

골다공증 환자에서 발생한 상완골 근위부 및 간부 골절의 Polarus 골수정을 이용한 치료

황연수 · 김광열 · 김형천 · 안수한 · 이동은

왈레스기념 침례병원 정형외과

목 적: 고령의 골다공증 환자에서 발생한 상완골 근위부 및 간부 골절에서 Polarus 골수정을 이용한 치료의 유용성을 평가해보고자 한다.

대상 및 방법: 고령의 골다공증 환자에서 발생한 상완골 근위부 골절과 간부에서 Polarus 골수정 고정술을 시행한 23예를 대상으로 하였다. 골절 형태는 근위부 골절이 9예, 간부 골절이 10예, 근위부와 간부를 동시에 침범한 골절이 4예였다. 방사선학적 결과는 골유합과 잔여 변형각 정도를 포함하였다. 잔여 변형각은 경간각(neck-shaft angle)과 간부 각변형(shaft angulation)으로 평가하였다. 임상적 평가는 American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) 점수 평가법을 이용하여 분석하였다.

결 과: 모든 예에서 골유합을 보였으며, 평균 골유합 기간은 16.5주였다. 골유합 당시 평균 경간각은 135°였고, 내반 변형은 발생하지 않았다. 5° 이상의 간부 각변형이 3예 발생하였다. 수술 후 기능 평가에서 평균 ASES 점수는 86.7점이었다.

결 론: Polarus 골수정은 수술 후 빠른 재활 운동이 가능할 뿐만 아니라 상완골두 무혈성 괴사나 불유합 소견 없이 골유합을 보여줌으로써 노인 골다공증 환자의 상완골 근위부 및 간부 골절 치료에 유용하다.

색인 단어: 상완골 근위부, 간부, 골다공증, 상완골두 무혈성 괴사, 불유합, Polarus, 골수정

Polarus Intramedullary Nail for Proximal Humeral and Humeral Shaft Fractures in Elderly Patients with Osteoporosis

Youn-Soo Hwang, M.D., Kwang-Yeol Kim, M.D., Hyung-Chun Kim, M.D., Su-Han Ahn, M.D., Dong-Eun Lee, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Baptist Hospital, Busan, Korea

Purpose: To assess the effectiveness of optimal treatment of proximal humeral fractures and humeral shaft fractures in elderly patients with osteoporosis using the Polarus nail.

Materials and Methods: Twenty-three patients with proximal humeral and humeral shaft fractures in elderly osteoporosis patients were treated using the Polarus intramedullary nail. Nine patients had proximal humeral fracture, 10 had humeral shaft fracture and 4 had the proximal humeral fracture extended diaphyseally. Radiological outcomes included the bone-union and the degree of re-sidual deformity. The residual deformities of the proximal humerus were assessed by the neck-shaft angle and the shaft angulation. Clinical outcome was assessed with the American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) score.

Results: All cases had bony union and the mean union period was 16.5 weeks. The average neck/shaft alignment at the time of bone union was 135° and varus deformities of neck-shaft angle was not seen in all patients. Varus shaft angulation was seen in 5 patients. The mean ASES score after surgery was 86.7 points.

Conclusion: The Polarus intramedullary nail is effective for the treatment of proximal humeral and humeral shaft fractures in elderly patients with osteoporosis because it not only enables early postoperative mobilization, but also obtains bone-union without avascular necrosis and nonunion.

Key Words: Proximal humerus, Shaft, Osteoporosis, Avascular necrosis, Nonunion, Polarus, Intramedullary nail

통신저자 : 황 연 수

부산시 금정구 금단로 200, 왈레스기념 침례병원 정형외과

Tel : 051-580-1270 • Fax : 051-583-7114

E-mail : promenade20@naver.com

접수: 2012. 11. 9

심사(수정): 1차 2012. 12. 6, 2차 2012. 12. 17, 3차 2012. 12. 20

게재확정: 2012. 12. 21

Address reprint requests to : Youn-Soo Hwang, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Baptist Hospital, 200, Geumdan-ro,

