

흡수성 고정판과 나사를 이용한 중수골 골절의 치료

조정목 · 은석찬 · 백릉민

서울대학교 의과대학 성형외과학교실

Treatment of Metacarpal Bone Fracture Using Biodegradable Plates and Screws

Jeong Mok Cho, M.D., Seok Chan Eun, M.D.,
Rong Min Baek, M.D.

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Seoul
National University College of Medicine, Korea

Purpose: Metacarpal fractures are common hand injury that may require operative intervention to ensure adequate reduction and stabilization. Traditionally, titanium miniplate was used for rigid fixation of bone fractures. However, the use of permanent plate lends itself to multiple complications such as infection, exposure of the hardware, tendon adhesions, tendon rupture, prolonged pain, bony atrophy and osteoporosis (stress shielding), metal sensitization, and palpation under the skin. This study evaluated the usefulness and stability of biodegradable plates and screws for treatment of metacarpal bone fractures.

Methods: There was 17 patients who had surgery for metacarpal bone fracture from April 2007 to June 2010. All patients had open reduction and internal fixation. We used absorbable plates and screws (Inion CPS[®]) for internal fixation. Postoperative results were assessed with x-ray. Stability of plates and screws, healing process and its complications were observed by clinical and radiographic assessment.

Results: All patients were successfully reduced of bone fracture, and fixations with absorbable plates and screws were stable. The mean follow up period was 7.1 months. 2 patients complained postoperative pain, but they were relieved with analgesics. All patients experienced transient stiffness, but they were relieved with active assistive range of motion after removal of splint. No patients suffered complications which could be occurred by using metallic plate.

Conclusion: There was no critical complications such as re-fracture or nonunion among patients. No patients suffered side effects related with metallic implants. Biodegradable implants can offer clinically stable and attractive alternative to metallic implants to stabilize metacarpal bone fractures in the hand.

Key Words: Metacarpal bones, Fracture fixation, Absorbable implants

I. 서론

수부의 외상에 있어서 수부 골절은 흔하게 일어나는 손상으로 보다 정확한 정복과 고정을 위해 개방창을 통해 골편을 정렬하고 금속판과 나사, 강선 등을 이용하여 고정하는 방법을 사용하기도 한다. 그러나 골 유합 후 남아있는 금속 고정기구들은 감염의 가능성, 피부 돌출감, 스트레스 방어(stress shielding) 효과로 인한 골 약화, 지속적인 통증과 불편감 등이 유발될 수 있다.^{1,2} 이로 인한 금속 기구 제거술은 추가적인 수술이 필요하다. 흡수성 고정판과 나사를 이용하여 골편 고정을 할 경우 금속 제거와 같은 불필요한 추가 수술이 필요 없으며, 골 유합이 끝난 후 체내에서 고정 기구들이 분해되어 고정 기구에 의한 불편감이나 골 약화 등이 예방될 수 있다.³

수부 골절 치료에 있어서 금속판이 아닌 흡수성 고정판을 이용하는 것에 대하여 임상적인 연구가 진행되고 있으나 국내에는 이에 대한 보고가 부족한 현실이다. 중수골 골절 치료에 있어 흡수성 고정판과 나사(Inion CPS[®], Inion Oy, Tampere, Finland)가 임상적으로 안정적인지, 금속판을 사용했을 때 발생할 수 있는 합병증이 유발되지 않는지에 대하여 알아보하고자 하였다.

Received April 21, 2011
Revised Jun 1, 2011
Accepted Jun 3, 2011

Address Correspondence: Seok Chan Eun, M.D., Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Seoul National University College of Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, 300 Gumi-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 463-707, Korea. Tel: 031) 787-7223/Fax: 031) 787-4055/E-mail: sceun@snuh.org

II. 재료 및 방법

가. 대상

2007년 4월부터 2010년 6월까지 본원을 내원한 중수골 골절 수상 환자 17명을 대상으로 하였다. 모든 환자에 대하여 단일 술자가 개방정복을 시행 후 흡수성 고정판과 나사

를 이용하여 골 절편을 고정하는 수술을 시행하였다. 환자의 연령은 14세부터 59세로 평균 연령은 31세로 남자가 11명, 여자가 6명이었다. 낙상에 의한 골절이 8례, 폭행 또는 자해에 의한 골절이 4례, 스포츠 손상이 3례, 교통사고에 의한 골절이 2례였다. 골절 부위는 엄지 중수골 4례, 소지 중수골 8례, 중지 중수골 2례, 2곳 이상의 중수골 골절이 3례였다. 추적관찰 기간은 1개월에서 20개월로 평균 7.1개월 이었다(Table I). 수술은 수상 후 1주일 이내 시행하는 것을 원칙으로 하였고, 술전 수부 X선 사진을 통하여 진단 후 수술 전까지 부목 고정하여 더 이상의 골 절편 편위가 일어나지 않도록 하였다. 수술 직후 수부 X선 사진을 촬영하여 골편의 정렬 상태를 확인하였고, 외래에서 X선 사진 촬영 결과를 경과관찰을 추적하였다.

