

## Difficult Fractures &amp; Problems

## 불유합의 원인과 치료

박경현 · 김준우 · 오창욱<sup>✉</sup>

경북대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

## Etiology and Management of Nonunion

Kyeong-Hyeon Park, M.D., Joon-Woo Kim, M.D., Ph.D., and Chang-Wug Oh, M.D., Ph.D.<sup>✉</sup>

Department of Orthopaedic Surgery, Kyungpook National University School of Medicine, Daegu, Korea

Nonunion is caused by various factors related to fracture characteristics, patient characteristics, treatment, and infection. Aseptic nonunion, is divided into three categories in accordance with the biological activity of the fracture: atrophic nonunion, oligotrophic nonunion, and hypertrophic nonunion. Treatment of nonunion depends on the cause and classification. Here, we report our experiences and review the various causes of nonunion and treatment methods available.

**Key words:** fracture, nonunion, aseptic nonunion, atrophic nonunion, oligotrophic nonunion, hypertrophic nonunion

## 서론

골절의 치유 과정은 복잡한 생물학적 현상을 가지고 있으며, 다른 인체의 조직과는 달리 골은 흉터(scar)를 남기지 않고 새로운 뼈를 만들면서 치유된다. 대부분의 골절이 잘 치유되지만 여러 이유에 의해서 불유합(nonunion)이 발생할 수 있는데, 최소 3개월 동안 골절 치유의 진행이 방사선 사진상에 나타나지 않거나 골절을 입은 후 적절한 기간 내에도 치유가 되지 않아 새로운 치료가 필요한 경우 불유합으로 정의하고 있다. 이에 반하여 지연유합(delayed union)은 특정기간 내에 골절이 완전히 치유되지 않았지만 추가적인 처치가 없이도 치유 가능성이 있을 때를 지칭한다. 이러한 골절 치유의 지연에는 손상된 뼈, 뼈의 해부학적 위치, 골절의 형태, 최초 손상에너지, 동반된 연부조직의 손상, 치료 방법 등 많은 인자들과 연관이 있을 수 있다.

## 불유합의 원인

## 1. 골절의 특성과 관련된 인자(fracture-specific factors)

손상된 골과 그 뼈의 특정한 해부학적 위치가 골절 치유 능력과 관련 있는 것은 잘 알려진 사실이다. 대부분에서 이는 골절 부위의 혈류에 따른 것이며, 그 예로 거골 경부, 대퇴골 경부, 손의 주상골 등은 비교적 골절에 의해 쉽게 손상을 받는 부위로서 불유합, 무혈성 괴사 등을 포함한 합병증의 가능성이 높다. 반면 장관골의 골간단부(metaphysis), 골반골 등은 풍부한 혈류를 가지는 곳으로 골절 치유가 잘 이루어진다. 장관골의 골간부(diaphysis)는 그 중간적 위치에 속하는데, 혈류가 많지는 않으며 골간단부에 비하여 골절의 치유기간이 길고 불유합의 가능성이 높다.

골과 연부조직의 손상 정도는 해부학적 위치와 관계없이 골의 치유에 영향을 미치고, 특히 연부조직의 손상 정도는 불유합의 가장 큰 원인 중 하나이다. 고 에너지(high energy) 손상은 골절된 뼈에 골막 손상 또는 골내막 혈류에 손상을 주게 되고, 특히 개방성 골절이 가장 뚜렷한 결과를 초래하게 되며, 폐쇄성 골절에서도 연부조직의 벗김(stripping) 현상은 동일하게 나타날 수 있다. 더욱이 심한 고 에너지 손상은 골의 끝단(bone ends)의 불활성화를 초래하여 즉각적인 세포의 괴사 또는 자기 소멸(apoptosis) 과

Received July 3, 2017 Accepted July 22, 2017

✉Correspondence to: Chang-Wug Oh, M.D., Ph.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Kyungpook National University Hospital, 130 Dongdeok-ro, Jung-gu, Daegu 41944, Korea

TEL: +82-53-200-5630 FAX: +82-53-422-6605 E-mail: cwoh@knu.ac.kr

정으로 이끌게 된다. 개방성 골절 또는 수술적 절제술 후 발생한 골의 소실은 불유합의 강력한 원인이다. 개방성 골절의 정도와 관련하여 세균 오염과 그에 따른 감염은 불유합의 또 다른 원인이 된다.

## 2. 환자의 특성과 관련된 인자(host factors)

흡연, 당뇨병, 그리고 혈관 질환 등은 골절치유를 지연 또는 방해하는 요인들이다. 그 외 특정 약물(진통 소염제, 항 응고제, steroid 제제 등), 골다공증, 고령, 면역 저하 등도 불유합의 원인이 된다. 실험적 연구에 따르면 당뇨병은 골절 치유의 모든 단계에 영향을 미치는데, 초기에는 세포의 증식이 저하되고 후기에는 가골의 강도가 저하된다. 궁극적으로 당뇨가 지속되고 조절되지 않으면 지연유합과 불유합의 위험성을 증가시키게 된다. 또한 미세혈관 질환이 동반되고 면역 저하가 따르며 신경병증이 당뇨와 동반되면 골대사의 변화를 일으키므로 골절 치유의 지연이 따르게 된다. 또한 당뇨는 연부조직 합병증의 위험성이 높을 뿐만 아니라 수술적 치료 후의 감염 가능성이 높다. 말초신경병증이 동반되거나 헤모글로빈(Hb) A1c가 7% 이상인 경우 족부족관절의 골의 치유 합병증이 많다는 보고가 있다. 흡연은 급성 골절 치유의 지연 뿐만 아니라 골수염을 포함한 감염 등의 합병증에 관련이 있다.<sup>1)</sup> 니코틴의 혈관 수축(vasoconstrictive) 효과는 골절 치유 초기의 조직 분화(tissue differentiation)와 정상적인 혈관 생성(angiogenesis)을 저해하고 골아세포(osteoblast)의 기능도 직접적으로 방해한다. 또한 실험적 연구에 따르면 흡연자에서 골막의 골형성 단백질(bone morphogenetic protein) 유전자의 발현도 저하된다. 개방성 경골 골절을 골수정으로 치료한 전향적 연구에서<sup>2)</sup> 흡연자는 비흡연자에 비하여 골유합을 얻을 가능성이 37% 정도 낮으며, 감염의 가능성은 약 3.7배 높았다. 비스테로이드 진통소염제(nonsteroidal anti-inflammatory drugs, NSAIDs)는 불유합에 관련이 있으며 수상 후 최초 몇주간, 즉 골절치유의 염증기(inflammatory phase)에 해당하는 기간에는 그 사용을 제한하는 것이 좋다. Prostaglandin은 골절치유의 초기에 염증 매개체이며, 이의 생성은 arachidonic acid와 cyclooxygenase (COX) enzyme에 도움을 받는데, 전통적인 NSAIDs와 최근 사용되는 선택적인 COX-2 inhibitor 약물 모두 COX-2 up-regulation과 prostaglandin 합성을 방해하여 골절 치유를 저해한다.<sup>3)</sup>

