

골결손을 동반한 경골골절에서 금속정 고정 및 자가골 이식을 이용한 치료

사공협 · 배기철 · 조철현 · 이경재 · 손은석 · 김두한

계명대학교 의과대학 정형외과학교실

목 적: 경골골절에 발생한 골결손에 대해 금속정 고정술 및 자가장골 이식술을 시행하고 결과를 평가하였다.

대상 및 방법: 2005년 5월부터 2008년 9월까지 경골 골결손에 대해 금속정 고정술 및 자가장골 이식술을 시행 받았던 환자 중 1년 이상 추시가 가능하였던 10예를 대상으로 하였다. 남자가 8예, 여자가 2예였으며 평균연령은 50.2세(29~76세)였다. 사고 원인은 교통 사고 9예, 추락사고 1예였으며 평균 추시기간은 21.9개월(12~42개월)이었다. 방사선학적 결과는 결손 부위의 유합 유무로 판단하였고 임상적 결과는 Mekhali의 평가법으로 분석하였다.

결 과: 전 예에서 골유합을 보였으며 평균 골유합 기간은 8.4개월(5~18개월)이었다. Mekhali의 평가법상 9예에서 우수(excellent)의 결과를 보였고 1예에서 족관절에 운동장애가 있어 보통(fair)의 결과를 보였다. 수술적 처치로 인한 합병증은 관찰되지 않았다.

결 론: 경골골절에 발생한 골결손 치료에 있어 금속정 고정 및 자가장골 이식술은 외고정장치를 일찍 제거할 수 있어 합병증을 줄일 수 있으며 골전도 및 골유도, 골형성 능력이 뛰어난 자가골을 이식함으로써 우수한 골유합을 얻을 수 있다는 장점이 있어 유용한 술기로 생각한다.

색인 단어: 경골골절, 골결손, 금속정 고정술, 자가골 이식술

Treatment for Bone Defect of Open Tibial Fractures by Using Intramedullary Nail Fixation with Autogenous Iliac Bone Graft

Hyub Sakong, M.D., Ki Cheor Bae, M.D., Chul Hyun Cho, M.D., Kyung Jae Lee, M.D., Eun Seok Son, M.D., Du Han Kim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Keimyung University School of Medicine, Daegu, Korea

Purpose: This study was conducted to evaluate the results of intramedullary nail fixation with autogenous iliac bone graft for defects of bone after tibial fractures.

Materials and Methods: Ten patients with bone defects in tibial fractures who had been treated with intramedullary nail fixation with autogenous iliac bone graft between May 2005 and September 2008 with more than 12 month follow-up were subject to study. Of the 10 patients, 8 were male and 2 were female, and the mean age was 50.2 years (29~76 years). By cause of accident, motor vehicle accidents caused 9 cases, a crush caused 1 case, and the average follow-up period was 21.9 months (12~42 months). Radiologically, we analyzed the union of the bone defect on simple x-ray and clinical evaluation was performed using the estimate method of Mekhali.

Results: This study reveals that there was radiological union in all 10 cases and the mean time to union was 8.4 months (5~18 months). By clinical evaluation according to Mekhali's estimate method, 9 patients had excellent outcomes and 1 patient had limitation of motion in the ankle joint rated as a fair clinical result. None of patients developed complications post-operatively.

Conclusion: Our study demonstrated that the intramedullary nail fixation with autogenous iliac bone graft can be a useful operative method because it can remove external fixators early and reduce complications, and autogenous bones have exceptional osteoconduction, osteoinduction, and bone-forming ability resulting in excellent union of bones.

