



대퇴골 원위부 골절 노인 환자에서 잠김 금속판 고정술: 어떻게 합병증을 피할 것인가?

장철영 · 유제현[✉]

한림대학교 성심병원 정형외과

Locked Plating in Elderly Patients with Distal Femur Fracture: How to Avoid Complications?

Chul-Young Jang, M.D., Je-Hyun Yoo, M.D., Ph.D.[✉]

Department of Orthopaedic Surgery, Hallym University Sacred Heart Hospital, Anyang, Korea

Received March 28, 2019

Revised March 29, 2019

Accepted March 29, 2019

✉Correspondence to:

Je-Hyun Yoo, M.D., Ph.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Hallym University Sacred Heart Hospital, 22 Gwanpyeong-ro 170beon-gil, Dongan-gu, Anyang 14068, Korea
Tel: +82-31-380-1885
Fax: +82-31-382-1814
E-mail: oships@hallym.ac.kr

Financial support: None.

Conflict of interests: None.

Distal femur fractures in elderly patients with osteoporosis are complicated because poor bone quality makes screw purchase and fixation less secure, presenting many clinical challenges to the orthopedic surgeon. Minimally invasive locked plating using an angularly stable locking compression plate has become an integral tool for achieving secure fixation in osteoporotic distal femur fractures with improved biomechanical performance. On the other hand, complications, such as implant failure and periplate fracture, have still occurred. This paper describes the principles of internal fixation in minimally invasive lateral locked plating in elderly patients with osteoporotic distal femur fractures as well as how to avoid complications.

Key Words: Distal femur, Osteoporotic fracture, Lateral locked plating, Complications

서 론

노인 환자의 대퇴골 원위부 골절은 골다공증으로 인한 고정력 감소 및 이로 인한 고정 실패가 발생하기 쉬운 골절이다.¹⁻³⁾ 수술적 치료 방법은 골수강내 금속정 고정술(intra-medullary nailing) 또는 외측 잠김 금속판 고정술(lateral locked plating)이 흔히 사용되고 있다. 이 중 골수강내 금속정 고정술은 금속판 고정술에 비해 생역학적 이점이 있지만

대퇴골 원위부의 넓은 내강으로 인해 고정의 안정성 확보와 부정 정렬을 예방하기 위해 Poller 나사 삽입과 같은 추가 조 작이 필요하고 대퇴골 원위부 골간단(metaphysis) 분쇄 골절 및 관절면을 포함한 골절, 이전에 고관절 혹은 슬관절에 인공관절 치환술을 시행받은 환자에서는 사용할 수 없다는 단 점이 있다. 일반적으로 고령의 대퇴골 원위부 골절에서 가장 많이 사용되는 골유합술은 금속판 고정술이며 최근에는 가 교 금속판 고정술(bridging plating) 및 최소 침습 수술 등의

새로운 기법들이 도입되고 대퇴골 원위부 모양에 맞는 해부학적 금속판이 도입되면서 외측 잠금 금속판 고정술(lateral locked plating)이 널리 시행되고 있다.

고령의 대퇴골 원위부 골절에서 외측 잠금 금속판 고정술을 시행할 때 간접 정복을 통해 부정 정렬을 방지하고 잠금 금속판의 특성을 정확하게 이해하여 적절한 고정을 하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 본문에서는 고령의 대퇴골 원위부 골절 환자에서 외측 잠금 금속판 고정술의 치료 원칙에 대하여 살펴보고자 한다.

본 론

1. 잠금 금속판의 특징

Mast 등⁴⁾이 골절편을 노출시키지 않는 간접 정복의 장점을 기술하고 생물학적 금속판 고정술(biological plate fixation)이라는 개념을 제시한 후 가교 금속판 고정술을 이용하여 골유합 시간을 줄이고 골이식 빈도를 낮추며 감염 등의 합병증 발생을 감소시키면서 기능적으로 더 좋은 결과를 얻었다는 연구들이 보고되어 왔다.⁵⁻⁷⁾ 잠금 금속판은 잠금 나사가 금속판 나사 구멍에 잠겨서 안정성이 발생하므로 금속판이 피질골 위에 압박되는 것을 최소화하여 골막 혈행을 유지하

면서 그 역학적 안정성을 유지할 수 있어 최소 침습적 경피적 금속판 골유합술(minimal invasive percutaneous plate osteosynthesis)에 유용하다. 또한 해부학적 금속판(anatomical pre-shaped plate)의 고안으로 수술 중 금속판의 정확한 해부학적 윤곽 성형(anatomical contouring)이 필요하지 않아 수술 시간이 단축되고 부정확한 윤곽 성형으로 인해 수술 중에 정복이 소실되는 1차 정복 소실(primary reduction loss) 현상이 발생하지 않는다.⁸⁾ 잠금 금속판은 잠금 나사의 잠금 현상으로 각 골절편에 움직임이 발생하지 않게 되어 pull-out 강도가 상대적으로 강하다.⁹⁾ 따라서 수술 후 경과 관찰 시에 전위가 발생하는 이차 정복 소실(secondary reduction loss) 현상이 덜 발생하게 되며, 잠금 금속판의 구조적 강도가 나사가 빠져 고정된 것에 의존하지 않기 때문에 고령의 골다공증성 대퇴골 원위부 골절에서 매우 유용하다.¹⁰⁻¹³⁾