Geumjeong-gu, Busan 609-728, Korea

Tel : 82-51-580-1270 • Fax : 82-51-583-7114

E-mail : promenade20@naver.com

서 론

근위 상완골의 골절은 전체 골절의 약 5%를 차지하며 대부분 나이가 많으면서 골다공증이 있는 환자가 넘어지면서 발생하는 경우가 많다⁸⁾. 노령화 사회에 접어들면서 그 발생이 점점 늘어나고 있으며 Palvanen 등²⁸⁾은 1970년에서 2002년 사이 환자 수가 3배 이상 증가하였다고 보고하였다. 다행히 대부분의 골절은 전위가 심하지 않아 보존적 방법으로 큰 문제 없이 치료되지만, 골절을 당한 환자 중 약 20%는 수술을 필요로 하게 되며^{1,2,24)}, 골절의 특징에 따라 치료가 매우 어렵고 합병증도 많이 발생하기 때문에 근위 상완골 골절은 아직 해결되지 않은 골절 중 하나로 일컬어지고 있다.

간부 골절의 수술적 치료는 고정물의 모양과 수술 기법의 발전으로 보편화되고 있다. 금속판을 이용한 수술적 치료는 강한 고정으로 빠른 기능 회복을 가능하게 한다^{17,23,27)}. 하지만 골수강내 금속정을 이용한 치료도 충분한 안정성을 제공하며, 연부조직 손상을 최소화, 낮은 감염으로 선호되고 있다¹⁹⁾. 특히 개방성, 분쇄 및 분절 골절과 골다공증이 있는 환자에서 좋은 적응증이 된다^{4,15,35,37)}.

금속판 내고정술은 기술적으로 이분 골절을 튼튼히 고정하기 힘든 경우가 있어, 고에너지 손상에 의한 외상이거나 다발성 외상이 동반된 젊은 성인에서 사용하는 것이 좋다. 삼분과 사분 골절에서 사용하던 방법으로, 안정적인 해부학적 내고정술을 시행할 수 있는 장점이 있다¹⁰⁾. 하지만 연부조직을 광범위하게 박리하면 혈행 순환에 장애를 주어 상완골두의 무혈성 괴사를 초래하고, 기술적인 문제로 금속판을 너무 근위부에 위치시키면 견봉하 공간에서의 충돌을 일으키게 된다. 강한 내고정을 얻기 위해서는 골질이 좋은 골두의 내측과 후방에 나사가 삽입되도록 하여야 하지만, 골질의 양상에 따른 위치의 제한이 있다¹⁴⁾. 또한, 골다공증이 심하거나 분쇄상 골절에서 수술이 용이하지 않고, 심할 경우 골이식술이 필요하고 나사의 이완 등 많은 합병증을 초래한다¹⁶⁾.

골수정내 금속정은 비관혈적 정복이 가능하여 연부조직의 박리를 적게 하여 상완골두의 혈액 순환 손상을 최소화하여 무혈성 괴사나 불유합 빈도가 낮고, 감염의 위험성이 떨어지며, 다방향의 나사못이 상완골두로 삽입될 수 있어 안정성을 증가시킨다. 하지만 골수강내 고정술의 단점으로 금속정의 관절내 돌출로 인해 생길 수 있는 동통, 금속정 삽입 시 유발되는 회전근개 손상, 부정유합, 경간각(neck shaft angle) 감소 및 간부의 각변형(angulation) 등이 발생할 수 있다.

이에 저자들은 고령의 골다공증 환자에서 발생한 상완골 근위부 및 간부 골절에 대하여 비관혈적 정복술 후 Polarus

골수정을 이용한 내고정술을 시행한 23예에 대한 임상적 및 방사선학적 치료 결과를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2001년부터 2011년까지 상완골 근위부 및 간부 골절에서 Polarus 골수정을 이용한 내고정술을 시행한 34예 중 추시 관찰이 가능하였던 23예를 대상으로 하였고 평균 나이는 63.5세, 평균 T score는 -2.84 로 고령의 골다공증 환자들이었다. 성별은 남자가 14예, 여자가 9예였으며, 평균 추시 기간은 28개월이었다. 골절의 원인으로는 교통사고가 10예, 실족 사고가 8예, 추락 사고가 5예였으며 수상 후 수술까지의 기간은 평균 4.52일이었다. 골절 종류는 상완골 근위부 골절이 9예, 간부 골절이 10예, 상완골 근위부와 간부를 동시에 침범한 골절 4예였다. 골절 양상은 Neer의 4분 분류법과 Orthopaedic Trauma Association (OTA) 분류법에 따라 상완골 근위부와 간부를 구분하여 분류하였다. 상완골 근위부 골절은 Neer의 4분 분류법을 기준으로 하였으며 3분 골절 2예, 2분 골절 7예였다. 상완골 간부 골절은 OTA 분류법에 따라 분류하였으며 A1형 3예, A2형 1예, A3형 3예, B2형 2예, B3형 1예를 보였다.