Key Words: Tibial fractures, Bone defect, Intramedullary nailing, Autogenous bone graft

통신저자 : 배 기 철

대구시 중구 달성로 56, 계명대학교 의과대학 정형외과학교실

Tel : 053-250-7729 • Fax : 053-250-7205

E-mail : bkc@dsmc.or.kr

Address reprint requests to : Ki Cheor Bae, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Keimyung University School of Medicine, 56, Dalseong-ro, Jung-gu, Daegu 700-712, Korea

Tel : 82-53-250-7729 • Fax : 82-53-250-7205

E-mail : bkc@dsmc.or.kr

접수: 2012. 4. 18

심사(수정): 2012. 5. 22

게재확정: 2012. 7. 10

서 론

골절 후에 발생하는 장관골의 골결손은 현재까지 다양한 치료 방법이 보고되어 왔다. 특히 경골의 경우 내측연은 연부조직이 두껍지 않고 피부와 피하조직으로만 덮여 있어 수상 시 개방성 골절이 초래되기 쉬우며 골결손 시에도 치료가 매우 어렵다^{13,22)}. 치료방법으로 다양한 골이식술^{18,24)}이 사용되고 있고 이 외에도 외고정장치를 이용한 내부 골이동술이나 골신연술이 있다. 골이식은 자가골 혹은 동종골을 이용하거나 수산화인회석 등의 골전도 물질을 이용할 수도 있는데 자가골의 경우 골전도와 골유도 능력은 좋으나 채취하는 양에 제한이 있고²⁶⁾ 동종골의 경우 많은 양의 골을 얻을 수는 있지만 감염의 위험성이 높다는 단점이 있다¹⁾. 골전도 물질의 경우에는 골유합에 도움이 된다고는 하나 아직까지 충분한 대상 수와 연구 기간이 부족하여 효용성이 제대로 입증되지 않은 상태이다. Ilizarov가 개발된 후 골결손에 대해 외고정장치를 이용한 내부 골이동술이나 골신연술이 많이 사용되었으나 장기간 장착하고 있어야 하는 불편감과 금속핀 주위 감염 등의 합병증이 문제가 되는 것이 사실이다¹⁰⁾.

저자들은 경골골절 후 발생한 골결손에 대해 일차적으로 외고정장치를 장착하여 연부조직 결손의 치료 및 감염 조절을 시행하고 추후 골수 내 금속정 고정술 및 자가장골 이식술을 통해 성공적인 골유합을 얻었기에 그 결과를 보고하고자 한다.

대상 및 방법

2005년 5월부터 2008년 9월까지 경골 골결손에 대해 본원에서 골수내 금속정 고정술 및 자가장골 이식술을 시행

받았던 환자 중 최소 12개월 이상 추시 관찰이 가능하였던 10예를 대상으로 하였다(Table 1). 남자가 8예, 여자가 2예였으며, 평균연령은 50.2세(29~76세)였다. 사고의 원인은 교통사고 9예, 추락사고 1예였으며 평균 추시기간은 21.9개월(12~42개월)이었다. 10예 모두 수상 당시 경골의 골결손 및 연부조직 결손을 동반한 개방성 경골골절이었으며 Gustilo-Anderson 분류상 II가 3예, IIIA가 5예, IIIB가 2예였다. 골절의 분류는 해부학적으로 근위부부터 나열할 때 AO 분류상 41.C2 1예, 42.B3 1예, 42.C1 1예, 42.C2 2예, 42.C3 1예, 43.A3 2예, 44.C2 1예, 42.C1/44.B1.3 1예였다.

골결손의 정도는 외고정장치 후 실시한 단순 방사선사진의 전후면과 측면 촬영에서 가장 큰 결손을 측정하였으며 10예 중 가장 큰 결손은 5.8 cm, 가장 작은 결손은 2.2 cm였으며 평균 결손의 크기는 4.0 cm였다.

Gustilo-Anderson 분류상 II의 개방성 경골골절이었으나 일차적 수술에서 바로 골수내 금속정 고정술 시행 후 불유합 소견을 보여 본원으로 전원되었던 1예를 제외한 나머지 환자들은 수상 당시 외고정술을 먼저 시행하였고 추후 연부조직 손상이 회복된 후 외고정장치를 제거하면서 바로 골수내 금속정 고정술 및 자가골 이식술을 시행 받았다. 자가골은 모든 예에서 장골에서 채취하였다.

