



대퇴골 간부 골절에 대한 골수강내 금속정 치료 후 발생한 비후성 불유합에서 금속정 교환술의 결과

조승환 · 이광철[✉] · 이상홍 · 이준영 · 김동휘 · 박성해 · 조영민

조선대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

Results of Exchange Nailing in Hypertrophic Nonunion of Femoral Shaft Fracture Treated with Nailing

Suenghwan Jo, M.D., Gwang Chul Lee, M.D.[✉], Sang Hong Lee, M.D., Jun Young Lee, M.D., Dong Hwi Kim, M.D., Sung Hae Park, M.D., Young Min Cho, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, School of Medicine, Chosun University, Gwangju, Korea

Received March 21, 2018
Revised (1st) May 25, 2018
(2nd) August 30, 2018
Accepted December 28, 2018

✉Correspondence to:

Gwang Chul Lee, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery,
Chosun University Hospital, 365
Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju
61453, Korea
Tel: +82-62-220-3147
Fax: +82-62-226-3379
E-mail: leekci@chosun.ac.kr

Financial support: This study was supported by research fund from Chosun University, 2014

Conflict of interests: None.

Purpose: This study examined the outcomes of exchange nailing for the hypertrophic nonunion of femoral shaft fractures treated with intramedullary nailing as well as the factors affecting the treatment outcomes.

Materials and Methods: From January 1999 to March 2015, 35 patients, who had undergone intramedullary nailing with a femoral shaft fracture and underwent exchange nailing due to hypertrophic nonunion, were reviewed. This study investigated the time of union and complications, such as nonunion after exchange nailing, and analyzed the factors affecting the results.

Results: Bone union was achieved in 31 cases (88.6%) after exchange nailing and the average bone union period was 22 weeks (14-44 weeks). Complications included persistent nonunion in four cases, delayed union in one case, and superficial wound infection in one case. All four cases with nonunion were related to smoking, three of them were distal shaft fractures, and one was a midshaft fracture with underlying disease.

Conclusion: Exchange nailing produced satisfactory results as the treatment of hypertrophic nonunion after intramedullary nailing. Smoking is considered a factor for continuing nonunion even after exchange nailing. In the case of a distal shaft, where the intramedullary fixation is relatively weak, additional efforts are needed for stability.

Key Words: Femur, Nonunion, Exchange, Intramedullary nailing

서론

대퇴골 간부 골절의 치료로서 골수강내 금속정은 비교적 견고한 내고정으로 조기 관절 운동 및 체중 부하를 가능하게 하고 빠른 골절 유합과 기능 회복을 얻을 수 있다. 골수강내

금속정을 이용한 치료 후 발생한 불유합은 복합적인 요인에 의해 발생할 수 있고 원인들에 따라 비후성 불유합, 위축성 불유합 등 다양하게 나타날 수 있으며 비후성 불유합의 경우 견고한 고정이 이루어지지 않았을 때 발생한다.¹⁻⁴⁾ 본 연구에서는 교합성 골수강내 금속정 후 발생한 대퇴골 간부 골절의

비후성 불유합에 대해 골수강 확공 후 큰 직경을 가진 금속정을 삽입하는 금속정 교환술을 시행하고 그 치료 결과를 분석하여 치료 결과에 영향을 미치는 인자에 대해 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1999년 1월부터 2015년 3월까지 대퇴골 간부 골절로 전향적 골수강내 금속정 삽입술을 시행받은 환자 중 비후성 불유합이 발생하여 조선대학교병원에서 전향적 골수강내 금속정 교환술을 시행한 35예를 대상으로 후향적인 조사를 하였다. 포함 기준은 20세 이상의 성인, 대퇴 간부(전자 하부 및 과상부 골절 제외) 골절, 금속정 교환술로부터 최소 6개월 이상 추시가 가능하였던 환자를 대상으로 하였고 최종 추시 기간은 평균 18개월(6-36개월)이었다. 제외 기준은 병적 골절이나 대퇴골 골절의 과거력이 있는 경우, 하지 마비 환자 및 소아 환자의 경우였고 감염성 불유합의 경우도 대상에서 제외하였다. 연령 및 성별 분포는 평균 38세(20-65세)였으며 남자가 25예, 여자가 10예였다. 수상 시 골절부가 골수강 협부에 위치하면 중간부, 협부에서 골수강이 넓어지는 위치에 따라 상부는 근위간부, 하부는 원위간부로 분류하였고 근위간부가 5예, 중간부가 20예, 원위간부가 10예였으며 골절의 양태에 따른 분류는 Winquist-Hansen 분류법⁵⁾을 이용하여 I형이 20예로 가장 많았다(Table 1).