Polarus 골수정에 대한 평가는 임상적 결과와 방사선학적 결과로 나누어 분석하였다. 임상적 평가는 American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) 점수 평가법을 이용하였으며, ASES 점수 100-91점을 우수(excellent), 90-81점을 양호(good), 80-71점을 보통(fair), 70점 이하를 불량(poor)으로 나누었으며, 양호 이상을 만족스러운 결과로 판단하였다. 또한 수술 이후 신경학적 손상, 무혈성 괴사, 감염 및 내고정 실패 등의 합병증의 발생을 관찰하였다. 방사선학적 평가는 골유합과 각형성 변형의 유무를 평가하였으며 골유합은 전후방 및 측면 촬영에서 피질골의 연속성이 처음 관찰되는 시기로 정의하였고, 각형성 변형의 유무는 근위부 골절의 경우 경간각을, 간부 골절의 경우 골절선을 기준으로 발생한 각변형을 측정하여 평가하였다. 정상 경간각은 130° 이며 내반 변형(varus deformity)은 120° 이하로 정의하였고, 간부 골절의 경우 5° 이상의 각변형 발생 시 잔여 각변형이 발생하였다고 판단하였다^{32,34)}.

2. 수술 방법 및 재활

수술은 전 예에서 전신 마취하에 해변 의자 자세에서 수술을 시행하였다. 영상 투시기를 이용하여 견봉 위치를 확인한 후 견봉 전외측 모서리에서 하방으로 약 3 cm의 피

부 절개 후 회전근개에 골수정 삽입을 위한 1.5 cm 종절개를 시행하였다. 연구 대상자들의 평균 나이가 63.5세로 회전근개의 퇴행성 변화가 대부분의 예에서 관찰되었고 봉합 가능한 회전근개 파열이 발견된 예에서는 비흡수성 봉합사(Ethibond, Ethicon, Somerville, NJ, USA)를 이용하여 파열된 끝단에 표시 봉합을 시행하여 이후 봉합을 용이하게 하였다. 영상 투시기로 상완골 대결절 바로 내측 부위에 송곳으로 표시를 한 후 유관나사 천공 비트를 이용하여 Polarus 골수정 삽입구를 만들었다. 영상 투시기로 전후방 및 액와 영상을 확인하면서 도수 정복을 시행한 상태에서 유도핀을 삽입한 다음 정복이 양호함을 확인하고 골확장기를 사용하여 유도핀을 따라 대결절 부위 골수정 유입구 확공을 시행한 후 골수정을 삽입하였다.

상완골두에 골수 내 표적 유도핀(nail-mounted targeting guide)하에 다방향으로 직경 5 mm의 근위부 고정나사를 최대 4개까지 삽입하였고 골수정 근위부 말단이 회전근개와 충돌을 일으키지 않도록 유입구에 함몰되게 삽입하였다. 일부 환자에서는 첨단체(end cap)를 사용하여 향후 기구 제거에 유의하도록 하였다. 표적화 장치(targeting device)를 이용하여 주변 조직의 손상은 최소화하면서 3.5 mm 원위 고정나사 1-2개를 삽입하였다. 절개한 회전근개는 골수정 삽입 후 봉합하였고 고령으로 인해 절개 이전에 이미 퇴행성으로 파열된 부분에 대해서도 최대한의 재건술을 시행하였다. 수술 다음날부터 진자 운동 및 수동적 전방 거상 운동을 시작하였으며, 환자의 주관적 동통에 따라 최대한 빨리 능동적인 운동을 시작하였다.