나. 수술방법

17명의 환자 모두 전신마취를 실시하였고 환측 상완에 지혈대를 착용하고 수술 중 250 mmHg 압력으로 압박하여 출혈에 의한 방해로 최소화하였다. 골절 부위의 등배 부위에 인대가 위치한 부위를 피하여 평균 4 cm 가량의 절개창을 내었다. X선 사진을 통해 미리 파악한 골절 부위를 찾기 위하여 골절 부위를 찾았다. 그 후 골편의 정렬을 맞추고 55 °C에 가열된 물에 담겨 있던 고정판을 꺼내 고정하고자

하는 골의 형태에 적합하게 구부린 후, 인대의 움직임에 방해하지 않도록 dorsolateral side에 적합시켰다. 구멍이 4개 인 1.5 mm 흡수성 고정판을 한 개 사용하였으며 골절의 양상이 spiral인 경우 보다 튼튼한 지지를 위하여 2.0 mm 흡수성 고정판을 사용하였다. 고정 부위에 맞게 drilling을 시행한 후 pretapping을 시행하였다. 6 mm에서 11 mm 길이의 흡수성 나사를 이용하였으며 흡수성 고정판의 구멍이 골절선에 위치하거나 그 위치가 너무 가까워 안정적인 고정을 할 수 없을 경우 골편 손상을 막기 위해 해당 구멍에는 나사를 고정하지 않았다. 골편의 편위가 올바르게 교정되고 흡수성 고정판과 나사를 통해 안정적으로 고정 된 것을 확인하였다. 주변 부위 혈관, 신경, 인대 등의 연부조직이 손상되지 않았는지 확인하였다. 그 후, 고정 과정에서 발생한 이물질을 깨끗하게 제거하기 위하여 생리 식염수로 충분히 세척하였다. 미리 일으킨 골막으로 흡수성 고정판을 최대한 덮었다. 진피봉합은 하지 않고 5-0 나일론 봉합사를 이용하여 피부를 봉합하였고 수술 후 안정적인 회복을 위하여 부목 고정을 하였다. 수술 직후 X선 사진을 촬영하여 골편의 편위가 잘 교정되었음을 확인하였다. 환자는 수술 후 익일 퇴원하여 외래 방문을 통해 추적관찰 하였으며 4주간의 부목 고정을 제거한 후에는 능동적 보조 운동 (active assistive range of motion)을 시행하였다. 외래 경과 도중 합병증 발

Table I. Locations of Fractures and Fixation Materials

| Case | Sex | Age | Etiology | Site of fracture | Fixation materials | Follow up (mo) |
|------|-----|-----|-----------------------|---|-----------------------------------|----------------|
| 1 | M | 26 | Motorcycle injury | Lt. 3rd, 4th, 5th metacarpal shaft (spiral) | 2.0 mm 4-hole plate, 11 mm screws | 2 |
| 2 | M | 16 | Slip down | Rt. thumb metacarpal base | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 8 |
| 3 | M | 14 | Self inflicted injury | Rt. 3rd, 4th, 5th metacarpal head | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 21 |
| 4 | F | 42 | Assault | Rt. thumb shaft | 1.5 mm 4-hole plate, 8 mm screws | 20 |
| 5 | M | 59 | Slip down | Rt. 3rd proximal phalanx base | 1.5 mm 4-hole plate, 8 mm screws | 3 |
| 6 | M | 37 | Slip down | Lt. 5th metacarpal base | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 3 |
| 7 | F | 37 | Sports injury | Rt. 5th metacarpal head | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 11 |
| 8 | M | 52 | Slip down | Rt. 3rd metacarpal shaft (spiral) | 2.0 mm 4-hole plate, 11 mm screws | 12 |
| 9 | F | 16 | Slip down | Rt. thumb metacarpal base | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 8 |
| 10 | M | 37 | Sports injury | Rt. 5th metacarpal head | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 11 |
| 11 | M | 14 | Self inflicted injury | Rt. 5th metacarpal shaft | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 3 |
| 12 | F | 29 | Slip down | Rt. 5th metacarpal head | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 1 |
| 13 | F | 26 | Motorcycle injury | Lt. 3rd, 4th, 5th metacarpal shaft (spiral) | 2.0 mm 4-hole plate, 11 mm screws | 2 |
| 14 | F | 29 | Slip down | Rt. 5th metacarpal head | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 1 |
| 15 | M | 37 | Slip down | Lt. 5th metacarpal base | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 9 |
| 16 | M | 42 | Sports injury | Lt. thumb shaft | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 2 |
| 17 | M | 14 | Self inflicted injury | Rt. 5th metacarpal shaft | 1.5 mm 4-hole plate, 6 mm screws | 3 |