수상 시 동반 손상으로는 골반부 골절이 3예, 슬개골 골절이 4예, 반대편 경, 비골 골절 2예, 동측의 경골 골절 2예가 발생하였다. 동반 기저 질환으로는 혈압 5예, 당뇨 4예가 발생하였으며 하루에 한 갑 이상의 흡연자는 10예였다.

불유합의 판정 기준은 수상 후 9개월이 지난 시점에서 최근 3개월간 단순 방사선 소견 및 임상적 소견상 골절 치유가 진행된다는 증거가 보이지 않는 경우로 하였고 분류로는 Weber와 Brunner의 분류법⁶⁾을 이용하여 비후성 불유합을 대상으로 하였다. 일차 치료부터 본원에서 불유합에 대한 수술적 치료를 시행하기까지의 기간은 최단 9개월부터 최장 24개월로 평균 12개월이었다(Table 1).

수술 방법으로는 전체 예에서 확공술 및 금속정 교환술을 시행하였다. 양와위에서 먼저 시행된 금속정을 제거하고 유도강선을 삽입한 후 가장 작은 크기의 확공기를 사용한다 음 순차적으로 큰 확공기를 이용하여 확공을 시행하였다. 골수강 내 열 손상을 줄이기 위하여 확공 시에 식염수를 골수강 내에 주입하여 확공을 시행하였다. 원칙적으로 처음 사용

하였던 금속정의 직경보다 2 mm 이상의 확공을 시행하였으며 확공 후 보이는 조직이 골 조직으로 확인될 때까지 확공을 시행하였다. 간혹 확공 시에 골수강내 협부가 좁아 확공이 진행되지 않을 때에는 C-arm 영상을 통해 협부와 확공기의 크기를 확인한 후 작은 크기의 확공을 다시 시행한 다음 순차적으로 다시 확공을 시행하였으며 열 손상을 줄이기 위해 점진적인 진행이 되도록 시간을 두고 확공을 시행하였다. 처음 삽입된 금속정의 삽입점(이상와 또는 대전자부)에 따라 동일한 삽입점을 가지는 금속정으로 교체하였고 금속정의 크기는 처음 사용한 금속정의 크기보다 최소 1 mm 이상을 원칙으로 하고 최대 확공직경에 맞도록 금속정을 선택하였다. 금속정 삽입 후 골절부의 신연 여부는 C-arm 영상을 확인하여 술 전보다 신연되었다고 판단되면 먼저 근위부에 정적 나사를 삽입 후에 슬관절을 굴곡하고 이를 압박하여 신연부를 줄이거나 원위부 정적 나사를 삽입 후에 금속정을 삽입 반대 방향으로 빼면서 골절부 간격을 최소화하였다(Fig. 1).

최종적으로 교합나사 삽입을 시행하였으며 원위부에는 최소 2개 이상의 교합나사 고정을 원칙으로 하고 골절부가 협부 이하의 골간단부일 경우에는 최소 3개 이상의 교합나사를 삽입하였다. 근위부의 경우 dynamic, static screw 각각 1개씩 총 2개의 교합나사 고정을 원칙으로 하고 hip screw는 사용하지 않았다. 모든 교합나사의 위치는 첫 번째 수술과 다른 부위에 고정되도록 가능한 골수정의 위치를 조정하였으며 'Blocking screw'는 모든 예에서 사용하지 않았다. 교합나사의 위치가 중첩되어 부득이하게 근위부를 1개의 나사로 고정한 2예에서는 모두 정적 나사를 사용하였다. C-arm 영상에서 축과 정렬상태 및 길이를 확인하고 전체 예에서 부목고정은 시행하지 않았다. 술 후 통증 정도에 따라 능동적 관절 운동을 시행하였고 동측 경골의 분절 골절로 대퇴골의 금속정 교환술과 동시에 경골부의 골 이식술 및 금속판 교체술을 시행하였던 1예를 제외한 전체 예에서 점진적인 체중 부하를 시행하였다.

