

상완골 골절에서 3.5/5.0 잠김 압박 금속판을 이용한 최소 침습적 골유합술

오형근 · 주석규 · 이정일 · 서동현

인제대학교 일산백병원 정형외과

목 적: 상완골 간부 골절에서 3.5/5.0 잠김 압박 금속판을 이용한 최소 침습적 금속판 고정술 시행 후 임상 및 방사선 결과를 분석하여 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 상완골 근위 또는 원위 1/3 간부 골절에서 3.5/5.0 잠김 압박 금속판을 이용한 최소 침습적 금속판 고정술을 시행한 17명을 대상으로 하였다. 방사선학적 평가로 골유합 및 해부학적 정복에 대한 평가를 하였고, 견관절 및 주관절의 운동 범위, American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) 점수 및 Mayo elbow performance score (MEPS)를 이용한 기능적 평가와 술 후 합병증을 조사하여 임상적 결과를 평가하였다.

결 과: 모든 환자에서 골유합을 얻었으며, 평균 골유합 시기는 14.2주였다. ASES 점수를 이용한 견관절의 기능적 평가 및 MEPS를 이용한 주관절의 기능적 평가상 각각 우수 15명, 양호 2명이었다. 금속판 부전 및 골절 정복의 소실, 수술 후 신경 손상 등의 합병증은 없었다.

결 론: 골편의 크기가 작아 5.0 잠김 압박 금속판으로 충분한 개수의 나사못 고정이 어려운 상완골 근위 또는 원위 간부 골절에서 3.5/5.0 잠김 압박 금속판을 이용한 최소 침습적 금속판 고정술로 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

색인 단어: 상완골 근위 또는 원위 골절, 최소 침습적 금속판 고정술, 3.5/5.0 잠김 압박 금속판

Minimally Invasive Plate Osteosynthesis for Humeral Proximal or Distal Shaft Fractures Using a 3.5/5.0 Metaphyseal Locking Plate

Hyoung Keun Oh, M.D., Suk Kyu Choo, M.D., Jung Il Lee, M.D., Dong Hyun Seo, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Inje University Ilsan Paik Hospital, Goyang, Korea

Purpose: Our study aimed to investigate the clinical and radiological results of humerus proximal or distal shaft fractures treated with minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) using a 3.5/5.0 metaphyseal locking plate.

Materials and Methods: We reviewed the clinical and radiographic records of 17 patients with humeral proximal or distal shaft fractures who had undergone 3.5/5.0 metaphyseal locking plate osteosynthesis with a minimally invasive technique. We evaluated the results with respect to the anatomical reduction and union of the humerus shaft fracture through radiologic studies. We also evaluated the clinical results using the motion of shoulder and elbow functional outcome, American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) score, Mayo elbow performance score (MEPS), and postoperative complications.

Results: Complete union was achieved in all cases. The mean union time was 14.2 weeks. According to the functional outcome rated by the ASES score and MEPS, 15 cases were considered excellent and 2 cases were good. There were no cases of surgically-related complications like metal failure, loss of anatomical reduction, or postoperative nerve injuries.

Conclusion: Using a 5.0 metaphyseal locking plate for humerus shaft fracture has the limitation that difficulties can arise in achieving sufficient screw fixation for small bony fragments. The 3.5/5.0 metaphyseal locking plate used in MIPO for humerus 1/3 proximal or distal shaft fractures was concluded to give good clinical and radiologic results.

Key Words: Humerus proximal or distal shaft fractures, Minimally invasive plate osteosynthesis, 3.5/5.0 metaphyseal locking plate

통신저자 : 오 형 근

고양시 일산서구 주화로 170, 인제대학교 일산백병원 정형외과

Tel : 031-910-7968 • Fax : 031-910-7967

E-mail : osd11@paik.ac.kr

Address reprint requests to : Hyoung Keun Oh, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Inje University Ilsan Paik

Hospital, 170, Juhwa-ro, Ilsanseo-gu, Goyang 411-706, Korea

Tel : 82-31-910-7968 • Fax : 82-31-910-7967

E-mail : osd11@paik.ac.kr

본 논문은 2010학년도 인제대학교 학술 연구 조성비 보조에 의한 것임.