연부조직의 결손에 대해서는 Gustilo-Anderson II와 IIIA의 환자에 대해서는 우선 일차봉합으로 치료하였고 IIIA 5예 중 2예는 일차봉합 후 봉합부위의 괴사 소견을 보여 변연절제술 후 피부이식을 하였다. Gustilo-Anderson IIIB였던 2예는 결손 부위 크기가 너무 커 음압 상처²⁵⁾ 치료 후 1예는 하퇴부 유리피판 이식술을 시행, 나머지 1예는 피부이식을 하였다.

수술 후 방사선학적 및 임상적 결과는 단순 방사선사진을 통한 골결손 부위의 유합 유무와 Mekhali의 평가법

Table 1. Summary of Cases

Case number	Age/sex	AO classification	G-A classification	Union (mo)	EF maintenance period	Mekhali score	Bone defect size
1	48/M	42C1	IIIA	8	2.5	Excellent	2.8
2	59/F	44C2	II	6	2	Excellent	2.2
3	57/M	42C2	IIIA	6	3	Excellent	5.0
4	51/M	42C2	IIIB	18	2.5	Excellent	2.7
5	76/M	41C2	IIIA	11	1	Excellent	5.5
6	64/M	43A3	IIIA	5	1.5	Fair	3.0
7	31/M	42C3	II	6	(-)	Excellent	4.2
8	31/M	43A3	IIIA	5	2	Excellent	4.9
9	56/F	42C1/44B1.3	IIIB	7	4	Excellent	5.8
10	29/M	42B3	II	12	0.5	Excellent	3.7

G-A classification: Gustilo and Anderson classification, EF: External fixator, M: Male, F: Female.

(Table 2)¹⁹⁾으로 분석하였고 금속핀 주위의 감염 및 관절운동 장애, 만성 골수염 등의 합병증 발생 유무 또한 평가하였다.

결 과

단순 방사선사진상 모든 환자에서 골결손 부위에 성공적인 골유합을 얻을 수 있었으며 자가장골 이식 후 평균 8.4개월(5~18개월)에 유합 소견을 보였다. 수상 당시 외고정술을 시행했던 9예는 연부조직 손상이 회복된 술 후 평균 1.9개월(0.5~4개월)에 외고정장치를 제거하였고 외고정장치를 제거하면서 바로 골수내 금속정 고정으로 전환하였다(Fig. 1).

연부조직의 결손은 철저한 변연절제술 후 상처의 크기 및 오염 정도에 따라 일차봉합 및 피부이식, 음압 상처 치료, 유리피판 이식술을 통해 10예 모두 성공적으로 재건하였다.

임상적 결과에서 Mekhali의 평가법상 9예에서 우수(excellent)의 결과를 보였고 1예에서 족관절의 부분적인 운동장애가 있어 보통(fair)의 결과를 보였으며, 특히 여러 차례 수술을 시행하였음에도 이로 인한 금속핀 주위 감염 및 골수염 등의 감염과 관련한 합병증은 관찰되지 않았다.

고 찰

골절 후에 발생하는 장관골의 골결손 치료에는 여러 가지 방법이 보고되어 왔다. 대표적인 방법으로는 골이식술이 있으며 이외에도 골전인술, 압박 금속판 고정, 골수강내 고정술이 있고 외고정장치를 이용한 내부 골이동술이나 골신연술 등도 있다. 최근에는 골막 유래 줄기세포나¹⁵⁾ 자가

골모세포를 결손부에 이식하여¹⁶⁾ 골유합에 도움이 되었다는 연구 또한 발표되고 있다.