2. 간접 정복

대퇴골 원위부 골절의 간접 정복 시 고려해야 할 요소들은 대퇴골의 길이, 회전, 그리고 기능적 정렬(functional alignment)을 보존하는 것이다. 대퇴골의 길이와 회전은 건측과 비교함으로써 보존할 수 있고, 해부학적 금속판을 이용함으로써 관상면과 시상면에서의 기능적 정렬을 유지하는 데 도



Fig. 1. Indirect reduction in the sagittal plane in a distal femur fracture. (A) Posterior angulation by deforming forces of the surrounding muscles. Reduction methods using a bump beneath the distal thigh (B) or a Schanz screw (C).

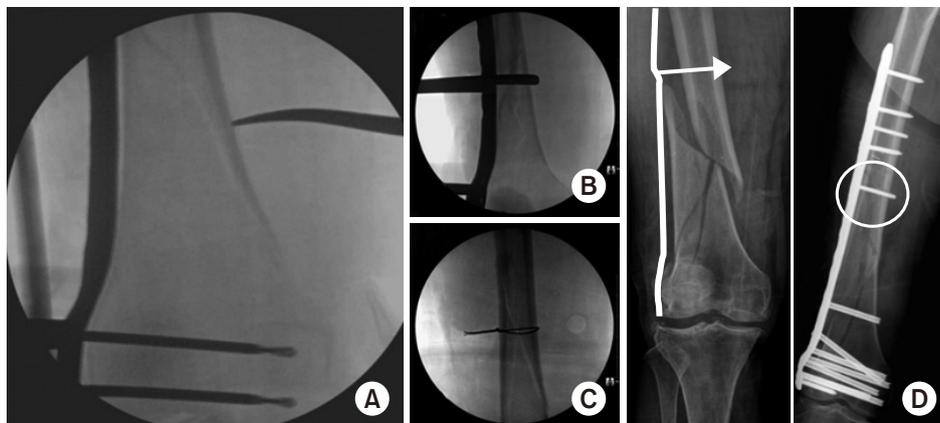


Fig. 2. Direct reduction methods in the coronal plane in distal femur fractures using a long hemostatic tonsil (A), Collinear reduction clamp (B), percutaneous wiring (C), or conventional cortical screw (D).

움을 얻을 수 있다.

시상면에서의 정복 방법으로 대퇴부 원위부 아래에 bump 모양의 받침을 사용해 정복을 용이하게 할 수 있으며, 이 방법으로 정복 유지가 잘 안될 경우 Schanz 나사를 추가로 이용하여 정복을 유지할 수 있다(Fig. 1). 대퇴골의 길이는 도수 혹은 골절 견인을 통해 원래 길이를 유지하도록 한다.

관상면에서의 정복은 hemostatic forceps 혹은 pusher 등을 이용할 수 있고, Collinear 정복 겸자나 경피적 강선 고정술을 이용하면 일시적으로 정복 상태를 유지할 수 있다. 또한 고식적 피질골 나사(conventional cortical screw)를 이용해 근위부 골편을 금속판에 압착함으로써 간접적인 정복을 유도할 수 있다(Fig. 2).

3. 잠김 금속판을 이용한 내고정

1) 금속판 길이

고식적 방법의 금속판 고정술을 시행할 때는 골절 주변의 연부조직 손상을 적게 하기 위해 가급적 짧은 길이의 금속판을 선택하고자 하였으나 대퇴골 원위부 골절에서 잠김 금속판을 이용하여 최소 침습 금속판 골유합술을 시행할 시에는 반대로 금속판 길이를 최대한 길게 하는 것이 중요하다.¹⁴⁾ 잠김 금속판의 최소 길이는 금속판 걸침 폭(plate span width)과 금속판 나사 밀도(plate screw density)라는 두 가지 요소의 영향을 받는다(Fig. 3).¹⁵⁾

잠김 금속판 걸침 폭은 전체 골절 길이에 대한 금속판 길이의 비율로 정의되는데, 분쇄 골절에서는 전체 골절 길이의 2-3배, 단순 골절에서는 8-10배가 길이가 되는 금속판을 권고하고 있다. 고령의 대퇴골 원위부 골절 환자는 추후 고관

절부 골절 가능성이 있고, 이 경우 금속정 내고정술이나 나사 삽입술을 위한 공간이 필요하다. 이를 고려하여 최대한 소전자 직하부까지 길이의 금속판을 사용하도록 한다. 특히 단순 골절에서 너무 짧은 잠김 금속판을 사용하는 경우 working length가 짧아져 골절부의 금속판에 높은 긴장력(high strain)이 부하되어 고정 실패가 발생하기 쉬워 주의를 요하며(Fig. 4), 충분히 긴 금속판을 사용하거나 이중 금속판 고정술을 사용하는 것이 좋다.