접수: 2012. 7. 5

심사(수정): 2012. 7. 5

게재확정: 2012. 8. 19

서 론

상완골 골절은 전체 골절의 5~8%의 빈도를 보이며, 심한 전위나 분쇄가 동반된 골절, 다발성 골절 및 조기 재화로 견관절과 주관절 운동 범위 회복을 원하는 경우 수술적 치료의 적응증이 된다⁶⁾. 최근 최소 침습적 금속판 고정술(minimally invasive plate osteosynthesis)의 발전으로 대퇴골 및 경골 등의 하지 장관골 골절뿐 아니라 상완골 골절에서의 적용이 확대되고 있으며, 상완골 간부 골절에서는 전방 접근법의 안전 구역 및 유용성에 대한 보고가 늘어나고 있다^{2,9,15)}. 상완골 간부 골절의 최소 침습적 금속판 고정술 시 일반적으로 5.0 잠김 압박 금속판이 주로 사용되지만, 근위 또는 원위 간부 골절에서 골절편의 크기가 작은 경우 안정적인 내고정을 위한 충분한 개수의 나사못 삽입에 제한이 있는 경우가 있다^{8,14)}.

저자들은 상완골 근위 또는 원위 간부 골절에서 3.5/5.0 잠김 압박 금속판을 이용한 최소 침습적 금속판 고정술을 시행한 후의 방사선적, 임상적 결과를 보고하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2010년 4월부터 2011년 12월까지 상완골 근위 또는 원위 간부 골절에서 3.5/5.0 잠김 압박 금속판을 이용한 최소 침습적 금속판 고정술을 시행한 17명을 대상으로 하였다. 평균 연령은 49세(20~83세)였으며 남자가 8명, 여자가 9명이었다. 골절의 분류는 AO/OTA 분류상 A형 3예, B형 12예, C형 2예였다. 3.5/5.0 잠김 압박 금속판의 적용 기준은 근위 및 원위부의 골단부를 제외한 상완골 간부에서 근위 또는 원위부 1/3 내에 발생한 골절로, 5.0 잠김 압박 금속판 사용 시 3개 이상의 5.0 잠김 나사못 고정이 어려운 경우로 하였다. 전체 17명의 환자 중 근위부 골절은 7예, 원위부 골절이 10예였다. 골절의 수상 기전은 단순 실족 2명, 교통사고 9명, 낙상 6예였다. 3예에서 타 부위 골절이 동반되었으며 개방성 골절은 없었다. 수상 당시 요골 신경마비가 동반된 경우가 2예였으며, 골절부의 내고정 시 부가적인 요골신경의 탐색술은 시행하지 않았다. 평균 추시 기간은 14.4개월(6~26개월)이었다.

2. 수술 방법

모든 예에서 전신 마취하에 방사선 투과성 수술대에 양와위로 환자를 위치시켰으며, 방사선 투과성 팔걸이를 수술대에 부착 후 팔은 90도 외전 상태에서 준비하였다. 피