골결손부에 대한 골이식은 1668년도에 Meek¹⁷⁾에 의해 처음 보고되고 난 후 현재까지 많은 정형외과 의사들에 의해 시행되는 술식이며⁴⁾ 자가골 혹은 동종골을 이용할 수 있고 수산화인회석 등의 골전도 물질을 이용할 수도 있다. 가장 이상적인 이식재는 자가골로서 자가골은 골유도 능력 및 골전도 능력이 뛰어나며 면역학적 반응이나 생체 적합성에서 우수하다³⁾. 하지만 공여부의 추가적인 수술이 필요하고 채취량에 한계가 있다는 단점이 있다^{8,26)}. 상대적으로 동종골 이식은 많은 양의 뼈를 얻을 수 있으나 오염물질의 전파 또는 감염의 위험성이 있으며^{1,9)} Aaron과 Wiedel¹⁾에 의하면 수혜자의 잠재적 면역에 감작되어 골흡수 가발생될 수도 있다. 자가골과 동종골 이식에 따르는 문제들 때문에 골전도 물질이나 골유도 물질을 대체제로 사용하게 되었는데 2011년도에 Kang 등¹²⁾이 발표한 논문에 따르면 골간단부에 발생한 골결손에 골전도 물질인 수산화인회석을 이식하여 골유합을 얻었다고 하나 연구 대상의 수가 너무 적고 추시 기간이 짧아 효용성을 논하기에는 한계점이 있다.

과거 골결손부에 대해 내고정술과 함께 골이식술이 함께 사용되었는데 술 후 감염의 빈도가 높고 하지 단축이나 각 변형 발생 시 교정이 어렵다는 문제가 있었다. 또한 골결손이 클 경우 조기에 체중부하가 불가능하여 연부조직의 위축 및 불용성 골조송증 등이 합병증으로 남았다. Ilizarov 외고정기구의 개발 후 이를 이용한 점진적인 골이동술 혹은 골신연술로 이러한 문제점들이 동시에 해결될 수 있었으나^{2,5-7,10,21)} 신연골이 경화될 때까지 외고정장치를 장기간 장착하고 있어야 하고 금속핀 주위의 감염이 발생할 수 있다는 것이 단점으로 나타났다. Ilizarov의 부피로 인한 불편함과 핀에 의한 연부조직의 자극도 문제가 되었다.

Table 2. Clinical Outcome Evaluation Criteria

Clinical outcome	Evaluation criteria
Excellent	Obtained bony union, leg-length discrepancy ≤ 1 cm, joint contracture ≤ 5 degrees, walking without support or orthosis, no nerve injury, no or mild intermittent pain, return to original work or school, no modification of ADLs
Good	Bony union, leg-length discrepancy >1 and ≤ 2.5 cm, contracture deformity >5 degrees, walking without support or using a cane/orthosis, no motor deficit, symptomatic sensory deficit, mild or moderate intermittent pain, return to original or modified work or school, ADLs with or without modification
Fair	Obtained bony union, leg-length discrepancy >2.5 and ≤ 4 cm, walking with crutches/walker, partial motor deficit, moderate or intermittent severe pain, ability to do modified work, ADLs with modification
Poor	Nonunion, leg-length discrepancy >4 cm, complete motor deficit involving the sciatic or posterior tibial nerve, inability to become a community walker, severe pain, inability to work or go to school, inability to perform ADLs, persistent deep infection, amputation

ADLs: Activities of daily living.