금속판-나사 밀도는 금속판의 전체 나사 구멍의 숫자에 대해 나사가 삽입된 나사 구멍의 비율로서 0.4-0.5, 즉 전체 나사 구멍 중 절반 이하에 나사를 삽입할 것을 권고하고 있다.¹⁶⁾ 나사 구멍이 12개 미만인 금속판에서는 0.5 이하의 금속판-나사 밀도를 유지하기 어려워 12개 이상의 나사 구멍이 있는 잠김 금속판 사용을 권한다.¹⁶⁾

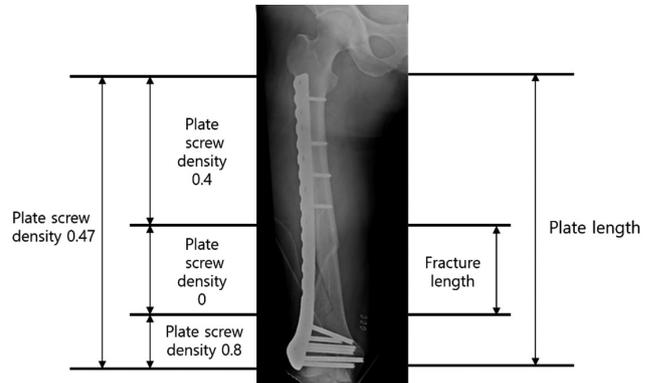


Fig. 3. Appropriate plate length and plate-screw density after minimally invasive plate osteosynthesis using a locking plate in osteoporotic distal femur fractures.

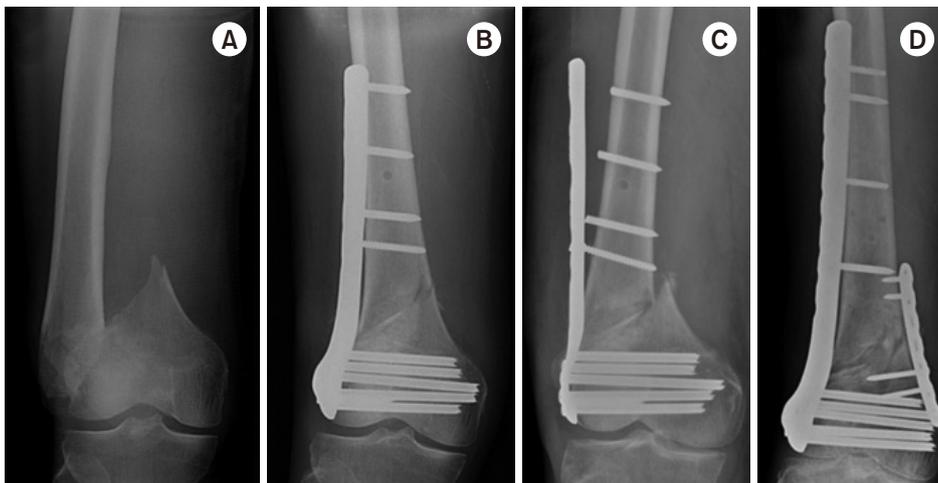


Fig. 4. (A) Distal femur fracture in a 70-year-old male. (B) Postoperative anteroposterior radiograph after minimally invasive locked plating. (C) Fixation failure along with broken locking screws two months after surgery. (D) Anteroposterior radiograph seven months after double plating showing bony union.

2) 금속판의 위치

정상적인 대퇴골 원위부는 축상(axial)면에서 외측면이 시상면에 대해 내측으로 약 10° 정도 기울어져 있고 해부학적 잠김 금속판은 대퇴골의 전외측에 위치하게 된다. 따라서 외측 잠김 금속판 고정술 중 전-후 방사선 사진에서 나사 구멍이 약간 보일 정도로 위치하고, 측면 방사선 사진에서는 금속판의 전방(anterior)면이 대퇴골의 전방 피질골과 나란하거나 약간 더 돌출돼 보이도록 위치시켜 금속판을 대퇴골의 전외측 피질골면과 평행하게 밀착하도록 한다(Fig. 5).

3) 나사의 종류, 위치 및 수

잠김 압박 금속판에서는 4가지 종류의 나사를 사용할 수 있다. 고식적인 피질골 나사와 해면골 나사(conventional cortical and cancellous screw)는 다양한 각도로 삽입이 가능한 반면 잠김 나사의 경우에는 삽입 각도가 5° 이상 벗어난 경우 안정성이 상당히 감소하므로 정확한 삽입을 위한 도구(locking drill guide)를 사용하는 것이 반드시 필요하다.¹⁷⁾ 잠김 나사의 단측 피질골 고정의 경우 나사의 working length가

짧아지고, 뒤틀림(torsion) 힘에 취약하므로 고령의 대퇴골 원위부 골절에서는 기본적으로 양측 피질골 고정을 사용하도록 한다.¹⁶⁾

나사의 위치와 관련하여 Stoffel 등¹⁴⁾은 금속판의 작업 길이, 즉 골절부에서 양쪽의 가장 가까운 두 나사 사이의 거리(working length)가 축성 강도(axial stiffness) 및 회전 강직(torsional rigidity)에 영향을 준다고 하였다. 고령의 대퇴골 원위부 골절에서는 골절 부위 양쪽으로 나사 구멍 1개씩을 건너 뛰어 고정해 충분한 길이의 working length를 확보하는 것이 중요하며, 이를 통해 금속판의 국소 변형을 감소시키고 피로에 대한 저항을 높임과 동시에 골절 부위의 미세 움직임을 허용해 가골 형성을 통한 골유합이 촉진되도록 한다.

