중족골 근위 절골술로 흔히 사용되는 근위 반월형 절골술과 Ludloff 절골술을 시행한 후 원위-근위 절골편간의 접촉면적과 접촉 비를 살펴본 결과 절골 면적은 근위 반월형 절골술의 경우 189±14 mm<sup>2</sup>, Ludloff 절골술의 경우 863±40 mm<sup>2</sup>로, 절골 면적은 Ludloff 절골술의 경우가 근위 반월형 절골술의 경우보다 넓었으나, 절골 후 중족골간 각을 5° 중

가시킨 후 접촉 면적(접촉 비)은 근위 반월형 절골술의 경우  $149 \pm 12 \text{ mm}^2$  (79%), Ludloff 절골술의 경우  $711 \pm 34 \text{ mm}^2$  (82%), 절골 후 중족골간 각을 10도 증가시킨 후 접촉 면적은 근위 반월형 절골술의 경우  $140 \pm 10 \text{ mm}^2$  (74%), Ludloff 절골술의 경우  $536 \pm 28 \text{ mm}^2$  (62%), 절골 후 중족골간 각을 15° 증가시킨 후 접촉 면적은 근위 반월형 절골술의 경우  $107 \pm 6 \text{ mm}^2$  (57%), Ludloff 절골술의 경우  $330 \pm 18 \text{ mm}^2$  (38%)를 보였다. 즉, 제1 중족골의 교정 각도가 커질수록 근위 반월형 절골술에 비해 Ludloff 절골술에서 접촉면적 및 접촉 비가 현저히 감소해 이 또한 무지 외반증 수술 시 수술 방법을 선택하는 데 중요한 영향을 줄 수 있을 것이라는 결론을 얻었다. 한편, 본 연구의 한계로 3회 실시한 절골면적 및 절골 후 접촉면적간의 편차가 크고 실험 횟수가 적어 통계학적 의의를 얻을 수 없었기에 추후 이에 대한 연구를 추가해야 할 것으로 사료된다.

## 결 론

제1 중족골에 대한 근위 반월형 절골술과 Ludloff 절골술을 시행한 후 절골 편간 접촉면적 및 접촉 비를 교정 각도에 따라 비교해 본 결과, 제1 중족골의 교정 각도가 커질수록 근위 반월형 절골술에 비해 Ludloff 절골술에서 절골편간 접촉면적 및 접촉 비가 현저히 감소함을 관찰할 수 있었다. 이를 임상에 적용한다면 고도의 무지 외반증 환자에서 Ludloff 절골술을 시행할 경우 절골 편간 고정력이 감소할 수 있을 것으로 추정되어 세심한 술 후 관리가 요구될 것으로 사료된다.

## REFERENCES

1. Austin DW, Leventon EO. A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed "V" displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus & primus varus. *Clin Orthop.* 1981;157:25-30.
2. Mann RA. Distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy for correction of hallux valgus deformity. *Orthopedics.* 1990;13:1013-18.
3. Ludloff K. Die beseitigung des hallux valgus durch die schrage planta-dorsale osteotome des metatarsua I. *Arch Klin Chir.* 1918;110:364-87.
4. Lee HS, Ji HC, Lee SW, Kim JM. The results of distal chevron osteotomy with lateral soft tissue release for hallux valgus deformity. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2006;10:156-62.
5. Stienstra JJ, Lee JA, Nakadate DT. Large displacement distal chevron osteotomy for the correction of hallux valgus deformity. *J Foot Ankle Surg.* 2002;41:213-20.
6. Lee JH, Park JH. Treatment of hallux valgus with modified McBride procedure and proximal metatarsal crescentic osteotomy. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2005;9:81-6.
7. Thompson F, Markbreiter L. Comparison of proximal crescentic and chevron osteotomy in hallux valgus reconstruction. *Foot Ankle Int.* 1997;18:71-8.
8. Moon HT, Jang SH, Lee WC. Results of Ludloff osteotomy in hallux valgus. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2005;9:64-8.
9. Chiodo CP, Schon LC, Myerson MS. Clinical results with the Ludloff osteotomy for correction of adult hallux valgus. *Foot Ankle Int.* 2004;25:532-6.
10. Kim TS, Kang KB, Kang JW, Kim HJ. The differences between fixation devices for proximal chevron osteotomy in hallux valgus surgery. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2008;12:26-30.
11. Acevedo JL. Fixation of metatarsal osteotomies in the treatment of hallux valgus. *Foot Ankle Clin.* 2000;5:451-68.
12. Lian GJ, Markolf K, Cracchiolo A III. Strength of fixation constructs for basilar osteotomies of the first metatarsal. *Foot Ankle Int.* 1992;13:509-14.
13. Sammarco VJ, Acevedo J. Stability and fixation techniques in first metatarsal osteotomies. *Foot Ankle Clin.* 2001;6:409-32.
14. Crosby LA, Bozarth GR. Fixation comparison for chevron osteotomies. *Foot Ankle Int.* 1998;19:41-3.
15. Fillinger EB, McGuire JW, Hesse DF, Solomon MG. Inherent stability of proximal first metatarsal osteotomies: a comparative analysis. *J Foot Ankle Surg.* 1998;37:292-302.
16. Beig RP, Olsthoom PG, Pöhl RG. Scarf osteotomy in hallux valgus: a review of 72 cases. *Acta Orthop Belg.* 2007;73:219-23.
17. Kim YH, Kim KW, Min HJ, Yoon ES, Lee JH. A comparison of Mitchell osteotomy and proximal metatarsal dome osteotomy in the treatment of hallux valgus. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2001;5:149-55.
18. Kim TS, Kang KB, Kang JW, Kim HJ. The differences between fixation devices for proximal chevron osteotomy in hallux valgus surgery. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2008;12:26-30.
19. Lian GJ, Markolf K, Cracchiolo A 3rd. Strength of fixation constructs for basilar osteotomies of the first metatarsal. *Foot Ankle.* 1992;13:509-14.
20. Acevedo JL, Sammarco VL, Boucher H, et al. Mechanical comparison of cyclic loading in five different first metatarsal shaft osteotomies. Presented at the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Meeting, Orlando, FL, March 18, 2000.
21. Shereff MI, Sobel MA, Kummer FJ. The stability of fixation of first metatarsal osteotomies. *Foot Ankle.* 1991;11:208-11.
22. Easley ME, Kiezbak GM, Davis WH, Anderson RB. Prospective, randomized comparison of proximal crescentic and proximal chevron osteotomies for correction of hallux valgus deformity. *Foot Ankle Int.* 1996;17:307-16.
23. Neese DJ, Zelichowski JE, Patton GW. Mau osteotomy: an

- alternative procedure to the closing abductory base wedge osteotomy. J Foot Surg. 1989;28:352-62.*
24. **Pearson SW, Kitaoka HB, Cracchiolo A, Leventen EO.** Results and complications following a proximal curved osteotomy of the hallux metatarsal. *Contemp Orthop.* 1991;23:127-32.
  25. **Thordarson DB, Leventen EO.** Hallux valgus correction with proximal metatarsal osteotomy: two-year follow-up. *Foot Ankle.* 1992;13:321-6.
  26. **Crosby LA, Bozarth GR.** Fixation comparison for chevron osteotomies. *Foot Ankle Int.* 1998;19:41-3.
  27. **Bozkurt M, Tigarar C, Dalstra M, Jensen NC, Linde F.** Stability of a cannulated screw versus a Kirschner wire for the proximal crescentic osteotomy of the first metatarsal: a biomechanical study. *J Foot Ankle Surg.* 2004;43:138-43.