부 절개 전 영상 증폭기를 이용, 근위부 및 원위부에 충분한 나사못 삽입이 가능하도록 충분한 길이의 금속판을 선택하여 금속판의 삽입 위치를 피부에 표시하였다. 원위부에는 4 cm 정도의 피부 절개 후 이두근의 원위부와 상완근 사이의 간격을 확인하였으며, 이두근을 내측으로 견인하여 상완근 전면에 위치한 근피신경을 확인하였다. 상완근 중앙부를 중 방향으로 절개 후 내측 1/2 상완근과 함께 근피신경을 내측으로, 외측 1/2 상완근은 외측으로 견인하여 상완골 원위 전면부를 노출하였다. 노출 및 금속판 삽입 과정 중 요골 신경이 과도하게 견인되지 않도록 주의하였다. 근위부 노출은 삼각근과 이두근 사이로 접근하여 삼각근은 외측으로, 이두근은 내측으로 견인하여 근위 상완골 전면부를 노출하였으며, 근위부 골절의 경우 금속판의 위치는 이두근구(bicipital groove)의 외측에 위치할 수 있도록 하였다. 3.5/5.0 metaphyseal locking compression plate (LCP) (Synthes[®]; Synthes, Oberdorf, Switzerland)의 삽입 전에 근위 또는 원위 절개창으로 cobbs elevator를 이용하여 근육하 터널(submuscular tunnel)을 준비하였다. 골절부의 정복과 유지를 위하여 부가적으로 임시 외고정 및 유연성 금속정을 사용한 경우는 없었으며, 모든 예에서 골절부의 도수 조작으로 정복을 유지하였다. 3.5/5.0 metaphyseal LCP는 상완골의 형태에 맞도록 술전에 미리 적절한 성형을 하였으며, 원위부에서 근위부로 절개창을 통하여 삽입하였다. 금속판의 고정은 원위부에서 먼저 시행하였으며, 원위부 골절의 경우 locking drill bit 2.8 mm, 근위부 골절의 경우 locking drill bit 4.3 mm와 인접 나사홀에 나사못 삽입을 위한 sleeve를 통한 K-강선 고정을 시행하여 원위부에 금속판을 임시 고정하였다. 영상 증폭기로 원위 골편의 장축과 금속판의 평행 여부를 확인 후 도수 조작으로 골절의 간접 정복을 시행하였으며, 근위부에도 locking drill bit과 K-강선을 이용하여 임시 고정을 시행하였다(Fig. 1, 2). 영상 증폭기를 이용하여 전후면상 골절의 만족할 만한 정복을 확인한 후에 근위부 및 원위부 골절편에 3.5 mm 및 4.5 mm 일측 피질골 나사못을 고정하여 금속판이 근위부 및 원위부 상완골 전면부에 밀착될 수 있도록 하였다. 영상 증폭기로 측면상의 골절 정복 상태를 확인한 후 임시 고정된 locking drill bit 및 K-강선을 잠김 나사못 고정으로 교체하였으며, 5.0 mm 잠김 나사못은 3개, 3.5 mm 나사의 경우 근위 및 원위 골편에 4개 이상의 나사 고정을 시행하였다. 근위 및 원위 절개창에 배농관 삽입 후 층별로 봉합을 시행하였으며, 수술 후 동통의 소실까지 팔걸이 착용을 유지하였다. 동통이 조절되는 술 후 약 2~3일부터 주관절 및 견관절의 수동적 관절 운동을 시행하였으며, 무리한 운동 외에 일상 생활의 제한을 두지는 않았다.

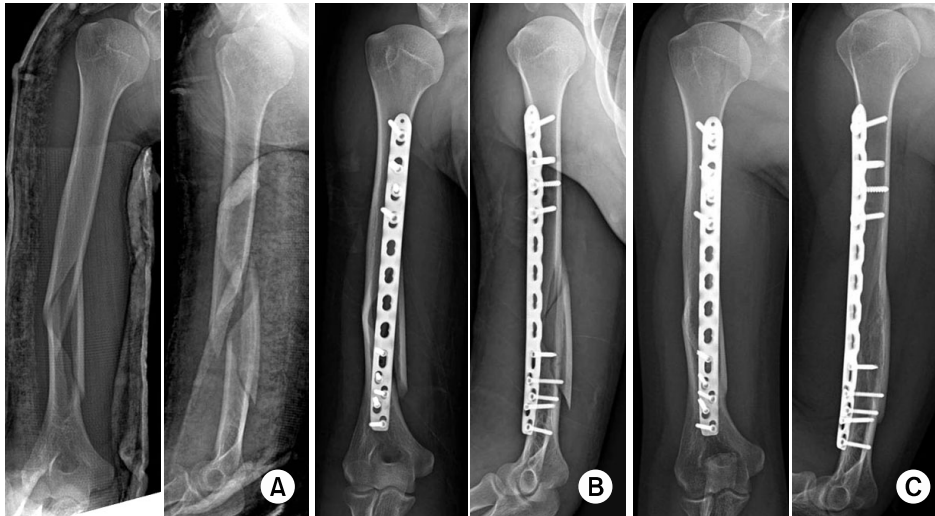


Fig. 1. (A) Case of distal humeral shaft fracture of a 21-year-old man. Preoperative radiographs show distal humeral shaft fracture with a butterfly fragment. (B) Minimally invasive plate osteosynthesis using 3.5/5.0 locking compression plate was performed. The short distal fragment was fixed with five 3.5 mm screws. (C) Last follow-up radiographs show solid bony union without screw loosening.