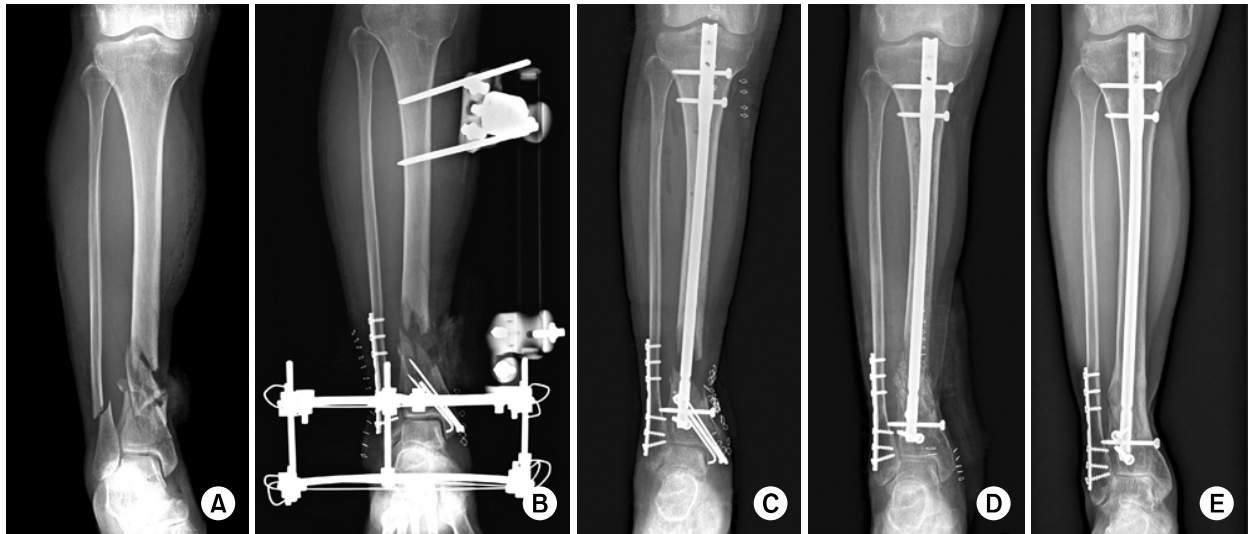


Fig. 1. A 31-year-old male with Gustilo-Anderson type II open fracture on his right tibia.
(A) Radiograph shows comminuted fracture at distal 1/3 of right tibiofibular shaft.
(B) Immediate postoperative radiography shows defect of bone on the distal tibial shaft.
(C) Two months later, the external fixator was removed and intramedullary nail fixation was done.
(D) A bone defect was detected, so a bone graft was done on the bone defect site.
(E) Five months after the bone graft, a radiograph shows that bony union was achieved.

골결손의 크기도 치료방법을 결정하는 중요한 요인이 되는데 Keating 등¹⁴⁾은 골결손 크기 6 cm를 기준으로 6 cm 이하의 결손에 대해서는 우선 금속정 및 금속판을 이용하여 골절을 안정화시키고 6 cm 이상일 경우 연부조직 손상의 동반여부에 따라 치료방법을 달리 해야 한다고 하였다. Keating 등¹⁴⁾의 논문에 의하면 6 cm 이하의 골절 부위 안정화 후 대퇴골의 경우 20주 이상 골회복이 없을 시 골이식술을 시행하고 다른 장골인 경우 3개월째 골이식을 시행하였으며 골결손이 6 cm 이상일 때는 근육과 신경 등의 연부조직의 손상이 없을 시에는 골절의 안정화 후 골이식술 등의 추가적인 수술을 권유하였고 연부조직을 동반할 시에는 우선 골단축술 후 단계적 재건술을 시행하는 것이 바람직하다고 하였다.

본 연구의 대상들은 평균 4 cm의 골결손이 있었으며 가장 큰 골결손의 경우에도 5.8 cm로 6 cm를 넘지 않아 우선 골절을 안정화시킨 다음 추가적으로 골이식을 하는 것으로 수술계획을 잡았다. 저자들은 외고정의 장점과 내고정 및 골이식을 병행하는 치료의 장점을 이용하고자 개방성 경골골절에 바로 금속정 고정술 시행 후 불유합을 보여 전원이었던 1예를 제외한 나머지 환자들에 대해 먼저 외고정술을 시행한 후 철저한 수술적 변연절제술을 통해 연부조직 재건 및 감염 치료를 시행하였고 이 시기 주기적인 단순 방사선사진을 통해 하지 단축 및 각변형 발생 유무를

점검하였다. 평균 1.9개월이 지난 다음 연부조직 손상이 회복되어 외고정장치를 제거하였고 장치 제거와 함께 골수내 금속정 고정 및 자가장골 이식을 바로 시행하여 외고정장치를 장기간 장착 시 발생하는 금속핀 주위 감염을 예방하고 조기에 체중부하가 가능하게 하였다(Fig. 2).