그 외 스테로이드약물의 사용, 류마티스 관절염, 악성 종양과 같이 영양 결핍 또는 면역 저하를 가져오는 어떤 경우라도 골절 치유에 저해가 된다. 방사선 조사를 받았거나 종양의 침투가 있는 골은 불유합의 가능성이 높다. 나이가 많을수록 골절의 치유는 늦게 되나 나이 자체를 불유합의 위험 인자로 생각하기는 어렵다. 골다공증은 급성 골절의 위험 인자이기도 하지만 속발되는 불유합에 관련성은 불분명하다.

## 3. 치료와 관련된 인자(treatment factors)

불유합 발생의 일반적인 원인은 크게 기계적인(mechanical) 이유와 생물학적인(biological) 이유로 나눌 수 있으며, 이는 불유합의 분류와 치료의 결정에 중요한 결정 인자가 된다. 적절한 기계적 안정성(mechanical stability)은 골절 치유를 유도하기 위한 환경에 필수적이다. 하지만 적절한 안정성을 정의하고, 선택된 안정화 방법의 안정성을 측정하는 것은 매우 힘들다. 자연적인 골절의 치유는 골절부의 미세운동(micromotion)에 의존하는 가골의 형성에 이루어지는데 이를 이차적인 골치유(secondary bone healing)라 하고, 수술적 또는 비수술적 처치 등에 의한 골절부의 안정화는 불유합의 가능성을 줄이게 된다. 부목 또는 석고 고정 등에 의한 외부적 고정(external immobilization)은 비교적 제한적인 안정성을 가지지만 대부분의 골절 치유를 얻을 수 있다. 압박 금속판 고정술과 같은 견고한 내고정(rigid internal fixation)은 가골의 형성 없이 일차적인 골치유(primary bone healing)를 얻을 수 있는 방법이다. 1차적 또는 2차적 골치유를 얻기 위해 선택된 치료방법과 관계없이 부적절한 치료는 불유합의 위험성을 높이게 된다. 불량한 석고 고정은 부족한 안정성을 갖게 되며, 이는 골절부의 과도한 운동을 초래하여 가골의 생성이 없거나 과하게 나타나고 불유합을 초래하게 된다. 골절부의 접촉이나 압박이 없이 골절부의 간격이 남은 채로 견고한 내고정을 할 경우 1차적인 골치유를 얻을 수 없게 되어 불유합에 이르게 된다(Fig. 1).

생물학적인 원인으로는 골절부 정복 시에 발생하는 추가적인 혈류 손상을 주된 이유로 볼 수 있다. 과거의 수술적 방법은 골절 조각의 해부학적 정복을 위해 연부조직을 벗기는 술식이었는데, 이는 골절 치유를 저해하는 환경을 초래하게 된다. 직접적 또는 간접적으로 골절을 정복하거나 수술적 고정 방법이 상대적 안정성 또는 절대적 안정성을 갖더라도 연부조직의 손상은 최소한으로 하는 것이 골절 유합에 매우 중요하다.

## 4. 감염(infection)

미약한 감염이라도 골절 치유 과정을 변화시키고, 그 정도가 심할수록 정상적인 치유를 방해하게 된다. 감염에 대한 염증 반응은 골의 과도한 재형성과 골용해(osteolysis)를 유발하여 불유합을 일으킨다. 파골세포 활동에 의해 이완되고 비활성화된 골 조각들은 결국 괴사골(sequestra)로 남게 된다. 골의 감염은 불유합을 촉발할 뿐만 아니라 불유합의 치료를 더욱 복잡하게 만들며, 여러 단계의 치료과정을 필요하게 된다.

## 불유합의 분류

감염성(septic) 불유합을 제외한 비감염성(aseptic) 불유합은 골절부의 생물학적 활동(biologic activity)에 따라 구분할 수 있다. 골절 치유를 위한 능력으로 구분하는 위축성(atrophic), 빈영양형

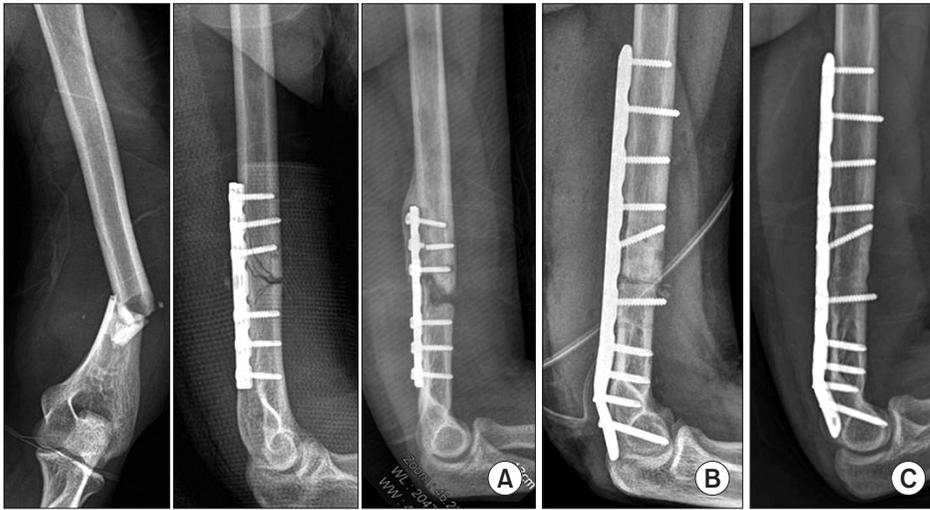


Figure 1. (A) A nonunion of distal humeral shaft with screw breakage was shown after internal fixation. (B) With the resection of bone with of poor vitality, compression plating was performed. (C) Union was achieved uneventfully.