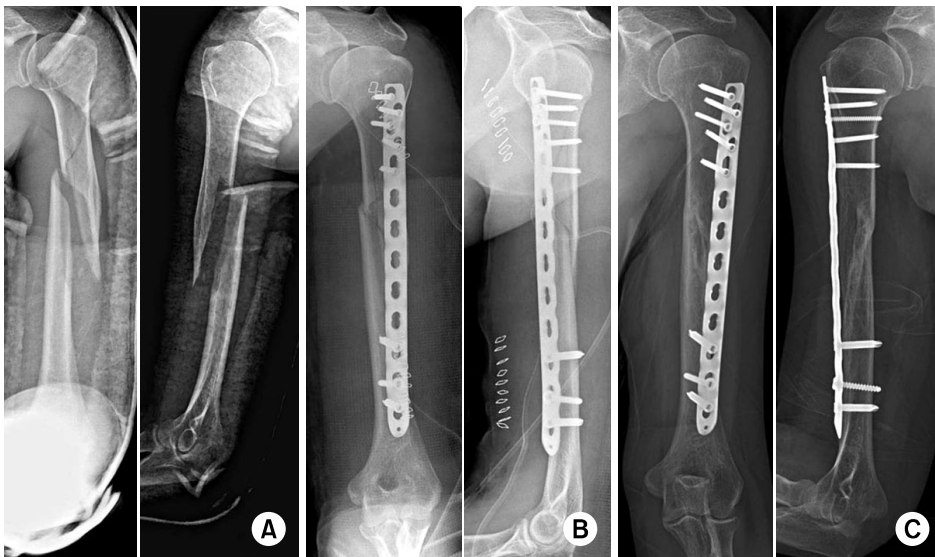


Fig. 2. (A) Case of proximal humeral shaft fracture of a 44-year-old woman. Preoperative radiographs show proximal humeral shaft fracture with a butterfly fragment. (B) Minimally invasive plate osteosynthesis using 3.5/5.0 locking compression plate was performed. The short proximal fragment was fixed with five 3.5 mm screws. (C) Last follow-up radiographs show solid bony union without screw loosening.

3. 연구 방법

골유합은 임상적으로 동통 없이 관절 운동이 가능해지며, 전후면 및 측면 방사선사진상 피질골에 가골의 형성이 관찰되는 경우로 하였다. 임상적으로는 최종 추시상의 주관절 및 건관절의 관절 운동 범위를 측정하였으며, 외래방문 시 설문지 및 면담을 통하여 기능적 평가를 시행하였다. 건관절의 기능 평가는 통증 및 환자의 만족도, 10가지의 일상 생활 동작을 이용한 American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) 점수를 이용해 우수(>75), 만족(60~75), 그리고 불량(<50)으로 분류하여 기능적 평가를 시행하였다¹⁰⁾. 주관절의 기능적 평가는 Mayo elbow performance score (MEPS)를 이용하여 각각의 등급을 매우

우수(90~100), 우수(75~89), 양호(60~70), 그리고 불량(<60)으로 분류하였다. 피부 절개부터 봉합 완료까지의 수술시간을 조사하였으며, 금속판 고정과 관련된 합병증 유무를 조사하였다.

결 과

1. 임상적 결과

최종 추시상 ASES 점수는 평균 92점(72~100점)으로, 우수가 15명, 양호가 2명이었다. 건관절의 기능 평가상 기능적으로 양호한 결과를 보인 2예 중 1예는 수상 전 요골신 경마비가 있었던 환자로 최종 추시상 마비가 완전히 회복

되었으나 고령으로 적극적인 건관절의 치료가 지연된 경우였으며, 1예는 수상 전부터 동결견의 증상이 있었던 환자로 수상 이전 상태로의 회복을 보였으나, 완전한 관절 운동 범위의 회복을 얻지는 못한 경우였다.