골수정을 이용한 골결손 치료는 이전에도 보고가 있었는데 Paley 등²⁰⁾은 대퇴골에 골수정 삽입 후 외고정장치를 통한 골이동술을 시행하여 골유합을 얻었다고 하였고 Roh 등²³⁾은 골수정을 삽입한 골이동술이 외고정장치만을 이용한 골이동술보다 외고정장치의 장착기간이 40% 가량 감소하였고 장착기간이 짧아짐에 따라 금속핀을 통한 합병증 또한 줄어들었다고 보고하였다. 그러나 위와 같은 경우 골수정 삽입을 하더라도 골신연 혹은 골이동을 통해 골유합을 얻어야 하므로 가골이 형성될 때까지 외고정장치를 장착하고 있어야 하는 문제가 여전히 남게 된다. Paley 등²⁰⁾과 Roh 등²³⁾의 논문에 따르면 골수정 삽입 후 외고정장치의 평균 장착기간은 약 4개월 정도였다.

외고정장치의 장착뿐만 아니라 골이동술을 시행할 경우 재결합부의 골유합 또한 문제가 된다. Paley와 Maar²¹⁾는 재결합부의 골유합이 결과에 중요한 영향을 미치고 지연유합이 잘 발생하므로 추후 골이식술을 시행하는 것이 좋은 결과를 보인다고 하였다. 금속핀에 의한 연부조직 자극이 있는 상태에서 골이식을 위한 추가적인 연부조직 절개가



Fig. 2. A 56-year-old female with Gustilo-Anderson type IIIB open fracture on his left tibia.
(A) Radiograph shows comminuted fractures at distal 1/3 of left tibia shaft and lateral malleolus.
(B) Immediate postoperative radiography shows defect of bone on the distal tibial shaft.
(C) Multiple drilling was done for bleeding at the fracture site.
(D) Four months later, the external fixator was removed and intramedullary nail fixation was performed.
(E) A bone defect was detected, so a bone graft was performed on the bone defect site.
(F) Seven months after the bone graft, a radiograph shows that bony union was achieved.

필요한 점은 이 술식의 단점이라 하겠다.

이러한 문제들 때문에 저자들은 골수정 삽입 후 골결손 부위에 골신연이나 골이동이 아닌 골이식을 통해 골유합을 얻고자 하였으며 외고정장치는 연부조직 결손과 감염의 치료에 필요한 기간 동안만 장착하였다. 그 결과 평균 1.9개월 가량만 외고정장치를 장착하여 핀 감염 등의 합병증이 생기지 않도록 하였고 10예 모두 수술로 인한 감염은 발생하지 않았다.

골이식은 자가장골 이식을 시행하였는데 동종골 이식 또한 좋은 결과를 보였다는 연구가 많이 있었으나 앞서 언급한 바와 같이 감염 전파의 위험과 수혜자의 잠재적 면역에 감작될 경우 골흡수가 일어날 수 있다는 문제가 있다. Jung 등¹¹⁾의 보고에 따르면 골종양 수술 후에 발생한 골결손에 동종골 이식을 시행하였을 때 전반적으로 만족할 만한 결과를 보였으나 동종골이 감염된 경우와 술 후 감염이 동반된 경우에서 기능적 결과가 현저하게 낮았다고 하였고 Lord 등¹⁷⁾이 발표한 논문에서도 동종골 이식 후 감염이 발생하였을 때 수차례 재수술이 필요하다고 하였다. 본 연구에서는 자가장골 이식을 통해 전 예에서 성공적인 골유합을 얻었고 공여부의 수술 부위 또한 합병증 없이 치유된 모습을 보였다.