결 과

평균 ASES 점수는 86.7점(62-100점)이었으며 우수 9예, 양호 10예, 보통 3예, 불량 1예로, 21예(82.6%)에서 만족스런 결과를 나타내었다(Table 1). 술 후 발생한 합병증은 요골신경마비 1예, 근위 고정나사 이주가 2예 발생하였다. 요골신경마비는 보존적 치료를 유지하면서 6개월 추시 관찰

한 결과 마비 증세는 소실되었다. 근위 고정나사 이주가 발생한 2예는 이주가 있었으나 통증을 비롯한 자극 증상이 심하지 않아 제거하지 않고 재할 치료를 중단한 상태에서 진자 운동 및 수동적 거상 운동만 유지하였다. 그럼에도 불구하고 골유합에는 큰 차이가 없었으며 견관절 운동 범위에도 영향을 주지 않았다. 거의 대부분의 예에서 고령으로 인한 견관절 부위의 퇴행성 관절염 소견 및 관절 운동 장애로 인한 통증이 존재하던 상태에서 골절이 발생하였고, 골유합 이후 골절 발생 이전보다 악화된 통증이 발생한 경우는 없었으며, 기존의 통증 정도를 유지하는 경우가 대부분이었다.

총 23예 모두에서 골유합을 보였으며, 평균 골유합 기간은 16.5주였다. 수술 직후 측정한 평균 경간각은 132.3°였고 골유합 당시 평균 경간각은 135°였으며, 수술 직후와 골유합 당시 경간각의 변화를 비교했을 때 5° 이상의 내반 변형을 보이는 예는 발생하지 않았다. 5° 이상의 간부 각 변형이 3예 발생하였다(Fig. 1, Table 2).

고 찰

상완골 근위부 골절 환자의 약 80% 정도는 비수술적인 치료로 만족할 만한 결과를 얻는다³⁸⁾. 그러나 심한 전위 또는 분절 골절을 보이는 상완골 근위부 골절에서 보존적 치료 시에는 골괴사, 불유합, 부정유합 및 견관절의 기능적 장애 등의 합병증이 발생할 가능성이 높아 수술적 치료를 필요로 한다^{11-13,20,39,40)}. 근위부 골절에 대한 관혈적 정복 및 금속판을 이용한 내고정술의 일차적 적응증은, 골다공증이 없는 젊은 환자에서 발생하여 강한 내고정을 시행할 수 있고, 수술 후 오랜 기간 동안 시행할 재활 치료에 잘 견딜 수 있는 활동력이 좋은 환자여야 한다^{28,31)}. 절대적 적응증은 개방성 골절, 혈관이나 신경 손상이 동반될 때, 정복이 불가능한 골절 탈구 등이다^{5,18)}.

반대로 환자가 골다공증이 심하거나 강한 내고정을 시행할 가능성이 희박한 노령 환자의 경우에는 관혈적 정복 및 내고정술보다 연부조직 박리를 최소화하여 수술 후 감염률이 낮고 조기 재활 치료 시행할 수 있어 외상 후 강직을 예방할 수 있는 골수강내 골수정 고정술을 고려할 수 있다.

대부분의 간부 골절은 또한 보존적 치료로 치료 가능하며 기대 유합률이 90% 이상으로 높다²⁸⁾. 수술적 치료의 적응증은 개방성, 분절, 병적 골절과 신경 및 혈관 손상, 다발성 골절, 양측 상완골 골절, 보존적 치료의 실패 등이다¹⁵⁾.

금속판을 이용한 수술적 치료는 높은 유합률을 보이며, 강한 고정력으로 인하여 빠른 기능 회복이 장점이다²⁶⁾. 하지만, 골막의 과도한 박리 및 요골신경과의 근접성, 골다공증 환자에서의 약한 고정력 등의 문제점이 있다⁶⁾.

Table 1. Functional Outcome as Measured by ASES Score

	Number of patient	Rate (%)
Subtotal		
Excellent	9	39.1
Good	10	43.5
Fair	3	13.0
Poor	1	4.4
Total	23	100.0

ASES: American shoulder and elbow surgeons.