(oligotrophic), 비후형(hypertrophic) 불유합으로 나뉘고, 방사선적 분류가 가장 흔히 사용되는 방법이다.<sup>4)</sup>

### 1. 위축성 불유합(atrophic nonunion)

위축성 불유합은 무혈성(avascular) 또는 불활성(nonviable) 불유합이라고도 하며, 골절부의 골생성 세포가 치유 능력이 매우 부족함을 의미한다. 골절부로의 혈류는 불량하며, 이는 방사선 사진 상에 골의 반응이 보이지 않는다. 이러한 치유 반응의 결핍의 원인으로서는 개방성 골절과 같은 손상의 정도, 골절부에 대한 수술적 치료 시에 발생한 과도한 연부조직 벗김, 또는 당뇨, 흡연과 같은 환자의 인자를 들 수 있다. 위축성 불유합의 치료 전략은 당연히 골절부의 생물학적 활성도를 촉진하는 방법이라야 하며, 이는 자가골 이식(autogenous bone graft)이 가장 많이 적용된다. 과사되거나 불활성화된 골 끝단의 절제 또는 제거도 필요하며, 그 정도는 사용될 치료 방법에 따라 정해야 한다. 비감염성 위축성 불유합은 압박 금속판 고정술을 할 수 있을 정도로 절제가 필요하지만 감염성 불유합은 감염의 원인으로 추정되는 과사골을 충분히 제거하고 골이동술 등을 이용한 치료가 뒤따라야 한다.

### 2. 비후형 불유합(hypertrophic nonunion)

비후형 불유합은 과다혈류형(hypervascular) 또는 활성형(viable) 불유합으로 불리며, 충분한 혈류와 적절한 치유 반응이 확인된다. 이는 유합을 위한 안정성이 부족함을 의미하며 활력이 있는 섬유연골이 골절부의 부적절한 기계적 환경에 의하여 무기질화(mineralization)되지 못하여 발생한다. 이는 가골 형성은 있으나 무기질이 부족한 상태로 단순 방사선에서 검게 나타난다. 비후형 불유합의 치료는 생물학적 반응이 완성될 때까지 안정성을 보장하는 것이 원칙이다. 견고한 고정이 필요하며 골절부에 대한 절제술 등은 필요하지 않다. 또한 위축성 불유합과는 달리 골이식



Figure 2. (A) Proximal tibia shaft fracture was fixed with a thin intramedullary nail. (B) Although an abundant callus was seen, hypertrophic nonunion occurred with breakage of interlocking screws. A small diameter nail might result in insufficient mechanical stability.

과 같은 생물학적 자극은 필요하지 않다(Fig. 2).

### 3. 빈영양형 불유합(oligotrophic nonunion)

빈영양형 불유합은 위축형과 비후형의 중간 형태로 활력은 있으나 방사선적으로 치유반응은 약하게 나타나며 주로 골절면의 접촉이 부적절하여 발생한다. 골주사(bone scan)는 순수한 위축형 불유합과의 구별에 유용하며, 빈영양형은 동위원소의 증가된 반응을 보이는 데 반하여 위축형에서는 전혀 반응이 나타나지 않는다. 치료는 골의 접촉의 부족을 해결해야 하며, 이는 기계적 압박 또는 골이식이 요구된다.

## 불유합의 치료 원칙 (Principle of nonunion treatment)

### 1. 일반적인 치료 원칙

선택된 수술적 치료방법의 종류와 상관없이 공통된 치료 원칙을 알아야 한다. 위축형, 빈영양형 또는 비후형 불유합인지 구분해야 하며 감염의 여부, 동반된 기형(associated deformity)의 여부 등은 합리적인 치료계획을 수립하는 데 매우 중요하다. 즉 불유합의 분류는 골절부의 직접적인 노출 및 절제술, 또는 추가적인 골이식의 필요 유무를 결정한다.

비후형 불유합은 자체적인 생물학적 활성은 충분하고 기계적인 안정성이 부족하므로 이 기계적인 안정성만 최대로 증가시키는 데 목표를 두면 된다. 보다 견고한 골절부의 고정이 필요하며, 이는 압박 금속판 고정술이나 깎 끼는 골수정의 고정이 그 역할을 할 수 있다. 하지만 불유합 부위의 절제술이나 골이식술은 유합을 얻기 위해 꼭 필요하지는 않다. 반면에 위축형 불유합은 불유합된 골절부의 절제술을 시행하여 건강한 골의 노출이 필요하다. 또한 골이식이 일반적으로 필요하며, 이는 골유도(osteoinductive) 또는 골생성(osteogenic)을 할 수 있는 능력이 부족하기 때문이다. 빈영양형 불유합은 위축형과 비후형의 중간정도의 생물학적 능력을 가지고 있으며 기계적 원인 또는 생물학적 원인인지의 구분이 불명확하다. 이에 두 가지 원인에 대한 환경 개선이 모두 필요하다.

동반 감염이 존재한다면, 이를 제거하는 것은 항상 요구되는 치료 원칙이다. 아무리 복잡한 불유합이라도 감염이 없다면 성공적인 치유가 가능하지만 단순한 불유합이라도 감염이 존재하는 한 치료가 매우 어렵다. 이에 불유합의 치료 전에 감염의 치료가 우선시되어야 한다. 불유합이 동반된 감염에 대한 적절한 치료의 시작은 존재하는 금속물의 제거부터이다. 이후 괴사된 연부조직과 골조직을 반복적으로 제거해야 하며 이후 골절부의 고정은 감염이 없는 부위에서 외고정 장치를 이용하여 고정한다. 항생제의 주사제 사용은 약 6주간 투여되며 임상적 및 검사실적 감염 소견이 없을 때 불유합에 대한 최종 치료를 해야 한다.