나사의 수에 있어서는 나사의 갯수가 늘어도 어느 정도 이상에서는 안정성에 큰 기여를 하지 못하고 오히려 이차 골유합을 저해하는 것으로 알려져 있으며, 일반적으로는 각 골편에 최소한 3-4개를 사용하는 것을 권고하고 있다. Stoffel 등¹⁴⁾은 각 골편에 삽입되는 네 번째 나사가 굽힘력에는 큰 기여가 없으나 회전 강도에는 기여하는 바가 있음을 확인하였다. 고령

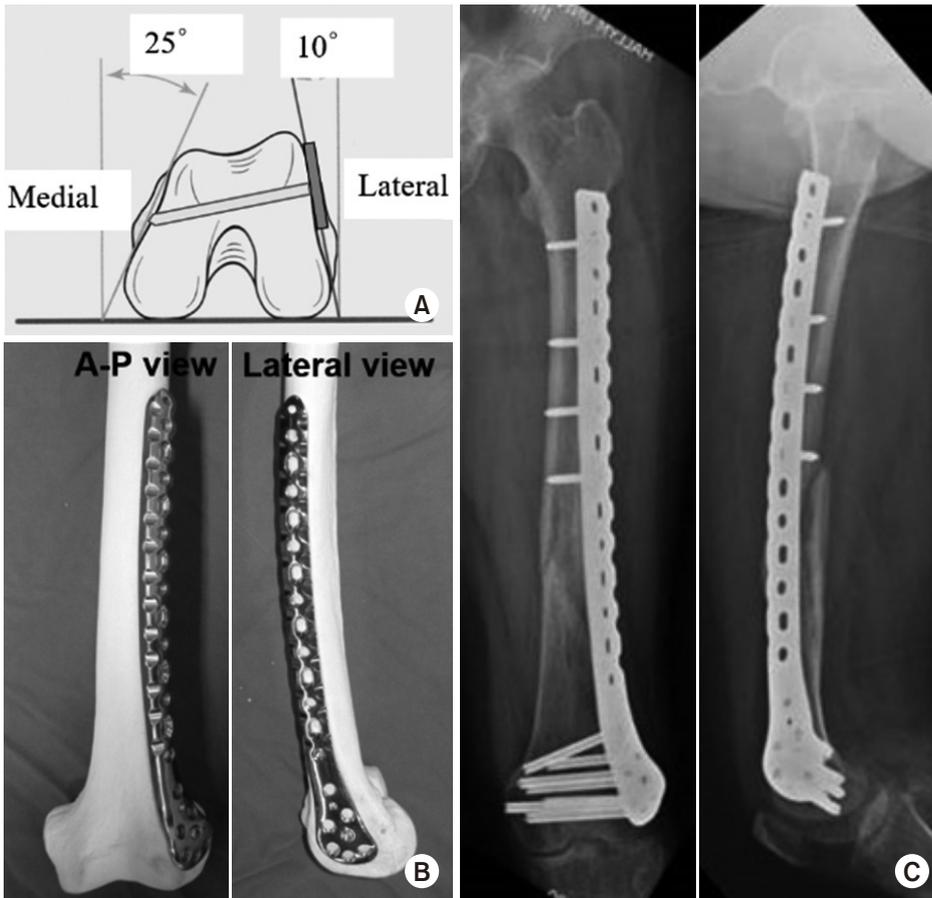


Fig. 5. (A) Schematic diagram showing the axial shape of the distal femur and the appropriate length of distal locking screw. (B) Anteroposterior (A-P) and lateral photos showing the appropriate position of the lateral anatomical locking plate in the distal femur model. (C) A-P and lateral radiographs showing the appropriate position of the locking plate fixed in a distal femur fracture of a 72-year-old female patient.

의 대퇴골 원위부 골절에서는 근위 골편을 고정하는 4개(최소 3개 이상)의 나사를 분산해서 고정하고 골절부를 포함하는 중간 금속판 분절에는 충분한 working length를 확보하기 위해 나사 삽입을 최대한 지양하며 대퇴과(femoral condyle)를 고정하는 원위 금속판 분절 부위에는 최대한 나사를 삽입함으로써 권장되는 금속판-나사 밀도를 준수하면서 안정적인 고정을 하도록 한다.