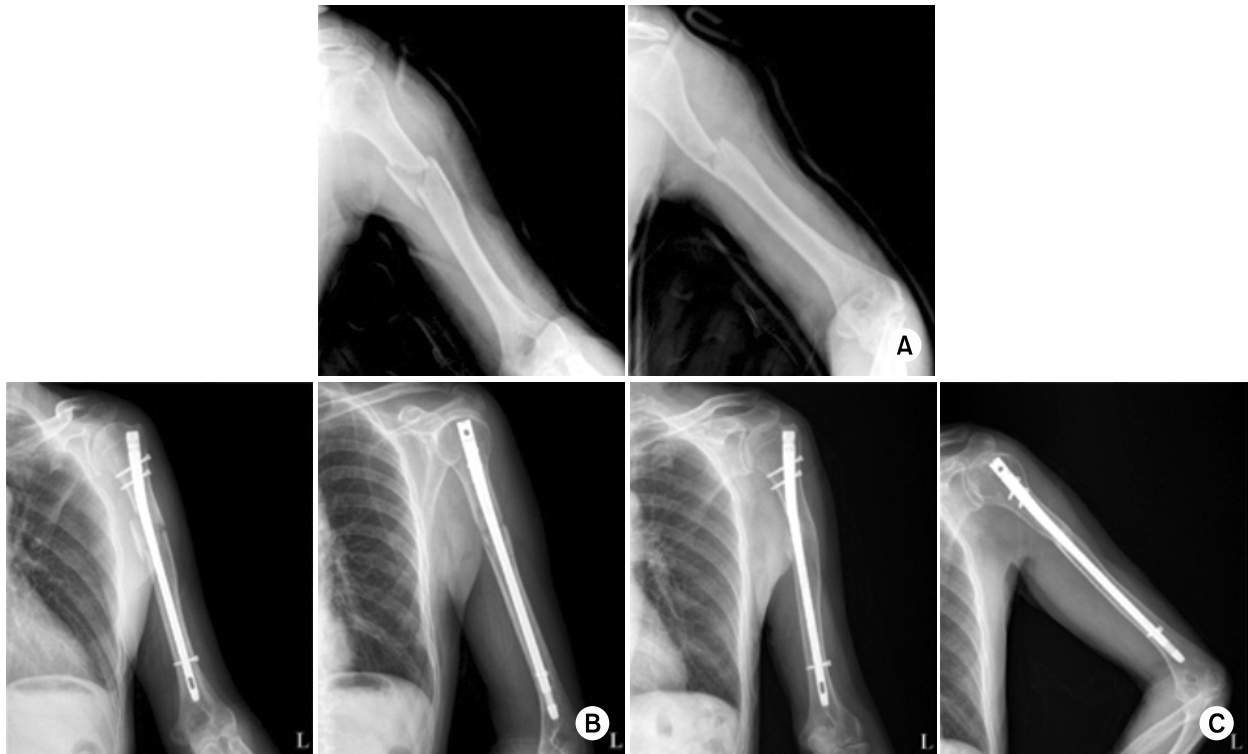


Fig. 1. Closed segmentally comminuted humeral shaft fracture in a 67-year-old man.

(A) Pre-operative radiographs demonstrating the fracture.

(B) Post-operative radiographs after closed reduction and internal fixation with the Polarus intramedullary nail.

(C) Fourteen weeks follow up radiographs demonstrating healing across the fracture site with 13.1° varus angulation at humeral midshaft. Good function was achieved in this patient.

Table 2. Radiological Outcomes as Residual Deformities

	Number of patient	Rate (%)
Subtotal		
Varus-deformity > 5°	0	0
Shaft angulation > 5°	3	13
Total	3	13

골수강내 금속정 고정술은 덜 침습적이고 금속판에서 보여지는 교합나사의 고정력에 의한 것이 아니라 골수강내 접촉에 의한 고정력을 얻음으로써 수술이 필요한 고령의 상완부 간부 골절 치료에서 좋은 골 고정력을 가진 치료 방법으로 생각된다^{25,29,33)}.

본 연구에서는 연부조직 박리 최소화, 수술 후 감염률 감소, 조기 재활 시행 가능성을 장점으로 하는 골수강내 골수정 고정술을 고령의 골다공증 환자에서 발생한 상완골 근위부 및 간부 골절 23예에서 시행하여 모든 예에서 방사선학적 골유합을 얻었으며, 방사선학적 합병증으로 수술 직후와 골유합 당시 각형성 변형을 비교했을 때 3예(13%)

에서 5° 이상의 간부 각변형이 발생하였지만 5° 이상 경간각의 내반 변형은 발생하지 않았으며, ASES 점수 평가법을 이용한 기능 평가에서 21예(82.6%)에서 만족스런 결과를 나타내었다. 임상적 합병증으로 1예에서 요골신경마비, 2예에서 근위 고정나사의 이주가 발생하였다.