부정정렬이 존재하는 불유합에서는 이에 대한 교정이 성공적인 결과에 매우 중요하다. 정렬의 회복은 정상적인 해부학적 위치를 얻고, 기능의 회복을 얻을 뿐 아니라 불유합 위치에서의 적절한 기계적 환경을 제공하므로 골절 치유에도 매우 중요하다. 불유합을 치료하기 위한 방법의 선택에서 중요한 인자로는 환자의 이전 치료에 대한 반응, 현재의 장애 정도, 향후 체중 부하 제한에 대한 시간적 제약, 직업적인 필요성에 달려 있다. 만약 다른 인자들이 동일한 상황에서 불유합에 따른 통증 및 기능 장애가 점차 증가한다면 수술적 조치가 매우 필요하다. 그와 반대로 불유합이 방사선적으로 보이지만 통증과 기능적인 장애가 매우 작다면 덜 침습적인 치료 방법의 선택이 보다 적절할 수도 있다.

### 2. 불유합에 대한 비수술적 치료

비수술적 치료는 골절 유합을 기다리는 동안 통증, 기능상실, 장애, 경제적 손실 등이 지속됨에 따른 사회경제학적 및 정신적 측면에서 단점이 많다. 비수술적 치료의 금기증으로 기존의 금속물이 실패와 함께 골절의 변형이 나타나는 경우에 불유합 부위의 지속적이고 과도한 운동에 따른 골흡수, 감염 등을 들 수 있다. 반면 적응증은 적절한 정렬을 가지고 성공 가능성이 충분하며 치유기간 동안의 위험성이 작은 경우로 제한된다. 하지만 대부분의 불유합은 위의 비수술적 치료의 적응기준에 맞지 않으므로 수술적 치료가 필요할 것이다. 비수술적 치료의 장점은 수술적 합병증을 피할 수 있다는 것인데, 이는 원래의 골절 치유과정을 촉진하는 것이 대부분이며 지연유합에 대한 치료가 대부분이나 일부의 불유합에서도 가능하다. 직접적 또는 간접적 술식으로 구분하며, 불유합 부위에 직접적으로 가해지는 전기적 자극(electrical stimulation) 또는 초음파(ultrasound)는 직접적인 방법에 속한다. 간접적인 방법은 환자 전체에 대한 조치로서, 영양증진, 비타민 공급, 약물의 변경과 흡연의 중단이 해당된다.

## 수술적 치료 방법 (Operative methods of nonunion)

같은 불유합이라도 다양한 수술방법이 적용될 수 있는데, 그 예로 경골 간부의 불유합은 골수정 교환술, 역동화, 금속판 고정술, 외고정 장치술 등의 여러 가지 선택을 할 수가 있다. 하지만 그 선택은 연부조직의 상태, 골의 소실 정도, 동반된 병변 등을 고려하여 결정해야 한다. 또한 수술할 방법에 대한 술자의 경험, 위험성과 장점, 환자의 견딜 수 있는 능력 등도 같이 고려해야 한다.

### 1. 금속판 및 나사못 고정(plate and screw fixation)

골간부에 주로 적용되는 골수정에 비하여 금속판은 대부분의 해부학적 위치에서 사용이 가능한 장점이 있다(Fig. 3). 또한 골절부의 각형성, 회전, 전위성 변형 모두를 교정할 수 있으며 삽입물 주위(periprosthetic)의 불유합에서도 사용 가능한 장점이 있다. 연부조직의 문제만 없다면 금속판 고정술은 불유합의 종류와 상관없이 안정성 정렬회복과 골절부의 압박까지 얻을 수 있는 유용한 방법이다(Fig. 4). 이미 골수정 등이 고정된 불유합의 경우에도 금속판의 위치를 골수정에 비껴서(eccentric) 양측 피질골을 고정할 수 있으며, 일측 피질골을 잠김 나사못(unicortical locked screws)으로 골절부의 고정력을 증가시킬 수 있다.<sup>5)</sup>

금속판 고정술의 단점은 수술의 침습성에 있는데, 특히 불유합 주위의 연부조직에 기존의 문제가 있는 경우에 괴사 또는 감염의 합병증이 생길 수 있다. 골수정과는 달리 조기에 체중 부하가 힘든 장점이 있으며, 특히 골결손이 심한 경우에는 금속판의 파손 등의 가능성이 높다.

금속판 고정법은 술 후 주위 연부조직에 발생할 수 있는 광범위한 부종이 중요한 문제이며, 이는 종종 예상 못한 창상 치유 문제와 구획 증후군과 같은 합병증이 따를 수 있으므로 주의가 요구된다. 이에 최근에는 급성 골절에 이용되는 최소 침습적 금속판 고정술을 불유합에 적용하는 노력이 기울여지고 있다.

## 2. 골수정 고정술(intramedullary nailing)

불유합에 대한 골수정 고정술은 크게 3가지로 구분할 수 있는데, 기존에 골수정이 없는 상태에서 고정한 경우, 교환 골수정, 그리고 역동화로 나눈다. 골수정은 골간부의 불유합에서 가장 많이

사용되는 방법이며, 해부학적 위치에 따라서는 골간단부의 불유합에서도 적용이 가능하다.