최종 추시상 주관절의 기능은 MEPS를 이용한 기능 평가상 우수 15명, 양호 2명이었다. 주관절 운동 범위는 상완골 원위부 골절 환자 10명 중 2명에서 평균 15도(10~20도)의 굴곡 구축을 보였으나, 이외의 모든 환자에서 건축과 동일한 주관절 관절 운동 범위를 회복하였다. 상완골 근위 골절의 평균 수술 시간은 85분(75~115분), 상완골 원위 골절의 평균 수술 시간은 92분(75~130분)이었다. 수술 전부터 요골신경마비가 있었던 2예 모두 최종 추시상 부가적인 요골신경의 탐색술 없이 완전한 기능의 회복을 얻었으며, 수술과 관련한 합병증은 없었다.

2. 방사선학적 결과

모든 환자에서 골유합을 얻었으며, 평균 골유합 시기는 14.2주(10~20주)였다. 5도 이상의 각형성 변형을 보인 경우는 없었으며, 최종 추시 관찰상 금속판의 부전, 나사못의 이완 등을 보인 경우는 없었다.

고 찰

최근 골절 치유 과정 및 수술 술기의 발전으로 대퇴골 및 경골 등의 장관골 골절에서 최소 침습적 금속판 고정술이 널리 사용되고 있다^{2,14,15)}. 이는 골절부의 혈행을 보존하여 가골 형성을 통한 조기 골유합을 유도하며, 과도한 연부 조직 박리로 인한 감염, 불유합, 이차적인 골이식술의 빈도를 낮춘다고 알려져 있다^{7,12,13)}. 해부학적 정복이 용이하지 않은 골간단부 분쇄 골절에서 골절의 간접 정복 후 가교 금속판을 이용한 유연성 고정기는 골절부의 상대적 안정성을 제공하며^{4,13)}, 해부학적 모양의 잠김 압박 금속판의 개발은 최소 침습적 금속판 고정술의 치료 결과를 향상시키고 있다^{8,9,12-14)}. 상완골 간부 골절은 전통적으로 관혈적 정복술 및 금속판 내고정과 골수강내 금속정 고정술이 선호되어 왔으나^{4,5,11)}, 각 수술의 단점을 극복하고자 상완골 골절에서의 최소 침습적 금속판 고정술의 술식 및 안전 구역에 대한 연구가 진행되어 왔고^{2,3)} 우수한 결과들이 보고되고 있다^{2,8,15)}. AO/OTA 골절 분류상 11- 및 13- 골절을 제외한 상완골 간부 골절에서의 최소 침습적 금속판 고정술은 전방 접근법으로 요골신경 및 근피신경의 손상을 주의한다면^{2,3,14)} 비교적 안전하게 금속판 고정술을 시행할 수 있다. 일반적으로는 5.0 잠김 압박 금속판을 이용하여 근위부 및 원위부에 3개의 나사못으로도 충분한 고정력을 얻

을 수 있으며, 골절의 정복 및 유지를 위한 다양한 술식이 보고되고 있다^{8,9,14)}. 하지만 상완골 근위 또는 원위 간부 골절에서 골절편이 크지 않은 경우 안정적인 내고정을 얻을 수 있는 충분한 개수의 나사못 삽입이 어려운 경우가 많다. 상완골 원위부 간부 골절에서 원위 골편의 크기가 작고 분쇄가 동반된 경우 전방 접근법보다는 후방 접근법을 이용하면 원위 골편에 충분한 나사 고정을 할 수 있는 장점이 있지만, 관혈적 정복술이 필요하게 되며 금속판의 근위부에서는 요골신경의 주행에 대한 주의가 필요하다^{2,3,13)}. 저자들의 경우 상완골 원위부 골절에서 5.0 잠김 압박 금속판으로 내고정 시 원위 골편의 크기가 충분하지 않아 3개의 잠김나사 고정이 어려운 경우에 3.5/5.0 metaphyseal LCP를 이용하여 4개 이상의 3.5 mm 나사못 고정을 시행할 수 있었고, 분쇄 골절편이 동반된 경우에도 안정적인 골유합을 얻을 수 있었다. 상완골 원위부 골절에서 금속판 고정을 위한 원위 절개창의 위치는 간부 골절에 비하여 원위부에 위치하게 되어 연부조직의 견인에 의한 요골신경의 손상 가능성이 높아질 수 있으므로 이에 대한 각별한 주의가 필요할 것으로 생각된다. 또한 상완골 원위 간부 골절 환자 10명 중 3명에서 평균 15도의 굴곡 구축이 발생하였는데, 이는 창상이 주관절 전면 주름과 근접하여 발생하는 연부 조직 구축으로 생각하였으며 조기에 적극적인 재활 치료가 필요하리라 생각한다^{1,7)}.