상완골 폐쇄 골절 시 술 후 요골신경마비는 약 8-15% 정도에서 발생하며 이는 생리적 신경 차단(neuropraxia)이 대부분이고 약 85-90% 정도가 6개월 이내에 자연적으로 좋아진다고 한다^{3,22)}. 또한 요골신경마비는 근위부 골절보다 중간부와 원위부 골절에서 잘 발생하고 특히 수술 후 발생한 경우에는 관혈적 정복술 후 혹은 과도한 도수 정복 후에, 수술 중 신경 탐색 작업을 하지 않았을 경우에, 그리고 골절 모양이 나선상 골절일 때 흔히 합병된다고 한다³⁰⁾. 본 연구에서 발생한 요골신경마비 역시 수술 후 8주째부터 좋아지기 시작하여 추시 6개월째 마비 증세는 사라졌으나, 상완골 중간 1/3 부위에서 발생한 나선상 골절이고 수술 중 무리한 도수 정복 과정에서 발생했을 가능성이 컸던 만큼 수술 전 골절 부위와 골절 모양을 고려하고 수술 중에도 신경 탐색술을 시행하는 등 요골신경마비에 대한 세심



Fig. 2. Closed proximal 1/3 humeral fracture with an associated radial nerve palsy in a 70-year-old man.

(A) Pre-operative radiographs demonstrating the fracture.

(B) Post-operative radiographs after closed reduction and internal fixation with the Polarus intramedullary nail, without radial exploration was done.

(C) Obvious union with callus formation was found 15 weeks after the operation.

한 관찰이 필요할 것으로 생각된다(Fig. 2).

본 연구에서 2예에서 발생한 상완골 근위 고정나사 이주는 Polarus 골수정의 경우 견고한 고정을 위해 상완골 근위부에 최대 4개의 나사못을 다방향으로 고정이 가능하여 골편이 얇고 많은 골다공증 환자에게 사용 가능한 장점이 있지만, 나사 잠김이 되지 않아서 발생하는 문제로 잠김나사(locking screw)의 도입이 필요하다고 생각된다. 본 연구에서는 이주한 나사의 돌출에 의한 동통 및 관절 운동 장애가 심하지 않아 제거하지 않았고, 제한적인 관절 운동하에 추시 관찰하였고 동통은 사라지고 골유합 및 관절 운동범위에도 큰 영향을 주지 않았다.

금속판을 이용한 내고정술은 주관절 기능이 감소하지만 금속정을 이용할 때는 견관절 기능이 감소한다⁷⁾. 견관절 기능의 느린 회복은 과도한 회전근개 손상의 불충분한 봉합, 견봉하 공간에서의 금속정 충돌 현상, 금속정의 상방 돌출과 근위 교합나사의 이완에 의해서도 나타날 수 있다^{9,21)}. 그러므로 수술 시 골수정을 유입구 밑에 함몰되지 않게 고정하게 되면 관절 운동시 견봉하 공간에서 충돌을 일으켜 통증이 유발될 수 있으므로 골수정을 상완골 유입구 밑에

함몰되게 고정하고, 골수정 삽입을 위해 시행한 회전근개의 종결개 부위와 고령으로 인한 퇴행성 회전근개 파열 부분까지 최대한 재건이 필요하다.