### 1) 1차적 및 교환 골수정 고정술(primary/exchange nailing)

보존적 치료 후에 발생한 골간부의 불유합의 치료 또는 금속판 고정술 후에 발생한 불유합에서도 골수정 고정술은 유효한 방법이다. 교환 골수정은 이미 고정된 골수정이 회전력 또는 적절한 안정성을 가지지 못할 때 이를 제거하고 보다 직경이 큰 확공성 골수정을 이용하여 고정하는 방법이다.<sup>6)</sup> 또한 기존의 골수정의 기계적인 안정성은 부족하지 않더라도 교환 골수정술 시의 확공술(reaming)은 국소적인 골이식 효과와 골절 치유를 위한 감염성 반응을 유도하는 장점이 있다(Fig. 5). 일부에서 정렬이 좋지 못한 경우에 교환 골수정을 권유하지 않는다는 의견이 있지만 부정정렬이 있더라도 이를 경피적 절골술을 시행하여 정렬을 회복하고 골절의 유합을 얻을 수 있다. 확공의 정도에 대한 논란이 있으나, 약 1 mm 정도의 과다 확공(over-reaming)이 권유되고 있으며, 기계적인 안정성을 얻을 수 있도록 하는 것이 최소한의 요구사항이다.<sup>7)</sup> 경골에서의 교환 골수정을 고려할 때에는 비골의 절골술이 흔히 같이 시행되는데, 이는 골절부의 압박을 유도한다고 알려져 있으나 이는 항상 필요한 술식은 아니다. 대퇴골의 협부(isthmal)에서 불유합에서 교환 골수정의 성공률은 매우 높지만 비협부(non-isthmal)에서는 현저히 낮는데, 이는 기계적 안정성의 제한이 있기 때문으로 생각된다.<sup>8)</sup> 특히 대퇴골의 원위 간부에서의 불유합에서는 생역학적 안정성을 증가시키기 위한 방법으로 교환 나사의 숫자를 증가시키거나 간섭(blocking) 또는 poller 나사못을 추가하여 안정성을 높이기도 한다(Fig. 6).<sup>9)</sup> 골간단부에 매우 가까운 부위의 불유합은 추가적인 금속판을 사용하여 기계적 안정성을 높일 수도 있다(Fig. 7).

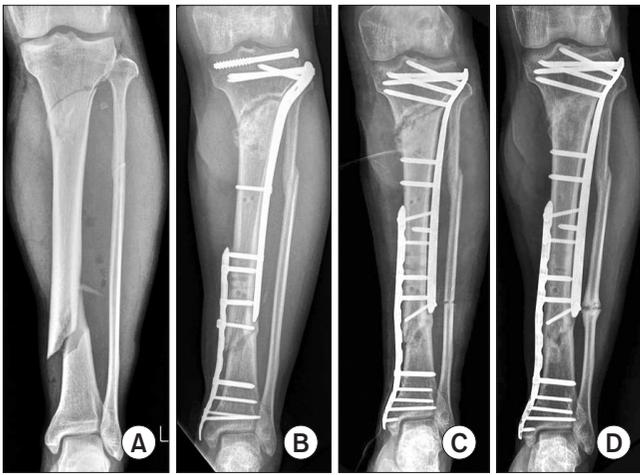
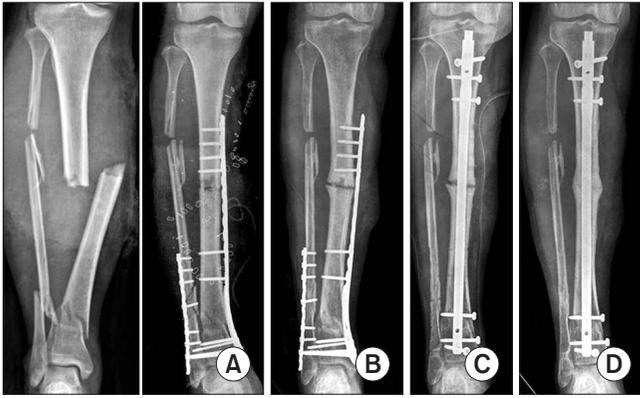


Figure 3. (A, B) For a segmental tibial shaft fracture, plate fixation was performed; however, hypertrophic nonunion occurred with insufficient numbers of screws and relatively short length of plate. (C) With the correction of alignment, more numbers of screws and a longer length of plate were fixed. (D) Complete bony union was achieved at 10 months later.



Figure 4. (A, B) A nonunion occurred after intramedullary nailing of proximal humeral shaft, probably from the unstable fixation with one interlocking screw at the distal segment. (C) The increase of isotope uptake shows the viability of fracture site. Compression plating was performed without bone graft (D), and bony union was achieved (E).



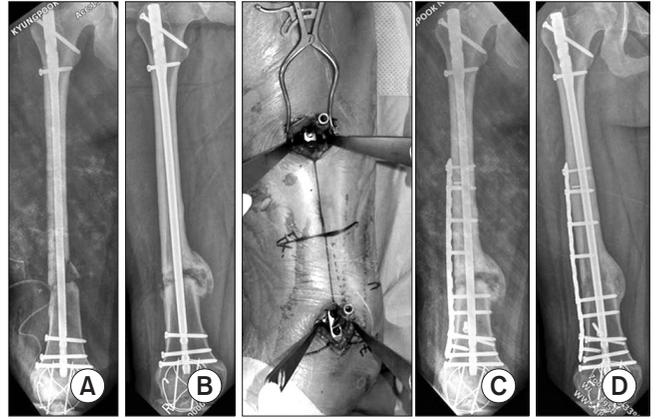
**Figure 5.** (A) A plate was fixed for a segmental fracture of tibia shaft. (B) Due to the relatively short length of medial plate, hypertrophic nonunion occurred with the implant loosening. (C) Reamed intramedullary nailing was performed after removal of previous plate without bone graft. (D) Bony union was achieved after one year.



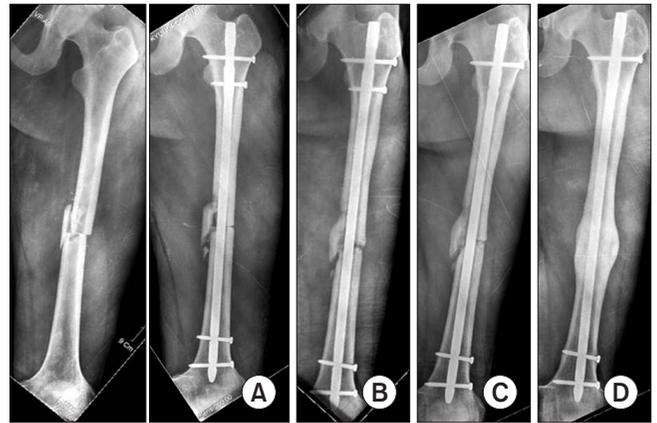
**Figure 6.** (A) Distal shaft fracture of the femur showed the hypertrophic nonunion with abundant callus formation, at 6 months after nailing. (B) To obtain additional stability, an additional interlocking screw and interference screws were added to the distal femur. (C) Complete bone union was achieved without bone graft, after 9 months.