임상적 결과에서 Mekhali의 평가법상 1예가 족관절에 부분적인 운동제한을 보여 보통(fair)의 결과를 보였는데 원위

경골 개방성 분쇄골절과 족관절골절이 동반되어 있었으며 수상 당시 하퇴 전방 구획의 연부조직 손상이 심해 추후 운동 제한을 보인 것으로 생각한다. 1예를 제외한 나머지 환자들은 우수(excellent)의 양호한 결과를 보였다.

하지만 10예 모두 연부조직 결손이 동반된 개방성 골절이었기 때문에 추후 자가골 이식을 위한 절개 시 재건된 결손 부위를 피해서 골이식을 해야 하는 어려움이 있었고 골결손이 큰 경우 양측 장골에서 골을 채취해야 하는 문제가 있었다. 양측 장골에서 골을 채취한 경우는 1예 있었고 환자는 술 후 공여부의 통증이 심함을 호소하며 통증 조절이 쉽지 않았다. 골결손 부위가 크다면 자가골만을 이용한 골이식은 공여부의 상처 및 통증이 문제가 될 수 있으므로 동종골이나 골전도 물질을 이용하는 방법도 고려해 볼 필요가 있겠다.

골수정 고정 및 자가골 이식은 임상적 결과와 방사선학적 결과에서 우수한 결과를 보였지만 연구 대상이 10예로 대상수가 적어 효용성의 평가에 제한이 있는 것이 사실이다. 따라서 향후 보다 많은 예와 장기적인 추시 결과를 통해 유용성과 발생 가능한 합병증에 대한 연구가 필요하겠다.