결론

근위 상완골 골절 및 간부 골절의 대다수는 노인에게서 발생하는 불안정하지 않은 골절로 이는 보존적 방법으로 치료될 수 있다. 하지만 일부 환자에서는 비수술적 치료만으로는 좋은 결과를 얻기 힘들고 여러 합병증이 발생할 가능성이 높아 이러한 환자들의 위험 요인을 평가하는 것이 중요하다. 상완골 골절에 대한 골수강내 골수정 고정술은 연부조직의 박리를 최소화하여 빠른 골유합을 보이며 상완골두의 무혈성 괴사 및 감염 등의 합병증을 낮춘다. 또한 충분한 골고정력으로 안정성을 보이므로 노령 및 골다공증이 심한 환자에서 적용될 수 있으며, 적절한 수술 기법을 사용한다면 견관절의 기능 저하 없이도 술 후 높은 골유합률 및 기능 회복을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) **Adedapo AO, Ikpeme JO:** The results of internal fixation of three- and four-part proximal humeral fractures with the Polarus nail. *Injury*, **32**: 115-121, 2001.
- 2) **Agel J, Jones CB, Sanzone AG, Camuso M, Henley MB:** Treatment of proximal humeral fractures with Polarus nail fixation. *J Shoulder Elbow Surg*, **13**: 191-195, 2004.
- 3) **Bhandari M, Devereaux PL, McKee MD, Schemitsch EH:** Compression plating versus intramedullary nailing of humeral shaft fractures--a meta-analysis. *Acta Orthop*, **77**: 279-284, 2006.
- 4) **Brumback RJ:** The rationales of interlocking nailing of the femur, tibia, and humerus. *Clin Orthop Relat Res*, **(324)**: 292-320, 1996.
- 5) **Brumback RJ, Bosse MJ, Poka A, Burgess AR:** Intramedullary stabilization of humeral shaft fractures in patients with multiple trauma. *J Bone Joint Surg Am*, **68**: 960-970, 1986.
- 6) **Changulani M, Jain UK, Keswani T:** Comparison of the use of the humerus intramedullary nail and dynamic compression plate for the management of diaphyseal fractures of the humerus. A randomised controlled study. *Int Orthop*, **31**: 391-395, 2007.
- 7) **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.
- 8) **Court-Brown CM, Caesar B:** Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury*, **37**: 691-697, 2006.
- 9) **Dabezies EJ, Banta CJ 2nd, Murphy CP, d'Ambrosia RD:** Plate fixation of the humeral shaft for acute fractures, with and without radial nerve injuries. *J Orthop Trauma*, **6**: 10-13, 1992.
- 10) **Füchtmeier B, May R, Hente R, et al:** Proximal humerus fractures: a comparative biomechanical analysis of intra and extramedullary implants. *Arch Orthop Trauma Surg*, **127**: 441-447, 2007.
- 11) **Garnavos C, Lasanianos N:** Intramedullary nailing of combined/extended fractures of the humeral head and shaft. *J Orthop Trauma*, **24**: 199-206, 2010.
- 12) **Halder SC, Chapman JA, Choudhury G, Wallace WA:** Retrograde fixation of fractures of the neck and shaft of the humerus with the 'Halder humeral nail'. *Injury*, **32**: 695-703, 2001.
- 13) **Hartsock LA, Estes WJ, Murray CA, Friedman RJ:** Shoulder hemiarthroplasty for proximal humeral fractures. *Orthop Clin North Am*, **29**: 467-475, 1998.
- 14) **Hepp P, Lill H, Bail H, et al:** Where should implants be anchored in the humeral head? *Clin Orthop Relat Res*, **(415)**: 139-147, 2003.
- 15) **Ingman AM, Waters DA:** Locked intramedullary nailing of humeral shaft fractures. Implant design, surgical technique, and clinical results. *J Bone Joint Surg Br*, **76**: 23-29, 1994.
- 16) **Instrum K, Fennell C, Shrive N, Damson E, Sonnabend D, Hollinshead R:** Semitubular blade plate fixation in proximal humeral fractures: a biomechanical study in a cadaveric model. *J Shoulder Elbow Surg*, **7**: 462-466, 1998.
- 17) **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.
- 18) **Levy B, Herrera D, Templeman D, Cole P:** Segmental proximal humerus fractures: a case report of submuscular plating. *J Trauma*, **65**: 1554-1557, 2008.
- 19) **Lin J:** Treatment of humeral shaft fractures with humeral locked nail and comparison with plate fixation. *J Trauma*, **44**: 859-864, 1998.
- 20) **Lin J, Hou SM:** Locked nailing of severely comminuted or segmental humeral fractures. *Clin Orthop Relat Res*, **(406)**: 195-204, 2003.
- 21) **Lin J, Hou SM, Inoue N, Chao EY, Hang YS:** Anatomic considerations of locked humeral nailing. *Clin Orthop Relat Res*, **(368)**: 247-254, 1999.
- 22) **McCormack RG, Brien D, Buckley RE, McKee MD, Powell J, Schemitsch EH:** Fixation of fractures of the shaft of the humerus by dynamic compression plate or intramedullary nail. A prospective, randomised trial. *J Bone Joint Surg Br*, **82**: 336-339, 2000.
- 23) **Meekers FS, Broos PL:** Operative treatment of humeral shaft fractures. The Leuven experience. *Acta Orthop Belg*, **68**: 462-470, 2002.
- 24) **Neer CS 2nd:** Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation. *J Bone Joint Surg Am*, **52**: 1077-1089, 1970.
- 25) **Noh KC, Chung YK, Chung KJ, Hong SK:** Two-part and three-part fractures of the proximal humerus treated