생 유무에 대하여 관찰하였다.

III. 결 과

총 17명의 환자 23개의 골절에 대하여 개방 정복 및 흡수성 고정판과 나사를 이용한 내 고정술을 시행하였다. 수술 후 촬영한 X선 사진에서 어긋난 골편의 정렬이 잘 정복되었음을 확인하였고, 환자는 특별한 문제없이 퇴원하였다. 수술 후 수부 감각 저하, 혈종, 감염 등의 합병증은 발견되지 않았다. K-강선 등의 외고정 없이 4주간 부목 고정을 하였고, 외래 방문을 통한 추적관찰을 하였다. 외래 내원 시 촬영한 X선 사진 상 수술 부위의 골편위가 발생하는 경우를 재골절로 판정하고 골편간 1 mm 이상의 간격이 발견되는 경우를 불유합으로 판정하였다. 술후 4주 후 촬영한 X선 소견상

골절선의 간격이 감소하고 불유합이 일어나지 않은 경우 골 유합이 이루어졌다고 판단하여 부목을 제거하였다.

외래 경과관찰 도중 재골절이나 골편의 불유합 등의 합병증은 관찰되지 않았다. 수술 후 발생한 부종은 특별한 문제 없이 호전되었고, 2명의 환자가 술후 불편감 및 통증을 호소하였으나 진통제 복용 이후 증상이 소실되었다. 부목 제거 후 일시적으로 발생한 관절 강직은 2주 내에 없어졌다. 수술 후 염증 반응, 고정판의 외부 노출, X선 사진에서 발견되는 골 위축 및 골 연화, 건 협착, 건 파열의 임상적 징후는 발견되지 않았다. 환자들 또한 피부하 돌출감이나 지속적인 통증을 호소하지 않았다.

증례 1 (Fig. 1)

26세 남자 환자로 오토바이 사고로 인하여 왼손 3, 4, 5번째



Fig. 1. A 26-year-old male. (Above, left) Preoperative X-ray shows left hand 3, 4, 5th metacarpal bone shaft spiral fractures, (Above, right) Intraoperative photograph shows fixation with 2.0 mm 4-hole plates and 11mm screws on 3rd metacarpal bone, (Below, left) Immediate postoperative X-ray shows good bone alignment. Silastic drain is visible and absorbable plate and screws are invisible. (Below, right) Postoperative X-ray 2 months after the surgery.



Fig. 2. A 16-year-old male. (Above, left) Preoperative X-ray shows right hand thumb metacarpal bone base fracture, (Above, right) Intraoperative photograph shows fixation with 1.5 mm 4-hole plate and 6mm screws, (Below, left) Immediate postoperative X-ray shows good bone alignment. Silastic drain is visible and absorbable plate and screws are invisible. (Below, right) Postoperative X-ray 8 months after the surgery.

중수골 골절이 발생하였다. X선 사진촬영소견 상 3, 4, 5번째 중수골 골간 부위에 비스듬하게 골절선이 관찰되었다. 절개창을 통해 골편의 편위를 정복한 후 4개의 구멍을 가진 2.0mm 흡수성 고정판을 덧대고 길이 11mm 흡수성 나사로 골절부위를 제외한 구멍에 고정하여 골절 치료를 하였다. 나머지 중수골 골절에 대해서 같은 방법으로 골편 정복 후 내 고정을 시행하였다.

환자는 수술 후 부목 고정을 하였고 수부 감각 저하, 혈중, 감염 등의 합병증 없이 퇴원 하였다. 외래 추적관찰을 통하여 X선 사진 촬영에서 재골절, 불유합의 소견은 보이지 않았으며 수술 후 4주 뒤 특별한 문제없이 부목 고정을 제거하였다. 수술 후 2개월까지 외래 추적결과 고정판에 의한 이물감, 통증을 호소하지 않았다.