임상기록 및 방사선 소견을 통해 후향적 연구를 시행하였으며 불유합은 추시 방사선상 골절부의 양단에서 골 소주로 연결되는 소견이 전후면, 측면 사진상 3면에서 이루어지고 이학적 검사상 골절부의 압통이나 가성 운동이 없는 경우로 판정하였고 9개월의 추시 관찰에서 불유합의 진행이 없는 경우 불유합으로 정의하였다. 최종 추시상 불유합이 발생한 예에 대해 나이, 성별, 동반 손상과의 연관성에 대해 분석하였고 골절 부위와 불유합의 연관성에 대해 조사하였다. 흡연 유무, 기저질환과 불유합의 연관성에 대해서도 분석하였다. 통계적

Table 1. Patients Demographic Data

Case No.	Age (yr)	Sex	Combined injury	Location of fracture	Winqvist-Hansen classification	Comorbidity	Smoking	Soft tissue injury	Months injury to nonunion	Weeks exchange nail to union
1	32	M		Distal shaft	I		Y	Closed	9	18
2	46	F		Midshaft	II		Y	Closed	10	28
3	25	M	Acetabular Fx.	Midshaft	I		N	Closed	9	32
4	52	M		Proximal shaft	I		Y	Closed	20	32
5	27	M	Both tibia Fx.	Midshaft	I		N	Open	15	36
6	58	M		Distal shaft	0	DM	N	Closed	9	32
7	62	M		Midshaft	I	HTN, DM	Y	Closed	22	Nonunion
8	24	M		Proximal shaft	III		N	Closed	10	16
9	37	M		Midshaft	I		N	Closed	9	32
10	45	M	Patella Fx.	Midshaft	0	HTN	N	Closed	12	32
11	44	M		Distal shaft	I		Y	Closed	10	Nonunion
12	37	M	Tibio-fibular Fx. Patella Fx.	Midshaft	II		N	Closed	9	44 (delayed union)
13	25	F		Midshaft	0		N	Closed	9	14
14	22	M		Distal shaft	I		N	Closed	10	30
15	25	M	Acetabular Fx.	Proximal shaft	I		N	Closed	12	28
16	56	M		Midshaft	III	HTN	Y	Closed	16	36
17	65	M	Tibia Fx.	Midshaft	I	DM	N	Open	9	36
18	62	F		Midshaft	II	HTN, DM	N	Closed	9	32
19	44	M		Proximal shaft	I		N	Closed	10	26
20	43	F		Distal shaft	0		Y	Closed	12	Nonunion
21	28	M		Midshaft	I		N	Closed	15	16
22	20	F		Midshaft	II		N	Closed	9	14
23	33	M		Midshaft	I		N	Closed	9	16
24	27	M		Distal shaft	I		N	Closed	9	28
25	25	M	Patella Fx.	Midshaft	III		N	Closed	12	24
26	29	F		Midshaft	0		N	Closed	24	28
27	32	F		Distal shaft	I		N	Closed	12	28
28	42	F		Midshaft	I		Y	Closed	20	24
29	56	M	Acetabular Fx.	Midshaft	II	HTN	N	Closed	9	36
30	25	M		Distal shaft	I		N	Closed	12	28
31	48	M		Midshaft	0		Y	Closed	16	36
32	39	F	Patella Fx.	Distal shaft	I		N	Closed	12	32
33	43	F		Distal shaft	II		Y	Open	9	Nonunion
34	28	M		Midshaft	I		N	Closed	9	16
35	24	M		Proximal shaft	I		N	Closed	12	28

M: male, F: female, Fx.: fracture, DM: diabetes mellitus, HTN: hypertension, Y: yes, N: no.

인 분석은 PASW ver. 18.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였고 통계 분석은 Pearson's chi-square test, t-test, logistic regression analysis를 사용하였으며 유의성은 0.05 이하로 정의하였다. 본 연구는 조선대학교병원의 의학연구윤리심의위원회(승인번호: CHOSUN 2018-09-008-001)의 승인을 받아 진행되었다.