- with the Polarus interlocking nail: a comparison of fracture types. *J Korean Fract Soc*, **19**: 182-187, 2006.
- 26) **Oh HK, Choo SK, Lee JI, Seo DH**: Minimally invasive plate osteosynthesis for humeral proximal or distal shaft fractures using a 3.5/5.0 metaphyseal locking plate. *J Korean Fract Soc*, **25**: 305-309, 2012.
 - 27) **Oh JH, Kim YH**: The current concepts in the treatment of proximal humerus fracture. *J Korean Fract Soc*, **25**: 94-104, 2012.
 - 28) **Palvanen M, Kannus P, Niemi S, Parkkari J**: Update in the epidemiology of proximal humeral fractures. *Clin Orthop Relat Res*, **442**: 87-92, 2006.
 - 29) **Park JY, Oh JH, Kho DH, Jung JK**: Intramedullary nail on the humeral fracture. *J Korean Fract Soc*, **21**: 244-254, 2008.
 - 30) **Park TS, Lee JH, Kim TS, Lee KH, Park KC**: Contributing factors of radial nerve palsy associated with humeral shaft fracture. *J Korean Fract Soc*, **21**: 292-296, 2008.
 - 31) **Rancan M, Dietrich M, Lamdark T, Can U, Platz A**: Minimal invasive long PHILOS[®]-plate osteosynthesis in metadiaphyseal fractures of the proximal humerus. *Injury*, **41**: 1277-1283, 2010.
 - 32) **Ruch DS, Glisson RR, Marr AW, Russell GB, Nunley JA**: Fixation of three-part proximal humeral fractures: a biomechanical evaluation. *J Orthop Trauma*, **14**: 36-40, 2000.
 - 33) **Sosef N, Stobbe I, Hogervorst M, et al**: The Polarus intramedullary nail for proximal humeral fractures: outcome in 28 patients followed for 1 year. *Acta Orthop*, **78**: 436-441, 2007.
 - 34) **Sturzenegger M, Fornaro E, Jakob RP**: Results of surgical treatment of multifragmented fractures of the humeral head. *Arch Orthop Trauma Surg*, **100**: 249-259, 1982.
 - 35) **Verbruggen JP, Stapert JW**: Humeral fractures in the elderly: treatment with a reamed intramedullary locking nail. *Injury*, **38**: 945-953, 2007.
 - 36) **Watanabe RS**: Intramedullary fixation of complicated fractures of the humeral shaft. *Clin Orthop Relat Res*, **(292)**: 255-263, 1993.
 - 37) **Weise K, Grosse B, Hoffmann J, Sauer N**: Results of treatment of 475 second- and third-degree open fractures of long tubular bones (1974-1988). *Aktuelle Traumatol*, **23 Suppl 1**: 2-20, 1993.
 - 38) **Yang KH**: Helical plate fixation for treatment of comminuted fractures of the proximal and middle one-third of the humerus. *Injury*, **36**: 75-80, 2005.
 - 39) **Young TB, Wallace WA**: Conservative treatment of fractures and fracture-dislocations of the upper end of the humerus. *J Bone Joint Surg Br*, **67**: 373-377, 1985.
 - 40) **Zyto K, Wallace WA, Frostick SP, Preston BJ**: Outcome after hemiarthroplasty for three- and four-part fractures of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg*, **7**: 85-89, 1998.