4) 피질골과 금속판 사이의 간격

일반적으로 피질골과 금속판의 간격이 벌어질수록 구조적 안정성은 떨어진다.^{10,14} 하지만 금속판이 피질골과의 접촉이 적어지며(간격이 증가하며) 긴장력이 많이 가해지는 경우 구조의 단면적이 넓어지고 이차 골유합을 촉진하는 효과가 있어 수술 후 생체 내 강도는 더 높아지는 효과가 있다는 보고도 있다.¹⁸ 역동적 압박 금속판을 대조군으로 한 최근의 연구에서는 피질골과 잠김 금속판 사이의 간격을 2 mm 이하로 할 것을 권고하고 있다.¹⁹

4. 외측 잠김 금속판 사용시 주의사항

외측 잠김 금속판 고정술은 대퇴골 원위부 복잡 골절 양상에 최소 침습적으로 사용하기 때문에 여러 문제가 발생할 수 있는데, 불유합 또는 지연유합이 0%~32% 정도, 고정 실패가 3개월 이후에는 67%, 6개월 이후에는 50% 정도에서 발생할 수 있다고 보고되었다.²⁰ 이러한 문제들을 해결하기 위해 수술 전 계획을 충실히 세우고 고정의 원칙을 정확하게 지키는 것이 중요하다.¹³

간접 정복의 경우 골절 부위의 정복이 우선적으로 필요하며, 정복을 금속판 자체로 유도하려고 하면 부정 정렬이 발생할 가능성이 높기 때문에 골절 정복을 위해 여러 종류의 견인 기구, Schanz 핀 또는 고식적 나사 등을 사용하는 것이 좋다. 간접 정복 방법을 이용하는 경우에는 전반적인 정렬이 맞지 않아 각 변형이나 회전 변형이 발생할 가능성이 있고, 특히 고령의 골다공증성 대퇴골은 bowing이 심할 경우 부정 정렬이 쉽게 발생할 수 있다. 따라서 수술 중에 골절 부위의 길이 및 회전 또는 각 변형 발생을 확인해야 하고 이러한 부정 정렬이 발생하는 것을 막기 위해서 수술 전 및 수술 중에 견측과의 비교 및 정확한 측면 사진을 얻는 것이 필요하며 필요에 따라 전체 정렬 및 길이를 유지하기 위해 일시적으로 외고정기를 사용하여 정복 상태를 유지하기도 한다.

나사 삽입의 경우 근위 골편의 가장 근위 나사 고정 시 잠김 나사를 사용하는 경우 피질골 나사보다 내 직경(core diameter)이 커 강도는 크지만 보다 큰 응력이 집중되어 이 부위에서 stress-riser 골절(Young's modulus 골절)이 발생할 수 있다(Fig. 6). 따라서 고령의 대퇴골 원위부 골절에서 잠김 금속판 고정술 시 가장 근위부 나사 구멍에는 잠김 나사 대신 피질골 나사를 사용하는 것이 권고된다. Bottlang 등²¹은 잠김 금속판의 근위부 나사 구멍에 잠김 나사가 아닌 피질골 나사를 사용할 경우 금속판 근위 말단의 응력 집중이 감소되고 굽힘력에 대한 저항이 증가하는 것으로 보고하였다.

잠김 금속판의 가장 근위부에 잠김 나사 고정을 하여 stress-riser 골절이 발생한 경우 overlapping 골수강내 금속 정 고정술을 이용하면 용이하게 견고한 고정을 할 수 있다(Fig. 6).²²

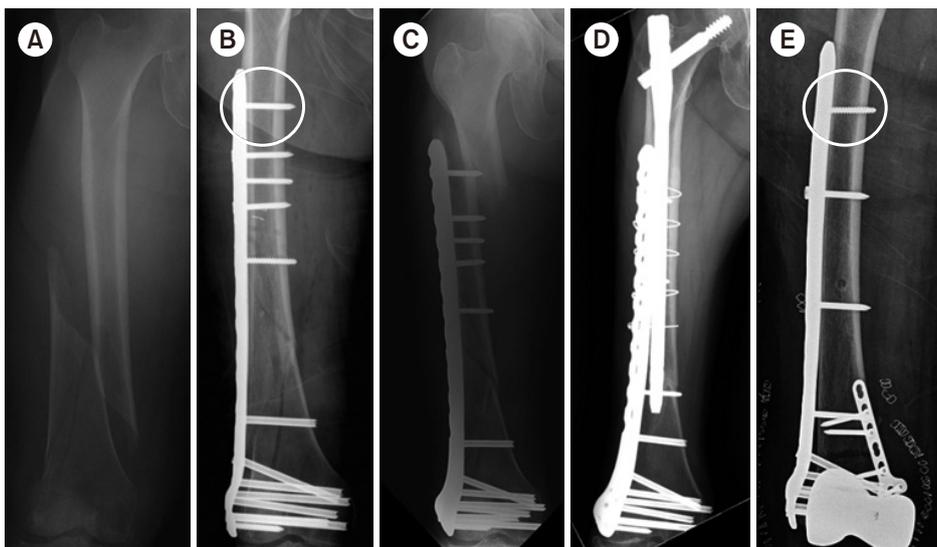


Fig. 6. (A) Radiograph of a distal femur fracture of a 74-year-old female after a ground-level fall. (B) Postoperative radiograph after a closed reduction and minimally invasive locked plating. (C) Six-week postoperative radiograph showing a stress riser fracture around the outermost locking screw after slip-down injury. (D) Radiograph showing bony union two years after overlapping intramedullary nailing. (E) Postoperative radiograph showing locked plating using a conventional cortical screw instead of a locking screw as a proximal outermost screw to minimize the stress riser.