결 과

골수강내 금속정 교환술을 시행한 35예 중 31예(88.6%)에서 골유합이 이루어졌으며 평균 골유합 기간은 22주(14-44주)였다. Winqvist-Hansen 분류에 따른 골유합 기간($p=0.464$), 성별 및 나이에 따른 골유합 기간($p=0.313$,

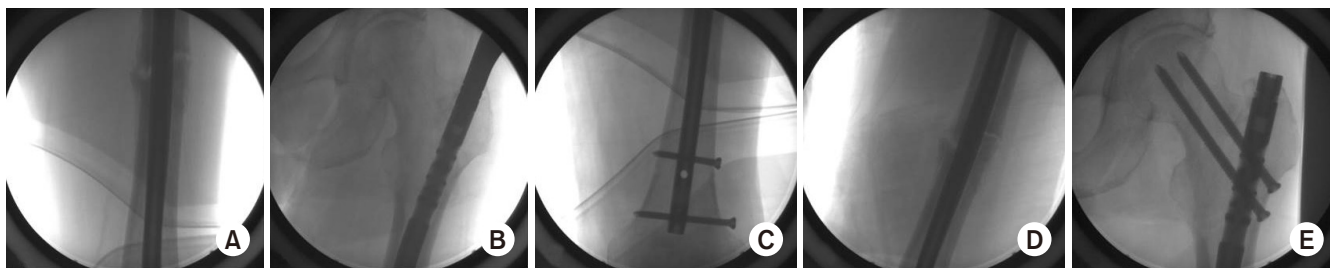


Fig. 1. (A) Fracture site gap is shown after exchange nailing. (B) More deep insertion of the nail. (C) Distal screw fixation first, followed by pull out of the nail reversely. (D) Fracture site gap is reduced. (E) Proximal screw fixation finally.

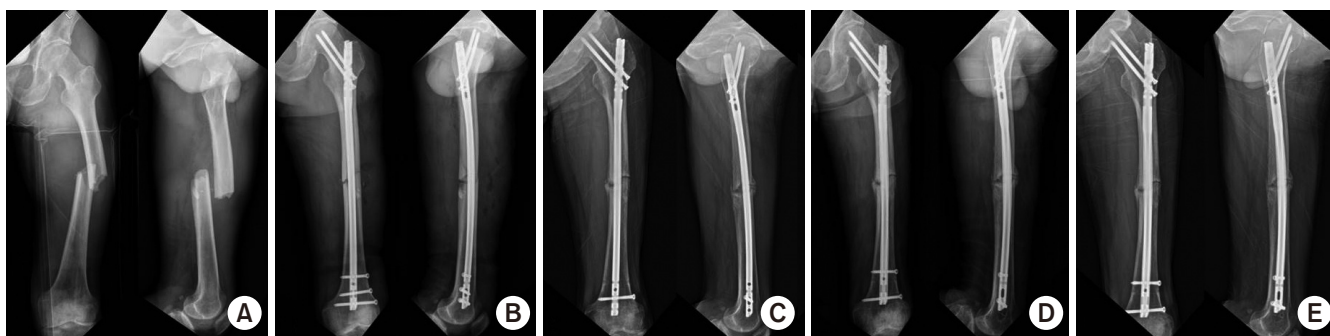


Fig. 2. A 62-year-old male smoker. He had uncontrolled diabetes and blood pressure. (A) X-ray shows a left femur midshaft fracture (Winquist-Hansen Type I). (B) Initially, intramedullary nailing was done. (C) After 22 months, the X-ray shows hypertrophic nonunion. (D) Exchange nailing is done. (E) Finally, nonunion is presented.

$p=0.238$)은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 골절 부 위치에 따른 골유합 기간은 근위부는 26주(16–32주), 중간부는 28주(14–44주)소견을 보였고 원위부의 경우 28주(18–32주)로 통계적으로 의미는 없었으나($p=0.088$) 최종적으로 불유합이 발생한 예는 원위부 골절이 3예, 중간부 골절이 1예였다. 지연유합의 경우 중간부 골절 1예에서 발생하였으며 금속정 교체술과 동시에 경골의 골이식술을 시행하였던 1예에서 44주만에 골유합 소견을 얻을 수 있었다. 골수정 삽입부의 표재성 감염이 1예에서 발생하였으며 변연절제술 및 세척술 후 2차 봉합 시행하여 치유되었고 최종적으로 골유합 소견을 보였다.

불유합으로 판정된 4예를 분석해보면 3예는 협부 원위부의 골절상태로 최종 추시상 10도 미만의 각형성을 보였으며 지속적인 비후성 불유합의 양상을 보였다. 1예에서는 중간부 골절이었으며 혈압과 당뇨를 가지고 있었으나 기저질환 유무와 골유합과의 통계적인 연관성은 없었다($p=0.791$) (Fig. 2). 불유합이 발생한 4예 모두 흡연자였으며 흡연과 불유합의 연관성은 통계적으로 유의하였다($p<0.001$).