상완골 근위부 간부 골절의 경우 골절선이 상완골 경부에 가까워지게 되면 5.0 잠김 압박 금속판으로는 안정적인 근위 골편에 대한 고정이 어려워 상완골 근위 골절에 이용되는 Philos 금속판이 유용한 경우가 많다^{6,12,13)}. 본 연구에서는 Philos 금속판 고정이 필요할 정도의 상완골 근위 골절은 포함되지 않았으며, 대부분 근위부 골절의 나비형 골편이 상완골 경부에 근접하여 발생한 경우였다. 근위부 골절에서의 근위 절개창은 삼각 흉근 도달법(deltopectoral approach)의 연장선에서 삼각근과 이두근 사이로 접근하였으며, 상지를 90도 외전하여 접근하기 때문에 삼각근의 긴장성을 줄일 수 있어 삼각근의 외측 견인이 용이한 장점이 있다. 금속판이 상완골 근위부 전면부에 위치하게 되면, 이두근구(bicipital groove)에서 금속판에 의한 이두장 건의 자극을 초래할 수 있다. 금속판이 이두 구의 외측면에 위치할 수 있도록 세심한 주의가 필요했으며, 이에 따른 적절한 금속판의 술 전 성형이 필요하였다. 상완골 간부 골절에서의 최소 침습적 금속판 고정술 시에는 금속판이 상완골의 중앙에 위치하도록 하는 것이 골절의 정복 및 고정기에 용이하지만, 상완골 근위부 골절에서는 금속판의 위치가 정중앙보다 외측면에 위치하게 되므로 이를 감안하여 원위부 골절편 고정에 세심한 주의가 필요할 것이다.

관혈적 정복술 및 금속판 내고정과는 달리 최소 침습적

금속판 고정술의 경우 골절의 정복과 고정이 동시에 이루어져야 하고, 금속판이 골절 정복의 도구로 사용되어야 하므로 숙련된 기술이 요구된다. 저자들의 경우에는 대부분 도수 조작으로 골절의 정복을 유지할 수 있었고, 각 골절편에 대한 확정 고정 전에 일측 피질골에 대한 locking drill bit 고정과 drill sleeve를 통한 K-강선 고정으로 전후면 사진상에서의 정복 상태를 확인하였다. 금속판을 상완골 전면부에 밀착시키기 위하여 고식적 나사못(conventional screw)을 사용하는 것은 금속판의 윤곽 성형에 따라 측면 방사선 사진상에서의 골절 정복 정도를 결정하므로, 세심한 금속판 성형과 위치 선정이 중요하다. 유연성 고정으로 이차적 골유합을 얻기 위하여는 골절부에서 가능한 멀리 나사 고정이 되어야 하므로, 충분한 길이의 금속판 선택이 필요하다. 본 연구에서는 모든 예에서 안정적인 골유합 및 비교적 양호한 임상적 결과를 얻을 수 있었다. 이는 충분한 길이의 금속판으로 유연성 고정을 시행하였고, 크기가 작은 근위 또는 원위부 골절편에 4개 이상의 3.5 mm 나사못을 사용하여 안정적인 내고정을 얻을 수 있었기 때문이라고 생각한다. 본 연구는 동일한 골절 형태에서 금속판의 종류에 따른 비교 연구가 아니고 대상 환자의 숫자가 충분하지 않은 제한점이 있으나, 상완골 골절에서 최소 침습적 금속판 고정술 시 골절편의 크기가 작은 근위부 또는 원위부 골절에서 3.5/5.0 metaphyseal plate의 유용성에 대하여 보고하는 바이다.