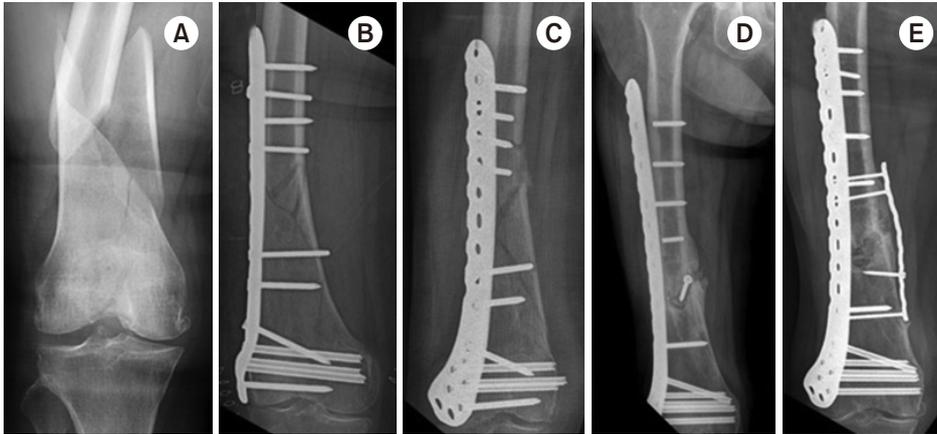


Fig. 7. (A) Radiograph of a 75-year-old female showing a spiral fracture with a butterfly fragment of the distal femur. (B) Lateral locked plating performed with two appositional screws on the fracture site. (C) Collapsed fracture site with screw breakage and pull-out of the plate two months after surgery. (D) Another fixation failure with breakage of multiple screws after revision surgery using a longer locking plate. (E) Bony union achieved nine months after the third operation adding a medial supporting plate with an autologous bone graft.

잠김 금속판으로 고정 시 정확한 정복을 위해 골절 부위에 추가 나사 삽입은 골절부의 구조적 강도를 증가시켜 가골 형성을 방해하여 지연유합이나 불유합이 초래될 수 있으므로 가급적 골절부에는 나사 삽입을 삼가하고 충분한 working length를 확보해야 할 것이다(Fig. 7).^{23,24)}

대퇴골 원위부 골절에서 잠김 금속판 고정 시 나사 머리가 나사 구멍에 잠기기 때문에 압박 금속판 고정 시 발생하는 나사의 pull-out이나 이완(loosening)은 발생하지 않지만 피질 골 강도가 떨어지는 골다공성 골에서는 금속판과 나사 주변의 골에 파손이 발생하고 대퇴골 원위부에서는 관절 내로 나사가 들어가는 일이 발생할 수 있다. 또한 골유합이 어느 정도 일어나지 않은 상태에서 조기 체중 부하 등을 통해 나사의 파손이 발생할 수 있고 짧은 금속판을 사용하여 충분한 working length를 갖지 못하는 경우에는 금속판의 파절도 발생할 수 있다.²⁴⁾

대퇴골 원위부 골편에 삽입된 잠김 나사가 내측 피질골 밖으로 돌출되면 연부조직 자극 증상과 함께 관절 운동 시 통증이 발생할 수 있다. 술 중 영상 증폭기로 잠김 나사의 적절한 길이를 확인하지만 실제로는 더 길어 돌출되어 삽입되는 경우가 흔하다. 대퇴골 원위부 내측과의 피질골 면은 시상면에 대하여 25° 정도 기울어져 있기 때문에 술 중 원위 골편의 잠김 나사가 내측 피질골을 뚫고 돌출하였는지를 확인하기 위해서는 대퇴골을 약 25° 정도 내회전하여 전-후 사진을 촬영해 확인하는 것이 중요하다(Fig. 8). 피질골과 금속판의 간격이 너무 클 경우에도 연부조직 자극 증상이 발생하고 구조적 강도가 감소할 수 있어 주의를 요한다.

단순 골절인 경우라도 잠김 금속판을 사용하는 원칙을 지키지 않는 경우 지연유합, 불유합, 부정유합 및 고정 실패가 발생할 수 있다.^{9,25)} 골다공증성 골절에서 단순히 잠김 금