고 찰

대퇴골 간부 골절에 대한 골수강내 금속정 고정술은 대부분의 대퇴골 간부골절의 치료에 가장 많이 쓰이고 있다. 골수강내 금속정 고정술 후 불유합률은 2%–10%로 보고되고 있고 비교적 큰 외력에 의해 발생한 골절의 경우 불유합이 많이 발생한다고 보고되었다.^{2,3,7)}

대퇴골 간부 불유합의 치료 방법으로는 불유합 부위의 골이식과 함께 압박 금속판을 통한 금속판 고정술로의 교체, 확공술 후 더 큰 직경의 금속정으로 교체, 역동술, 추가된 금속판 고정술, 외고정기를 이용한 고정술 등 다양한 방법들이 시행되고 있다.^{7–12)} 금속정으로 교체하는 경우 금속판보다는 금속정이 부하를 덜 받는 물리적 특성이 있어 피로부전 발생이 적다는 장점이 있고, 확공술 시에 발생하는 골분해에 의해 자가골 이식효과를 얻을 수 있으며 확공술로 골-금속정 간의 접촉면을 증가시켜 견고한 골 고정이 가능하다고 하였다.^{13,14)} Webb 등¹⁵⁾은 대퇴골 간부 골절에서 지연유합 및 불유합이 발생한 105명에서 확공술 후 골수강내 금속정 교환술로 치료하였고 96%의 유합률을 보고하였다. 하지만 이러한 높은 성공률과 반대로 Weresh 등¹⁶⁾은 대퇴골 불유합의 치료

로 확공한 다음 골수강내 금속정 교환술을 시행한 후 47%의 낮은 성공률을 보고하였고 Banaszkiewicz 등³⁾도 58%의 낮은 성공률을 보고하였으며 이는 금속정 교환술을 시행할 때 적절한 적응증을 통한 신중한 수술 계획이 필요하다는 것을 알 수 있다. 기계적인 요소로 불유합이 발생하는 경우 부족한 고정력이 불유합에 가장 영향을 미친다.

본 연구에서 발생한 4예의 불유합 중 3예가 모두 협부 원위부에서 발생하였으며 이는 금속정 교환술이 협부와는 달리 넓은 골 간단부에서는 확공을 통해서도 충분한 고정력을 얻기 힘들었기 때문이라고 생각된다. Yang 등¹¹⁾에 의하면 대퇴골 협부가 아닌 부위에서의 불유합 시 단지 금속정 교환술을 시행한 경우 금속판으로 보강술을 시행한 경우보다 불유합률이 높았다고 보고하였으며 이는 골단부가 넓어 골수강내 금속정만으로는 충분한 고정이 힘들고 회전변형에 대해 취약하기 때문이라고 하였다. 골간단부에서의 금속정 고정술이 충분한 고정력을 얻기 위해 시행될 수 있는 방법으로는 원위부에 3개 이상의 교합성 나사를 삽입하는 방법, “blocking screw” 등을 이용하는 방법,¹⁷⁾ 추가적인 금속판 보강술 및 금속판을 통한 나사가 “blocking screw” 역할을 할 수 있는 방법들이 소개되고 있다.^{9,10,18)} 이러한 골간단부에서의 고정을 강화시키는 방법을 통해 골수강내 금속정의 고정력을 높여 골유합에 도움이 될 수 있을 것이라 판단된다. Kim 등¹⁹⁾은 대퇴골 협부 이하 불유합 18예에서 좀 더 큰 직경의 금속정을 가능한 원위부까지 삽입하고 blocking screw 및 원위부 교합 나사의 수를 가능한 한 많이 고정하는 술식을 이용하여 전체 예에서 골유합을 얻었음을 보고하였다.