증례 2 (Fig. 2)

16세 남자 환자로 급하게 뛰어가다 쇠기둥에 손을 부딪혀 오른

손 엄지 중수골 골절이 발생하였다. X선 사진소견 상 중수골 근위부에 골절선이 관찰되었다. 절개창을 통해 골편의 편위를 정복한 후 4개의 구멍을 가진 1.5mm 흡수성 고정판을 덧대고 길이 6mm 흡수성 나사로 4개의 구멍에 고정하여 골절 치료를 하였다.

환자는 수술 후 부목 고정을 하였고 특별한 합병증 없이 퇴원 하였다. 8개월간의 외래 추적관찰을 통하여 경과관찰 하였을 때 재골절, 불유합의 소견은 보이지 않았다. 부목 제거 후 일시적인 관절 강직은 2주내 소실되었고, 고정판에 의한 이물감이나 통증은 호소하지 않았다.

증례 3 (Fig. 3)

14세 남자 환자로 오른 주먹으로 콘크리트 벽을 강하게 친 이후 3, 4, 5번째 중수골 골절이 발생하였다. X선 사진 소견상 3, 4, 5번째 중수골 원위부에 골절선이 관찰되었다. 절개창을 통해 골편의 편위를 정복한 후 4개의 구멍을 가진 1.5mm 흡수성 고정판을



Fig. 3. A 14-year-old male. (Left) Preoperative X-ray shows right hand 3, 4, 5th metacarpal head fractures, (Center) Intraoperative photograph shows fixation with 1.5 mm 4-hole plates and 6 mm screws, (Right) Postoperative X-ray 21 months after the surgery.

뒹고 길이 6 mm 흡수성 나사로 4개의 구멍에 고정하여 골절치료를 하였다.

환자는 수술 후 부목 고정을 하였고 합병증 없이 익일 퇴원하였다. 4주 뒤에 부목 고정을 제거하였고 21개월간의 외래 추적관찰을 통하여 경과관찰 하였을 때 재골절, 불유합의 소견은 보이지 않았다. 추적관찰 기간 동안에 환자는 고정판에 의한 이물감, 통증을 호소하지 않았다.

IV. 고 찰

내고정술에 사용하는 도구로서 영구적으로 남는 금속판을 이용하는 대신 생체분해가 가능한 흡수성 고정판을 사용할 경우 이물질에 의한 각종 합병증을 막음과 동시에 이물질 제거 수술이라는 2차 수술의 필요성을 없애는 장점을 갖고 있다.³ 흡수성 고정판은 물리적인 면에서 보았을 때 *in vitro* 연구에서 금속판에 비하여 2.5배 강도가 약하지만 원래 강도의 70%가 6주에서 8주까지 유지된다.⁴ 수부 골절의 치료 목적에 있어서 내고정술은 골 유합이 일어날 때까지 골 편위가 정복된 상태로 유지되는 것이 그 목적이며 실제 임상적인 적용에 있어서도 흡수성 고정판의 물리적인 특성은 골편을 안정적으로 유지시키고 골 유합이 될 때까지 강도가 유지되어 임상적으로 안정적으로 사용할 수 있음이 보고되어있다.^{5,6} 흡수성 고정판과 나사는 단순하게 체내에 이물질이 남지 않는다는 장점 이외에도 X선 사진에서 골절 부위를 가리지 않기 때문에 술후 평가에서 골 편위를 파악하기 쉬우며, 흡수성 고정판과 나사는 골 유합이 이루