결 론

골수내 금속정 고정 및 자가장골 이식술은 외고정장치를

조기에 제거하여 금속편을 통한 합병증을 줄이고 체중부하를 가능하게 하여 연부조직 위축과 불용성 골조송증 발병을 낮출 수 있다. 또한 골전도 및 골유도 능력이 뛰어난 자가골을 이식함으로써 우수한 골유합을 얻을 수 있고 동종골 이식에 비해 감염의 위험도 낮아 골결손의 치료에 하나의 유용한 술기가 될 수 있을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- 1) Aaron AD, Wiedel JD: Allograft use in orthopedic surgery. *Orthopedics*, **17**: 41-48, 1994.
- 2) Aronson J, Johnson E, Harp JH: Local bone transportation for treatment of intercalary defects by the Ilizarov technique. Biomechanical and clinical considerations. *Clin Orthop Relat Res*, **(243)**: 71-79, 1989.
- 3) Awe SI, Rhyu KH, Lee TH: Short term result of bone marrow and morselized allograft without autogenous bone graft in bone defect. *J Korean Musculoskelet Transplant Soc*, **4**: 1-8, 2004.
- 4) Blokhuis TJ, Termaat MF, den Boer FC, Patka P, Bakker FC, Haarman HJ: Properties of calcium phosphate ceramics in relation to their in vivo behavior. *J Trauma*, **48**: 179-186, 2000.
- 5) Cattaneo R, Catagni M, Johnson EE: The treatment of infected nonunions and segmental defects of the tibia by the methods of Ilizarov. *Clin Orthop Relat Res*, **(280)**: 143-152, 1992.
- 6) Cierny G 3rd, Zorn KE: Segmental tibial defects. Comparing conventional and Ilizarov methodologies. *Clin Orthop Relat Res*, **(301)**: 118-123, 1994.
- 7) Dagher F, Roukoz S: Compound tibial fractures with bone loss treated by the Ilizarov technique. *J Bone Joint Surg Br*, **73**: 316-321, 1991.
- 8) Greenwald AS, Boden SD, Goldberg VM, Khan Y, Laurencin CT, Rosier RN; American Academy of Orthopaedic Surgeons. The Committee on Biological Implants: Bone-graft substitutes: facts, fictions, and applications. *J Bone Joint Surg Am*, **83-A Suppl 2 Pt 2**: 98-103, 2001.
- 9) Hwang C, Bae JY, Koo KH, et al: A comparative experimental study of allograft and porous hydroxyapatite as bone substitutes. *J Korean Orthop Assoc*, **42**: 545-552, 2007.
- 10) Ilizarov GA: Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res*, **(250)**: 8-26, 1990.
- 11) Jung GH, Jung SH, Kim JD, Cho Y: Allograft transplantation in the treatment of bone defect after bone tumor surgery. *J Korean Musculoskelet Transplant Soc*, **6**: 79-87, 2006.
- 12) Kang HJ, Kim TK, Kweon SH, Shim DM, Lee SI: The usefulness of hydroxyapatite bone transplantation in treatment of metaphyseal fracture with bone defect. *J Korean Musculoskelet Transplant Soc*, **11**: 36-41, 2011.
- 13) Karlström G, Olerud S: Percutaneous pin fixation of open tibial fractures. Double-frame anchorage using the Vidal-Adrey method. *J Bone Joint Surg Am*, **57**: 915-924, 1975.
- 14) Keating JF, Simpson AH, Robinson CM: The management of fractures with bone loss. *J Bone Joint Surg Br*, **87**: 142-150, 2005.
- 15) Kim HT, Yun PJ, Kim IB, Lee DH, Ahn MY, Chang HK: Osteogenic induction of periosteum-derived stem cells transplanted into rabbit long-bone defects. *J Korean Orthop Assoc*, **41**: 353-360, 2006.
- 16) Lee SK, Kim SJ, Chang CH, Jang JD, Park HS, Park JS: Treatment of long tubular bone defect of rabbit using autologous cultured osteoblasts mixed with fibrin. *J Korean Orthop Res Soc*, **9**: 29-39, 2006.
- 17) Lord CF, Gebhardt MC, Tomford WW, Mankin HJ: Infection in bone allografts. Incidence, nature, and treatment. *J Bone Joint Surg Am*, **70**: 369-376, 1988.
- 18) Marsh JL, Prokuski L, Biermann JS: Chronic infected tibial nonunions with bone loss. Conventional techniques versus bone transport. *Clin Orthop Relat Res*, **(301)**: 139-146, 1994.
- 19) Mekhail AO, Abraham E, Gruber B, Gonzalez M: Bone transport in the management of posttraumatic bone defects in the lower extremity. *J Trauma*, **56**: 368-378, 2004.
- 20) Paley D, Herzenberg JE, Paremian G, Bhav A: Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. *J Bone Joint Surg Am*, **79**: 1464-1480, 1997.
- 21) Paley D, Maar DC: Ilizarov bone transport treatment for tibial defects. *J Orthop Trauma*, **14**: 76-85, 2000.
- 22) Ring D, Jupiter JB, Gan BS, Israeli R, Yaremchuk MJ: Infected nonunion of the tibia. *Clin Orthop Relat Res*, **(369)**: 302-311, 1999.
- 23) Roh JY, Oh CW, Oh JK, et al: Bone transport over the intramedullary nail for defects of long bone. *J Korean Fract Soc*, **21**: 37-44, 2008.
- 24) Song HR, Kale A, Park HB, et al: Comparison of in-

- ternal bone transport and vascularized fibular grafting for femoral bone defects. *J Orthop Trauma*, **17**: 203-211, 2003.
- 25) **Webb LX**: New techniques in wound management: vacuum-assisted wound closure. *J Am Acad Orthop Surg*, **10**: 303-311, 2002.
- 26) **Younger EM, Chapman MW**: Morbidity at bone graft donor sites. *J Orthop Trauma*, **3**: 192-195, 1989.