불유합의 요인으로는 생물학적 측면 또한 작용하는데 본 연구에 의하면 금속정 교환술을 시행한 후 발생한 불유합 4예 모두 흡연과 관련이 있었으며 통계적으로도 유의미했다. 이러한 흡연과 불유합의 관련성에 대한 연구는 많이 알려져 있는데 흡연 시 흡수되는 니코틴이 골유합과 가골 형성에 영향을 미친다고 하며 니코틴이 골유합에 영향을 미치는 원인으로는 골이식 부위나 골절 부위의 재혈관화를 지연시키거나 감소시킨다고 알려져 있다.²⁰⁻²²⁾ 여러 관찰 연구에 의하면 척추 유합술 및 절골술을 시행한 환자에서 흡연이 좋지 않은 영향을 야기할 수 있다고 하였고,^{23,24)} Schmitz 등²⁵⁾에 의하면 경골 골절 수술 후 골유합 시간이 흡연 환자에서 약 70% 이상 지연되었다고 하였다. 이러한 내용으로 보아 골절 환자들의 치료에서 금연에 대한 교육이 꼭 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에 제한점으로는 후향적 연구이고, 비교적 적은 예로 연구되어 통계적으로 제한이 있으며 비교 대상이 없으

로 다른 치료방법과의 비교가 어렵다는 점이다. 하지만 골수강내 금속정 고정술 후 발생한 대퇴골 비후성 불유합에서 금속정 교환술의 적응증을 한정시키는 데 이 연구의 의의가 있을 것으로 판단된다.

결론

대퇴골 간부 골절의 골수강내 금속정 고정술 후 발생한 비후성 불유합의 치료로 골수강내 금속정 교환술은 협부 이상 부위에서 만족할 만한 결과를 보였다. 흡연은 금속정 교환술 후에도 불유합을 지속시킬 수 있는 요인으로 생각되며 골수강내 고정력이 비교적 약한 원위 간부의 경우 골수강내 금속정의 교환술 만으로는 충분한 고정력이 부족하므로 추가적인 안정성을 위한 노력이 필요할 것으로 생각된다.

요약

목적: 골수강내 금속정 고정술로 치료한 대퇴골 간부 골절에서 발생한 비후성 불유합에 대해 금속정 교환술의 결과를 알아보고 결과에 영향을 미치는 인자에 대해 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 1999년 1월부터 2015년 3월까지 대퇴골 간부 골절로 골수강내 금속정 고정술을 시행한 환자 중 비후성 불유합이 발생하여 조선대학교병원에서 금속정 교환술을 시행한 35예를 대상으로 하였다. 금속정 교환술을 시행한 후 골유합 시기와 불유합 등의 합병증에 대해 조사하였고, 금속정 교환술 이후에도 발생한 불유합에 영향을 미치는 요인에 대해 분석하였다.

결과: 금속정 교환술 시행 후 31예(88.6%)에서 골유합이 이루어졌으며 평균 골유합 기간은 22주(14-44주)였다. 합병증으로는 불유합 4예, 지연유합 1예, 표재성 창상 감염이 1예 발생하였다. 불유합이 발생한 4예 모두 흡연과 관련이 있었으며 이 중 3예는 원위 간부 골절이었고 1예는 중간부 골절로 기저 질환이 있었다.

결론: 대퇴골 간부 골절의 골수강내 금속정 고정술 후 발생한 비후성 불유합의 치료로 금속정 교환술은 만족할 만한 결과를 보였다. 흡연은 금속정 교환술 후에도 불유합을 지속시킬 수 있는 요인으로 생각되며 원위 간부의 경우 골수강내 금속정의 교환술만으로는 충분한 고정력이 부족하므로 추가적인 안정성을 위한 노력이 필요할 것으로 생각된다.

색인 단어: 대퇴골, 불유합, 교환술, 골수강내 금속

ORCID

조승환, <https://orcid.org/0000-0001-7262-710X>
이광철, <https://orcid.org/0000-0003-1639-414X>
이상홍, <https://orcid.org/0000-0002-2258-1147>
이준영, <https://orcid.org/0000-0002-9764-339X>
김동휘, <https://orcid.org/0000-0001-7011-8504>
박성해, <https://orcid.org/0000-0001-6191-3602>
조영민, <https://orcid.org/0000-0003-0253-8827>