## 2) 역동화(dynamization)

역동화는 골절부의 작은 간격이 있는 불유합 또는 지연유합에 유용한 술식으로 골수정 한쪽의 교합나사를 제거하여 체중 부하 시에 축성 압박을 유도한다.<sup>10)</sup> 골절부의 간격은 최초 수상 시의 골 소실, 파골세포에 의한 골흡수, 기존의 수술 시 골절부의 신연으로 발생할 수 있다. 역동화는 교합나사의 제거 방법에 따라 2가지로 나눌 수 있다. 먼저 정적 나사못(static screw)을 제거하고 동적 나사못(dynamic screw)을 남기는 방법은 회전정렬을 유지할 수



**Figure 7.** (A, B) After intramedullary nailing for a distal femoral shaft fracture, a hypertrophic nonunion of the femur was observed, probably from insufficient working length of distal fixation. (C) An augmentation plate with the minimally invasive technique was fixed to add stability, without bone graft. (D) Solid bone union was achieved with bridging of the callus.



**Figure 8.** (A, B) An atrophic nonunion developed after static intramedullary nailing of femoral shaft fracture with a gap at the fracture site. (C) The procedure of dynamization was performed with removing the static interlocking screw at the proximal segment. (D) A complete bony union was achieved.

있는 장점이 있다. 남아있는 동적 나사못은 단축을 제한하여 골절부의 충분한 압박이 되지 않는 단점이 있으나 과도한 단축을 예방하는 장점이기도 하다. 골수정 한쪽에 있는 모든 교합나사를 제거하는 역동화 방법은 단축을 최대한 얻을 수 있지만 과도한 단축이나 회전의 부정정렬(malrotation)이 발생하는 단점이 있다. 그러므로 이 방법은 골절 형태 자체가 단축을 제한하고 골절의 치유 자체가 회전 안정성을 가지는 경우에 한하여 적용 가능하다. 역동화의 위치가 중요한데, 골절부의 가까운 쪽의 나사못을 남기고 협부의 반대편의 나사못을 제거하는 것이 골절부에서 안정성을 최대화할 수 있다. 골의 단축이 일어날 경우에는 나사

못을 제거한 쪽의 골수정은 관절 내로 돌출될 수 있으므로 주의가 필요하다. 과거에 급성 대퇴골 골절에 대하여 골수정을 시행한 후 관례적으로 역동화를 시행한 적이 있었는데, 이에 대한 임상적 증거는 부족하며 역동화를 하지 않아도 높은 골유합을 얻을 수 있다. 비록 불유합 또는 지연유합에서의 역동화의 효과는 약 50%에서 성공률이 보고되고 있으나 위험성이 낮고 조기에 체중 부하가 가능하므로 단축이 예상되지 않는 골절에서 시도할 가치는 있다(Fig. 8).

### 3. 외고정 장치(external fixation)

Ilizarov 개념을 이용한 원형 외고정 장치는 불유합 치료에 가장 많이 이용되고 있다. 가는 금속 강선은 장관골의 어떠한 부위에서도 적용이 가능한 장점이 있다. 연부조직이 좋지 못한 경우에서도 사용 가능하고 동반된 기형을 동시에 교정하며 조기에 체중 부하가 가능한 이점이 있다. 원형 외고정 장치 사용 시에 골이식의 필요성을 결정하는 중요한 인자는 불유합의 특성에 달려 있으며, 이는 완고한(stiff) 불유합과 유연한(mobile) 불유합에 따라 결정된다. 완고한 불유합은 과도한 가골을 보이는 비후형 불유합에 해당하여 골이식이 필요하지 않다. 유연한 불유합은 위축형 불유합에서와 같이 골이식을 이용한 골생성 자극이 요구된다.

신연골 형성술(distraction osteogenesis)의 원칙과 같이 비후형 불유합을 점진적으로 신연하면 약 1.5 cm까지 연장하여 신생골을 형성할 수 있으며 유합을 얻을 수 있다. 만약 추가적인 길이가 요구된다면 다른 부위에서 절골술을 시행하고 신연골 형성술을 시행하여 성취할 수 있다. 횡형의(transverse) 불유합에서는 순수한 골절부의 압박을 외고정 장치를 이용하여 얻고 골유합을 이룰 수 있다.

원형 외고정 장치의 또 다른 유용성은 골 이동술(bone trans-

port)이 가능한 것이며, 골소실이 큰 불유합, 감염성 불유합 등에서 골의 생성과 더불어 변형의 회복, 골의 유합을 얻을 수 있는 장점이 있다. 기술적으로 어렵고 시간이 많이 걸리며 그에 따른 편 감염이 따르는 것은 단점이다. 하지만 최근에는 기간을 단축하기 위해<sup>11,12)</sup> 골수정 또는 금속판을 같이 사용하여 골 이동술을 함으로써 외고정 장치를 빨리 제거하고 합병증을 줄이는 방법이 개발되었다(Fig. 9).

### 4. 골이식술(bone graft)

불유합에서의 골이식 방법은 자가골 이식이 가장 많이 사용되고 있으며, 그 외 골이식 대체물 및 동종골이식 등도 이용되고 있다. 적절한 골이식물의 선택은 필요한 특성, 필요한 양, 재료의 접근성, 가격, 효능 등에 따라 결정된다.

#### 1) 자가골 이식(autogenous bone graft)

위축성 불유합과 일부의 빈영양형 불유합에서 주로 이용된다. 장골에서의 채취가 가장 흔하며 그 외 대퇴골과(femoral condyle) 및 경골과(tibia condyle)에서도 채취를 할 수 있다. 망상골은 골 생성 및 골 전도의 효과를 모두 가지고 있는데, 골이식 후 약 15%의 골 세포와 골아세포는 잔존한다고 알려지며, 다양한 성장 인자와 골 형성 단백질 역시 좋은 골형성 요인이 된다(Fig. 10). 채취량이 제한되어 많은 양의 이식골이 필요한 불유합에서는 자가골 이식의 단점이 있다. 또한 감염, 통증, 신경 및 혈관 손상, 이차적 골절 및 혈종 등과 같은 공여부(donor site)의 위험성이 높은 것은 단점이다.