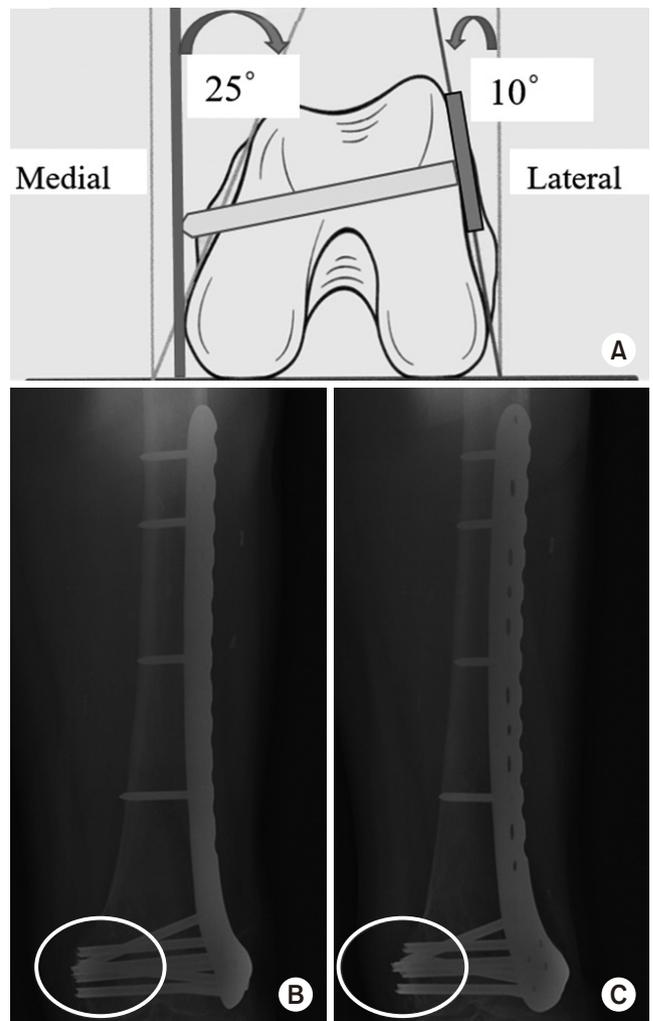


Fig. 8. (A) Schematic diagram showing the axial shape of the distal femur and the protrusion of distal locking screw. (B) True anteroposterior radiograph showing that the lengths of the distal locking screws appear to be appropriate. (C) Radiograph taken after rotating a thigh approximately 25° internally, showing the protrusion of multiple screws across the medial cortex.

속판을 사용하는 것이 더 좋은 기계적 강도를 보장하는 것이 아니라는 것도 이해해야 하며 고식적 피질골 나사와 잠김 나사를 적절히 병합 사용함으로써 역학적으로 더 안정된 구조를 만들 수 있다.^{21,26)} 해부학적 사전-윤곽 금속판(anatomically pre-contoured plate)의 경우 술 중 따로 윤곽 성형(contouring)을 할 필요가 없고 이 금속판을 이용하여 골절의 간접 정복도 가능하지만 삽입구(entry point)를 잘못 정해 잠김 금속판이 대퇴골의 전외측에 정확히 부착되지 않으면 금속판이 편심성 위치를 하게 되어 삽입 방향이 정해져 있는 잠김 나사가 피질골에 제대로 들어가지 않을 수 있으며 금속판이 대퇴골에서 멀어지게 되어 구조적 강도가 감소하고 연부조직 자극 현상이 나타날 수 있어 유의해야 할 것이다.¹⁶⁾

결론

고령의 대퇴골 원위부 골절 치료는 해부학적 사전-윤곽 잠김 금속판이 개발되고 최소 침습적 골유합술이 시행되면서 외측 잠김 금속판 고정술을 이용하여 만족스러운 결과들이 보고되고 있다. 하지만 불량한 골질 및 부적절한 고정으로 인해 고정 실패 및 골유합 장애가 빈번히 발생하고 있어 주의를 요한다. 따라서 골절 양상 및 골질에 따라 적절한 길이의 금속판을 선택하고 각각의 내고정 원칙에 따라 고정함으로써 고령의 대퇴골 원위부 골절 환자들을 보다 효과적으로 치료할 수 있을 것이다.

요약

고령의 골다공증성 대퇴골 원위부 골절은 불량한 골질로 인해 나사의 견고한 고정을 얻기 어려워 치료하기 힘든 골절 중 하나이다. 최근에 이러한 골절에서는 우수한 생역학적 특성으로 인해 잠김 금속판을 이용한 최소 침습적 잠김 금속판 고정술이 널리 시행되고 있으며, 골다공증성 대퇴골 원위부 골절에서도 견고한 고정을 통해 우수한 결과들이 보고되고 있다. 하지만 고정 실패나 금속판 주위 골절 등의 합병증들이 여전히 발생하고 있다. 본문에서는 골다공증성 대퇴골 원위부 골절에서 최소 침습적 외측 잠김 금속판 고정술 시 내고정 원칙과 합병증을 최소화할 수 있는 방침에 대해 기술하고자 한다.