References

- Crowley DJ, Kanakaris NK, Giannoudis PV: Femoral diaphyseal aseptic non-unions: is there an ideal method of treatment? *Injury*, 38 Suppl 2: S55-63, 2007.
- Lynch JR, Taitsman LA, Barei DP, Nork SE: Femoral nonunion: risk factors and treatment options. *J Am Acad Orthop Surg*, 16: 88-97, 2008.
- Banaszkiewicz PA, Sabboubeh A, McLeod I, Maffulli N: Femoral exchange nailing for aseptic non-union: not the end to all problems. *Injury*, 34: 349-356, 2003.
- 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*, 82: 655-658, 2000.
- Winquist RA, Hansen ST Jr, Clawson DK: Closed intramedullary nailing of femoral fractures. A report of five hundred and twenty cases. *J Bone Joint Surg Am*, 66: 529-539, 1984.
- Weber BG, Brunner C: The treatment of nonunions without electrical stimulation. *Clin Orthop Relat Res*, (161): 24-32, 1981.
- Lee KB, Moon ES, Song EK, Choi J, Jung ST: Treatment of the nonunion of femur shaft fractures after interlocking intramedullary nailing. *J Korean Fract Soc*, 15: 497-503, 2002.
- Park K, Kim K, Choi YS: Comparison of mechanical rigidity between plate augmentation leaving the nail in situ and interlocking nail using cadaveric fracture model of the femur. *Int Orthop*, 35: 581-585, 2011.
- Wang Z, Liu C, Liu C, Zhou Q, Liu J: Effectiveness of exchange nailing and augmentation plating for femoral shaft nonunion after nailing. *Int Orthop*, 38: 2343-2347, 2014.
- Lin CJ, Chiang CC, Wu PK, et al: Effectiveness of plate augmentation for femoral shaft nonunion after nailing. *J Chin Med Assoc*, 75: 396-401, 2012.
- Yang KH, Kim JR, Park J: Nonisthmal femoral shaft nonunion as a risk factor for exchange nailing failure. *J Trauma Acute Care Surg*, 72: E60-64, 2012.
- Jung HG, Kim DJ, Kim BH, Chung YY: Treatment of the femoral shaft nonunion occurred after intramedullary nailing. *J Korean Orthop Assoc*, 42: 653-658, 2007.
- Hak DJ, Lee SS, Goulet JA: Success of exchange reamed intramedullary nailing for femoral shaft nonunion or delayed union. *J Orthop Trauma*, 14: 178-182, 2000.
- Hierholzer C, Glowalla C, Herrler M, et al: Reamed intramedullary exchange nailing: treatment of choice of aseptic femoral shaft nonunion. *J Orthop Surg Res*, 9: 88, 2014.
- Webb LX, Winquist RA, Hansen ST: Intramedullary nailing and reaming for delayed union or nonunion of the femoral shaft. A report of 105 consecutive cases. *Clin Orthop Relat Res*, (212): 133-141, 1986.
- Weresh MJ, Hakanson R, Stover MD, Sims SH, Kellam JF, Bosse MJ: Failure of exchange reamed intramedullary nails for ununited femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma*, 14: 335-338, 2000.
- 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*, 26: 559-563, 2016.
- Park J, Yang KH: Indications and outcomes of augmentation plating with decortication and autogenous bone grafting for femoral shaft nonunions. *Injury*, 44: 1820-1825, 2013.
- Kim JW, Yoon YC, Oh CW, Han SB, Sim JA, Oh JK: Exchange nailing with enhanced distal fixation is effective for the treatment of infraisthmal femoral nonunions. *Arch Orthop Trauma Surg*, 138: 27-34, 2018.
- Donigan JA, Fredericks DC, Nepola JV, Smucker JD: The effect of transdermal nicotine on fracture healing in a rabbit model. *J Orthop Trauma*, 26: 724-727, 2012.
- Kim SS, Sohn SK, Kim CH, Lee MJ, Wang L: Cause and treatment of the nonunion of femoral shaft fracture after interlocking intramedullary nailing. *J Korean Fract Soc*, 20: 141-148, 2007.
- Moghaddam A, Zimmermann G, Hammer K, Bruckner T, Grützner PA, von Recum J: Cigarette smoking influences the clinical and occupational outcome of patients with tibial shaft fractures. *Injury*, 42: 1435-1442, 2011.
- Berman D, Oren JH, Bendo J, Spivak J: The effect of smoking on spinal fusion. *Int J Spine Surg*, 11: 29, 2017.
- Cha SM, Shin HD, Ahn KJ: Prognostic factors affecting union after ulnar shortening osteotomy in ulnar impaction syndrome: a retrospective case-control study. *J Bone Joint Surg Am*, 99: 638-647, 2017.
- Schmitz MA, Finnegan M, Natarajan R, Champine J: Effect of smoking on tibial shaft fracture healing. *Clin Orthop Relat Res*, (365): 184-200, 1999.