어지는 시간이 흐름에 따라 분해되어 그 고정력이 약해져서 골편에 적당한 부하를 주어 재생을 촉진시키는 효과가 있다.^{7,8}

수술에 사용한 Inion CPS[®]는 LPLA (L-Lactide), DLPLA (D,L-Lactide), PGA (Polyglycolide), TMC (Trimethylene Carbonate) 4가지 물질로 구성된다. 일반적으로 골절의 고정기에 이용하는 생체 흡수성 고정판은 polyglycolic acid (PGA), polylactic acid (PLA), polydioxane (PDS) 등과 이들의 복합체를 조합하여 제작되고 있으며, 복합재료와 그 제조 방법에 따라 물리, 화학적 특성이 달라 다양한 흡수성 고정판이 임상에 이용되고 있다. 흡수성 고정판의 구성 재료 중 하나인 PGA는 크리스탈 결정 구조로 PLA에 비해 강한 물성 갖고 있으나 6주 이내 강도가 소실되고 3개월에서 12개월 사이 모두 흡수될 정도로 빠르게 분해되는 특징이 있고 PLA는 소수성이며 흡수되는데 5년가량이 소요되는데, 이 두 고분자와 trimethylene carbonate이 결합되어 있어 고정판의 유연성 (flexibility)과 생체적합성 (biocompatibility)이 월등히 뛰어나다.⁹ 금속성 골 고정장치의 안정성을 갖고 있으면서 술후 9~15개월이 지나면 생체에서 가수분해 되고 분해된 작은 조각들은 다시 대식세포와 거대세포 등에 의하여 흡수된다.¹⁰

기존의 금속판과 나사를 이용한 방법은 오랜 기간 안정적으로 사용되어온 수술방법이나 흡수성 고정판과 나사를 이용한 방법은 수술 술자에 따라 선호되는 경향이 있다. 흡수성 고정판의 물리적 특성상 부하에 약하고 시간이

지남에 따라 생체분해 되는 장점이 오히려 부하를 지탱하는 능력이 저하되는 단점으로 작용할 수 있어 술후 불안정한 고정으로 인해 다시 골 편위가 일어나는 경우도 보고되고 있다.^{2,11} 그러나 잘 협조되지 않은 환자가 조기에 운동을 하여 재골절이 발생하였을 가능성이 있으며, 실험실 연구에서 실제 임상보다 과도한 부하가 주어졌기 때문에 높은 재골절이 발생하였을 가능성이 있다. 본 연구에서 수술받은 모든 환자는 치료 협조에 문제가 없었으며 술후 부목 고정을 통한 안정화가 충분히 이루어져서 기준에 보고된 합병증이 관찰되지 않았다. 또한, 생체분해가 되어 영구적인 이물질이 남지 않는다고 하나 장기적인 경과관찰 결과에 따르면 수술 후 15개월에서 19개월 사이 지연성 이물 반응이 나타나 합병증을 일으키는 경우도 있어 최소 술후 2년간 주의가 필요하다는 보고도 있다.¹² 본 연구를 통한 경과관찰 기간 중에는 이물질 반응을 보인 증례가 없었으며 증례 보고 문헌에서 수술에 사용한 흡수성 고정판이 본 연구에서 사용한 1.5 mm 또는 2.0 mm 고정판 보다 두꺼운 2.0 mm 또는 2.5 mm 고정판을 사용했다는 점이 흡수성 고정판의 분해를 저해하는 요소로 고려되어야 한다.

실제 수술에 있어서 내고정술의 기구로서 금속판과 흡수성 고정판을 비교할 때 가장 중요하게 고려되는 것이 부하에 대한 저항 능력이다. In vitro 연구를 통해 밝혀진 바에 따르면 금속판이 흡수성 고정판보다 견고하나 단순히 물리적으로 견고해아만 재골절이나 불유합이 발생하지 않는 부하 저항 능력을 지니게 되는 것은 아니다. 골편을 실질적으로 고정한 상태에서 부하가 걸리는 경우 이에 대한 저항력을 갖고 골 유합에 문제가 생기지 않는 강도를 갖고 있는 것으로도 충분히 임상적인 적용이 가능하다. K-강선 고정, 티타늄 고정판 고정 등과 흡수성 고정판의 부하 저항 능력을 비교하였을 때 2.0 mm 흡수성 고정판은 K-강선 고정에 비하여 구부러짐과 뒤틀림에 대한 부하 저항 능력을 뛰어나며 1.7 mm 티타늄 고정판에 상응하는 구부러짐에 대한 부하 저항 능력을 갖고 있고 2.3 mm 티타늄 고정판에 상응하는 뒤틀림에 대한 부하 저항 능력을 갖고 있다.^{13,14}

흡수성 고정판과 나사를 이용한 내 고정은 중수부 골절 치료에 있어서 골유합을 이루는데 필요한 적절한 강도를 제공하였다. 또한, 티타늄 고정판 사용 시 발생할 수 있는 합병증이 없어 고정판 제거를 위한 추가 수술이 필요 없었다. 그러나 임상 적용에 앞서 금속판에 비해 흡수성 고정판은 고가의 의료비용을 발생시켜 환자의 경제적 부담을 줄 수 있다는 것을 간과해서는 안 된다. 저자는 총 17명의 환자 23개의 골절에 대하여 개방 정복 및 흡수성 고정판과 나사를 이용한 내 고정술을 시행하였다. 수술 후 X선 사진소견상 골절이 잘 정복되었음을 확인하였고 외래 경과관찰을

하였을 때, 재골절 불유합은 관찰되지 않았다. 그러나 기준의 금속판을 이용한 고정법을 대체할 만큼 안정적이고 신뢰할 수 있는 치료결과를 보장하기 위해서는 보다 많은 증례와 장기간의 추적관찰이 필요하다.