결 론

상완골 근위 또는 원위 간부 골절에서 최소 침습적 금속판 고정술 시 골절편의 크기가 충분하지 않아 3개 이상의 5.0 잠김 나사못 고정이 어려운 경우에 3.5/5.0 잠김 압박 금속판을 이용한 내고정으로 크기가 작은 근위, 또는 원위부 골절편에서도 비교적 안정적인 내고정을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Ahn HS, Cho YH, Byun YS, Kwon DY, Nam SO, Kim DY: Elbow function and complications after internal fixation for fractures of the distal humerus. J Korean Fract Soc, **19**: 56-61, 2006.
- 2) Apivathakakul T, Patiyasikan S, Luevitoonvechkit S: Danger zone for locking screw placement in minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) of humeral shaft fractures: a cadaveric study. Injury, **41**: 169-172, 2010.
- 3) Bono CM, Grossman MG, Hochwald N, Tornetta P 3rd: Radial and axillary nerves. Anatomic considerations for humeral fixation. Clin Orthop Relat Res, (373): 259-264, 2000.
- 4) Chapman JR, Henley MB, Agel J, Benca PJ: Randomized prospective study of humeral shaft fracture fixation: intramedullary nails versus plates. J Orthop Trauma, **14**: 162-166, 2000.
- 5) Flinkkilä T, Hyvönen P, Lakovaara M, Linden T, Ristiniemi J, Hämäläinen M: Intramedullary nailing of humeral shaft fractures. A retrospective study of 126 cases. Acta Orthop Scand, **70**: 133-136, 1999.
- 6) Ha SS, Kim JY, Hong KD, Sim JC, Kang JH, Park KH: Operative treatment with locking compression plate (LCP) in proximal humerus fracture. J Korean Shoulder Elbow Soc, **11**: 137-142, 2008.
- 7) Kobayashi M, Watanabe Y, Matsushita T: Early full range of shoulder and elbow motion is possible after minimally invasive plate osteosynthesis for humeral shaft fractures. J Orthop Trauma, **24**: 212-216, 2010.
- 8) Lee HJ, Oh CW: Operative treatment of humerus shaft fracture: conventional open plating or minimally invasive plate osteosynthesis. J Korean Fract Soc, **25**: 155-162, 2012.
- 9) Livani B, Belangero WD: Bridging plate osteosynthesis of humeral shaft fractures. Injury, **35**: 587-595, 2004.
- 10) Michener LA, McClure PW, Sennett BJ: American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Shoulder Assessment Form, patient self-report section: reliability, validity, and responsiveness. J Shoulder Elbow Surg, **11**: 587-594, 2002.
- 11) Rommens PM, Blum J, Runkel M: Retrograde nailing of humeral shaft fractures. Clin Orthop Relat Res, (350): 26-39, 1998.
- 12) Shin SJ, Do NH, Song MH, Sohn HS: Minimal invasive plate osteosynthesis in proximal humerus fractures. Clin Should Elbow, **13**: 202-208, 2010.
- 13) Shin SJ, Sohn HS, Do NH, Kang SS, Baek KY: Minimally invasive plate osteosynthesis of proximal, middle and distal humerus fractures. J Korean Orthop Assoc, **45**: 448-455, 2010.
- 14) Vander Griend R, Tomasini J, Ward EF: Open reduction and internal fixation of humeral shaft fractures. Results using AO plating techniques. J Bone Joint Surg Am, **68**: 430-433, 1986.
- 15) Zhiquan A, Bingfang Z, Yeming W, Chi Z, Peiyan H: Minimally invasive plating osteosynthesis (MIPO) of middle and distal third humeral shaft fractures. J Orthop Trauma, **21**: 628-633, 2007.