#### 2) 골이식 대체물(bone graft substitutes)

자가골 이식을 대체할 수 있는 물질은 탈무기질 골기질(demineralized bone matrix), 골수액(bone marrow aspirate), 혈소판-풍

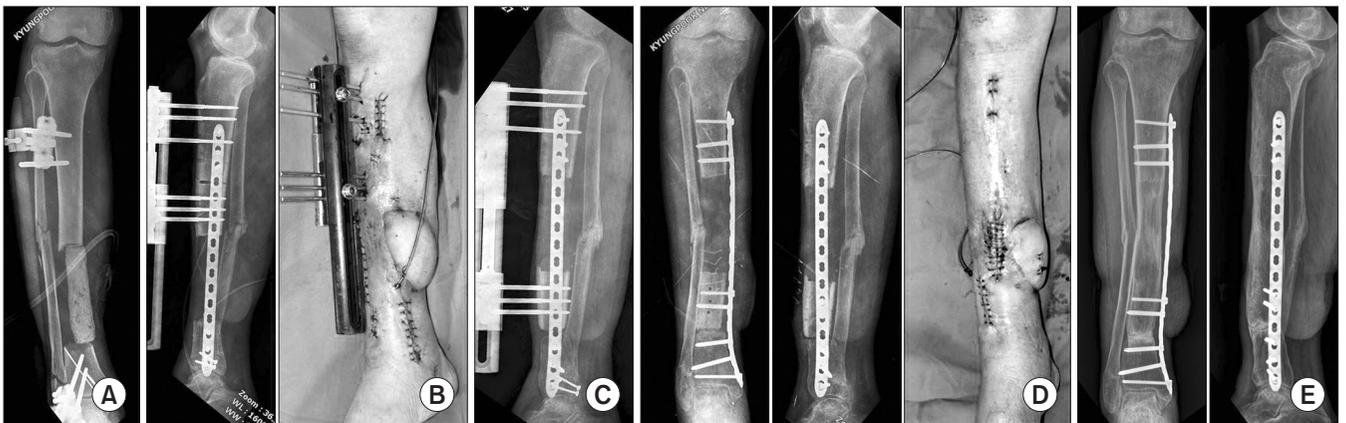


Figure 9. (A) A nonunion with segmental bone defect occurred after the management of open tibia fracture. (B, C) Bone transport over the plate was performed. (D) After the completion of bone transport, screws were fixed at the transported segment through empty holes of plate followed by the bone graft at the docking site and the removal of external fixator. (E) At 8 months, radiograph showed the consolidation at the distraction area and union at the docking site.

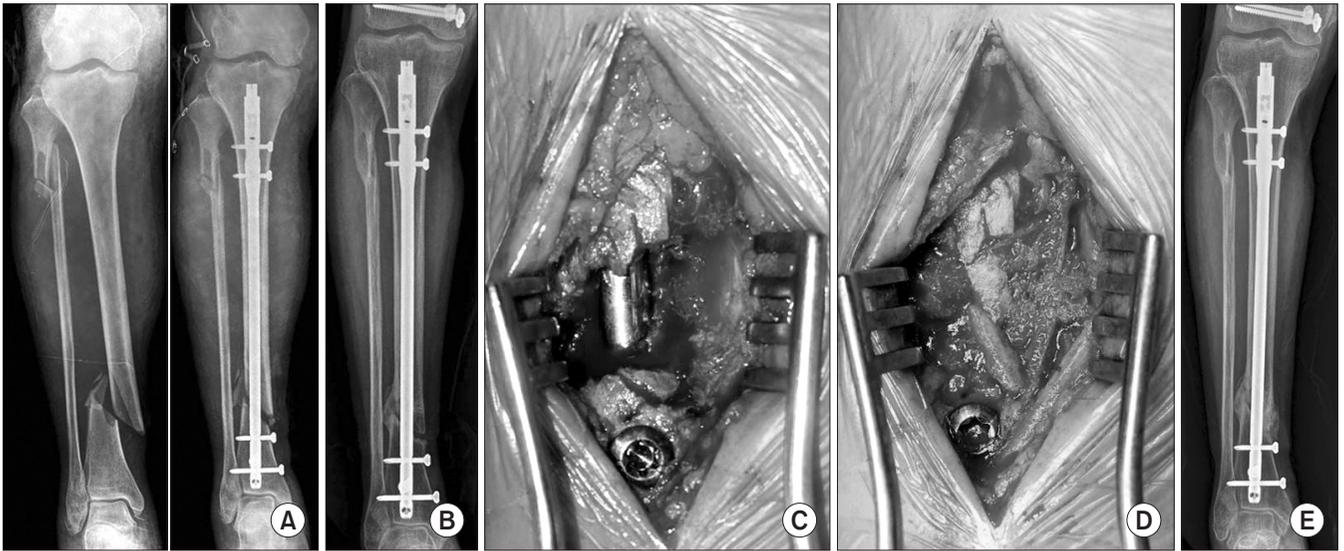


Figure 10. Nailing was done in open fracture of the distal tibia (A); however, the atrophic nonunion occurred without callus formation on the radiograph (B). Bone defect was observed at the fracture site (C), and autogenous bone graft was performed (D). (E) After 7 months, complete bone union was achieved.



Figure 11. Plate fixation was performed for open fracture of the distal femur (A), and nonunion occurred (B). (C) Osteosynthesis was performed with bone Graft substitutes (Ca-Phosphate ceramics) and autologous bone graft. (D) Complete bone union was achieved in the nonunion site.