V. 결론

흡수성 고정판과 나사를 이용한 골절 부위 고정은 골 유합이 일어날 때 까지 재골절, 불유합 등의 합병증 없이 충분히 골 편위를 안정화시켰다. 금속판을 이용하여 내 고정을 시행한 경우와 달리 염증 반응, 고정판의 외부 노출, 골 위축 및 연화, 건 협착 및 파열의 임상적 징후는 없었다. 따라서 추가적인 고정판 제거수술이 불필요하였다. 환자들 또한 피부하 돌출감이나 지속적인 통증을 호소하지 않았다. 흡수성 고정판과 나사를 이용한 중수골 골절 치료는 임상적으로 안정적인 치료 방법임을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. Stern PJ, Wieser MJ, Reilly DG: Complications of plate fixation in the hand skeleton. *Clin Orthop Relat Res* 214 : 59, 1987
2. Lionelli GT, Korentager RA: Biomechanical failure of metacarpal fracture resorbable plate fixation. *Ann Plast Surg* 49: 202, 2002
3. Waris E, Ashammakhi N, Kaarela O, Raatikainen T, Vasenius J: Use of bioabsorbable osteofixation devices in the hand. *J Hand Surg Br* 29: 590, 2004
4. Bozic KJ, Perez LE, Wilson DR, Fitzgibbons PG, Jupiter JB: Mechanical testing of bioresorbable implants for use in metacarpal fracture fixation. *J Hand Surg Am* 26: 755, 2001
5. Waris E, Ninkovic M, Harpf C, Ninkovic M, Ashammakhi N: Self-reinforced bioabsorbable miniplates for skeletal fixation in complex hand injury: three case reports. *J Hand Surg Am* 29: 452, 2004
6. Dumont C, Fuchs M, Burchhardt H, Appelt D, Bohr S, Sturmer KM: Clinical results of absorbable plates for displaced metacarpal fractures. *J Hand Surg Am* 32: 491, 2007
7. Hughes TB: Bioabsorbable implants in the treatment of hand fractures: an update. *Clin Orthop Relat Res* 445: 169, 2006
8. Fan Y, Xiu K, Duan H, Zhang M: Biomechanical and histological evaluation of the application of biodegradable poly-L-lactic cushion to the plate internal fixation for bone fracture healing. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 23: S7, 2008
9. Bostman OM, Pihlajamaki HK: Adverse tissue reactions to bioabsorbable fixation devices. *Clin Orthop Relat Res* 371: 216, 2000
10. Yerit KC, Hainich S, Turhani D, Klug C, Wittwer G, Ockher M, Ploder O, Undt G, Baumann A, Ewers R: Stability of biodegradable implants in treatment of mandibular fractures. *Plast Reconstr Surg* 115: 1863, 2005
11. Klos K, Rausch S, Loffler M, Frober R, Hofmeier K, Lenz M, Hofmann GO, Muckley T: A biomechanical comparison of a biodegradable volar locked plate with two

- titanium volar locked plates in a distal radius fracture model. *J Trauma* 68: 984, 2010
12. Givissis PK, Stavridis SI, Papagelopoulos PJ, Antonarakos PD, Christodoulou AG: Delayed foreign-body reaction to absorbable implants in metacarpal fracture treatment. *Clin Orthop Relat Res* 468: 3377, 2010
 13. Waris E, Ashammakhi N, Raatikainen T, Tormala P, Santavirta S, Konttinen YT: Self-reinforced bioabsorbable versus metallic fixation systems for metacarpal and phalangeal fractures: a biomechanical study. *J Hand Surg Am* 27: 902, 2002
 14. Waris E, Ashammakhi N, Happonen H, Raatikainen T, Kaarela O, Tormala P, Santavirta S, Konttinen YT: Bioabsorbable miniplating versus metallic fixation for metacarpal fractures. *Clin Orthop Relat Res* 410: 310, 2003