색인 단어: 대퇴골 원위부, 골다공증성 골절, 외측 잠김 금속판 고정술, 합병증

ORCID

장철영, <https://orcid.org/0000-0002-1150-2968>

유제현, <https://orcid.org/0000-0002-0777-1575>

References

1. Krettek C, Müller M, Miclau T: Evolution of minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) in the femur. *Injury*, 32 Suppl 3: SC14-SC23, 2001.
2. Stover M: Distal femoral fractures: current treatment, results and problems. *Injury*, 32 Suppl 3: SC3-SC13, 2001.
3. Wong MK, Leung F, Chow SP: Treatment of distal femoral fractures in the elderly using a less-invasive plating technique. *Int Orthop*, 29: 117-120, 2005.
4. Mast J, Jakob R, Ganz R: Planning and reduction technique in fracture surgery. Berlin, New York, Springer-Verlag: 1989.
5. Helfet DL, Shonnard PY, Levine D, Borrelli J Jr: Minimally invasive plate osteosynthesis of distal fractures of the tibia. *Injury*, 28 Suppl 1: A42-A47; discussion A47-A48, 1997.
6. Kinast C, Bolhofner BR, Mast JW, Ganz R: Subtrochanteric fractures of the femur. Results of treatment with the 95 degrees condylar blade-plate. *Clin Orthop Relat Res*, (238): 122-130, 1989.
7. Krettek C, Schandelmaier P, Miclau T, Tscherne H: Minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis (MIPPO) using the DCS in proximal and distal femoral fractures. *Injury*, 28 Suppl 1: A20-A30, 1997.
8. Wagner M. General principles for the clinical use of the LCP. *Injury*, 34 Suppl 2: B31-B42, 2003.
9. Goyal T, Nag HL, Tripathy SK: Dynamization of locked plating on distal femur fracture. *Arch Orthop Trauma Surg*, 131: 1331-1332, 2011.
10. Fulkerson E, Egol KA, Kubiak EN, Liporace F, Kummer FJ, Koval KJ: Fixation of diaphyseal fractures with a segmental defect: a biomechanical comparison of locked and conventional plating techniques. *J Trauma*, 60: 830-835, 2006.
11. Gardner MJ, Griffith MH, Demetrakopoulos D, et al: Hybrid locked plating of osteoporotic fractures of the humerus. *J Bone Joint Surg Am*, 88: 1962-1967, 2006.
12. Greiwe RM, Archdeacon MT: Locking plate technology: current concepts. *J Knee Surg*, 20: 50-55, 2007.
13. Lill H, Hepp P, Korner J, et al: Proximal humeral fractures: how stiff should an implant be? A comparative mechanical study with new implants in human specimens. *Arch Orthop Trauma Surg*, 123: 74-81, 2003.
14. Stoffel K, Dieter U, Stachowiak G, Gächter A, Kuster MS: Bio-

- mechanical testing of the LCP: how can stability in locked internal fixators be controlled? *Injury*, 34 Suppl 2: B11–B19, 2003.
15. Rozbruch SR, Müller U, Gautier E, Ganz R: The evolution of femoral shaft plating technique. *Clin Orthop Relat Res*, (354): 195–208, 1998.
 16. Gautier E, Sommer C: Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury*, 34 Suppl 2: B63–B76, 2003.
 17. Käähb MJ, Frenk A, Schmeling A, Schaser K, Schütz M, Haas NP: Locked internal fixator: sensitivity of screw/plate stability to the correct insertion angle of the screw. *J Orthop Trauma*, 18: 483–487, 2004.
 18. Stoffel K, Klaue K, Perren SM: Functional load of plates in fracture fixation in vivo and its correlate in bone healing. *Injury*, 31 Suppl 2: S–B37–S–B50, 2000.
 19. Ahmad M, Nanda R, Bajwa AS, Candal–Couto J, Green S, Hui AC: Biomechanical testing of the locking compression plate: when does the distance between bone and implant significantly reduce construct stability? *Injury*, 38: 358–364, 2007.
 20. Henderson CE, Kuhl LL, Fitzpatrick DC, Marsh JL: Locking plates for distal femur fractures: is there a problem with fracture healing? *J Orthop Trauma*, 25 Suppl 1: S8–S14, 2011.
 21. Bottlang M, Doornink J, Byrd GD, Fitzpatrick DC, Madey SM: A nonlocking end screw can decrease fracture risk caused by locked plating in the osteoporotic diaphysis. *J Bone Joint Surg Am*, 91: 620–627, 2009.
 22. Yoo JH, Kim SW, Kwak YH, Kim HJ: Overlapping intramedullary nailing after failed minimally invasive locked plating for osteoporotic distal femur fractures: report of 2 cases. *Injury*, 46: 1174–1177.
 23. Kim SM, Yeom JW, Song HK, Hwang KT, Hwang JH, Yoo JH: Lateral locked plating for distal femur fractures by low-energy trauma: what makes a difference in healing? *Int Orthop*, 42: 2907–2914, 2018.
 24. Park JY, Yoo JH: Selection of plate in internal fixation of fractures: locking plate and compression plate. *J Korean Fract Soc*, 26: 92–102, 2013.
 25. Oh JK, Hwang JH, Lee SJ, Kim JI: Dynamization of locked plating on distal femur fracture. *Arch Orthop Trauma Surg*, 131: 535–539, 2011.
 26. Doornink J, Fitzpatrick DC, Boldhaus S, Madey SM, Bottlang M: Effects of hybrid plating with locked and nonlocked screws on the strength of locked plating constructs in the osteoporotic diaphysis. *J Trauma*, 69: 411–417, 2010.