부 혈장(platelet-rich plasma), 동종골(allograft), 세라믹 제재가 있다. 또한 의용 생체공학의 발달로 골형성 단백질과 같은 성장 인자들도 최근에 적용되고 있다. 이러한 골이식 대체물의 장점은 환자가 가지는 위험성이 낮고, 무한정의 양을 쓸 수 있다는 것이다. 불유합에 쓰이는 가장 이상적인 골대체물은 값이 싸고 용량의 제한이 없으며 쉽게 사용 가능하고 부작용이 없으며 100% 효과적이어야 하지만 실제 이 모든 특성을 가진 물질은 없다. 세라믹 제재는 calcium sulfate, calcium phosphates, beta tricalcium phosphate, hydroxyapatite 등이 있으며, 이는 골유도 또는 골생성 효과는 없이 골전도 역할만 있어서 주로 골이식의 양이 부족할 때 이용된다(Fig. 11).<sup>13)</sup>

### 3) 이식부의 처치(graft site preparation)

이식되는 부위는 건강한 골을 노출시키고 국소적인 육아조직을 제거하여 이식골의 접촉면을 증가시키며 혈류가 잘 자극되어야 한다. 불유합의 부위에 대한 변연 절제술 역시 철저히 시행해야 하며 주위의 연부조직은 잘 보존해야 한다. 장관골의 경우 중심부(center)보다 주변부(periphery)에서의 골이식의 접촉 및 경화가 유합의 생역학에 중요하므로 연부조직의 벗김은 최소화하고 원주형태(circumferentially)로 이식부위를 준비해야 한다. 특히 불유합 부위의 주변부에서 피질골 또는 가골을 깎아서 혈류가 잘 전달되도록 만들어 골이식의 치유가 될 면적을 증가시키는 것이 권유된다. 비슷한 개념으로 꽃잎모양(flower petal) 또는 고기비늘(fish scaling) 모양으로 골의 박편을 만드는 방법도 있다. 하지만 골다공증이 있는 뼈에서는 의인성 골절이 생기거나 고정력이 약화될 수 있으므로 주의가 필요하다.

### 4) Masquelet 방법을 이용한 자가골 이식술

분절성 골소실(segmental bone loss)에 대한 치료방법으로 신연골형성술 이외의 방법으로 최근 방법<sup>14)</sup>이 보고되고 있다. 이는 골소실 부위를 poly(methyl methacrylate) 시멘트로 채운 다음에 약 4-6 주경에 골생성을 유도할 수 있는 막(osteogenic membrane)을 형성하게 하고 시멘트를 제거한 후 자가 망상골(autogenous cancellous bone)을 이식하는 방법이다. 피질골의 재형성은 약 3-6개월 정도 걸리며, 이때 골수정이나 금속판을 같이 사용하여 골절부를 안정화시킬 수 있다. 시멘트의 역할은 추후 골이식할 공간을 유지하여 섬유조직이 침투하지 못하도록 하며 형성된 골 유도막은 골이식을 간직하고 성장 인자 등을 포함하여 골이식의 효과를 최대화한다.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

## REFERENCES

1. McKee MD, DiPasquale DJ, Wild LM, Stephen DJ, Kreder HJ, Schemitsch EH. The effect of smoking on clinical outcome and complication rates following Ilizarov reconstruction. *J Orthop Trauma*. 2003;17:663-7.
2. Castillo RC, Bosse MJ, MacKenzie EJ, Patterson BM; LEAP Study Group. Impact of smoking on fracture healing and risk of complications in limb-threatening open tibia fractures. *J Orthop Trauma*. 2005;19:151-7.
3. Giannoudis PV, MacDonald DA, Matthews SJ, Smith RM, Furlong AJ, De Boer P. Nonunion of the femoral diaphysis. The influence of reaming and non-steroidal anti-inflammatory drugs. *J Bone Joint Surg Br*. 2000;82:655-8.
4. Hak DJ. Management of aseptic tibial nonunion. *J Am Acad Orthop Surg*. 2011;19:563-73.
5. Park J, Kim SG, Yoon HK, Yang KH. The treatment of non-isthmal femoral shaft nonunions with im nail exchange versus augmentation plating. *J Orthop Trauma*. 2010;24:89-94.
6. Brinker MR, O'Connor DP. Exchange nailing of ununited fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89:177-88.
7. Oh JK, Bae JH, Oh CW, Biswal S, Hur CR. Treatment of femoral and tibial diaphyseal nonunions using reamed intramedullary nailing without bone graft. *Injury*. 2008;39:952-9.
8. Yang KH, Kim JR, Park J. Nonisthmal femoral shaft nonunion as a risk factor for exchange nailing failure. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;72:E60-4.
9. Eom TW, Kim JJ, Oh HK, Kim JW. Challenge to treat hypertrophic nonunion of the femoral shaft: the Poller screw augmentation technique. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2016;26:559-63.
10. Litrenta J, Tornetta P 3rd, Vallier H, et al. Dynamizations and exchanges: success rates and indications. *J Orthop Trauma*. 2015;29:569-73.
11. Oh CW, Apivatthakakul T, Oh JK, et al. Bone transport with an external fixator and a locking plate for segmental tibial defects. *Bone Joint J*. 2013;95:1667-72.
12. Oh CW, Song HR, Roh JY, et al. Bone transport over an intramedullary nail for reconstruction of long bone defects in tibia. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2008;128:801-8.
13. Ziran BH, Smith WR, Morgan SJ. Use of calcium-based demineralized bone matrix/allograft for nonunions and post-traumatic reconstruction of the appendicular skeleton: preliminary results and complications. *J Trauma*. 2007;63:1324-8.
14. Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, Muller GP. Reconstruction of the long bones by the induced membrane and spongy autograft. *Ann Chir Plast Esthet*. 2000;45:346-53.

## 치료하기 어려운 골절 및 합병증

## 불유합의 원인과 치료

박경현 · 김준우 · 오창욱<sup>✉</sup>

경북대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

불유합은 골절의 특성, 환자의 특성 및 치료 등과 관련된 다양한 인자, 그리고 감염 등의 원인으로 발생한다. 감염성을 제외한 비감염성 불유합은 골절부의 생물학적 활동에 따라 위축성, 빈영양형, 그리고 비후형으로 나뉘게 된다. 불유합의 치료는 그 원인 및 분류에 따라 적절한 치료를 하게 된다. 이에 관하여 저자의 경험과 함께 불유합의 원인과 치료 방법에 대해 알아보려고 한다.

**색인단어:** 골절, 불유합, 비감염성 불유합, 위축성 불유합, 빈영양형 불유합, 비후형 불유합

접수일 2017년 7월 3일 게재확정일 2017년 7월 22일

<sup>✉</sup>책임저자 오창욱

41944, 대구시 중구 삼덕로 130, 경북대학교병원 정형외과

TEL 053-200-5630, FAX 053-422-6605, E-mail [cwoh@knu.ac.kr](mailto:cwoh@knu.ac.kr)