

원발성 악성 골종양의 사지 구제술에서 저온 열처리된 분절성 자가골 이식을 이용한 재건 수술

김한수 · 강현귀 · 조재호 · 김갑중 · 오주한 · 이상훈

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

Low-heat Treated Intercalary Autograft Reconstruction in Limb Salvage of Primary Malignant Bone Tumor

Han-Soo Kim, M.D., Hyun Guy Kang, M.D., Jai Ho Cho, M.D.,

Kap Jung Kim, M.D., Joo Han Oh, M.D., and Sang Hoon Lee, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: This study evaluated the effectiveness of a low-heat treated intercalary autograft reconstruction in primary malignant bone tumors mainly involving the diaphysis.

Materials and Methods: Twenty patients who had primary malignant bone tumors underwent a low-heat treated intercalary autograft reconstruction between May 1987 and May 2004. The mean age was 24 years, and the mean follow up was 59.8 months. Osteosynthesis between host bone and low-heat treated autograft was carried out using plates and screws (n=7), rigid IM nails (n=6), plates and flexible IM nails or K-wires (n=4), and rigid IM nail and plate (n=3). Intramedullary cement augmentation was performed in 10 patients but the primary bone graft on the host-graft junction was not performed.

Results: The mean segmental excised bone length was 152 mm. One patient died from acute cardiac arrest unrelated to the tumor but there was no local recurrence and metastasis. Host graft union was achieved in 18 patients after a mean of 8.5 months after surgery. Complications were observed in 7 patients (35%), including 3 fractures, 2 nonunions, and 2 infections. The mean functional outcome was 82% (24.6).

Conclusion: A low-heat treated intercalary autograft is a simple, economic and best fitting reconstruction system with a low rate of ultimate failure in carefully selected patients. However, a long term study will be needed to evaluate the graft incorporation and possibility of bone resorption.

Key Words: Malignant bone tumor, Intercalary reconstruction, Low-heat treated autograft, Limb salvage operation

서 론

영상 진단 기법과 항암 화학요법 및 수술 수기의 발전은 원발성 골종양의 치료에 있어서 과거의 주 수술 방법이었던 절단술로부터 사지 구제술로의 전환을 가져왔다^{10,14,23}. 심지어 사지 구제술 후의 생존율, 재발 및 전이를 등의 임상적인 결과는 절단술을 한 경우와 비슷하

다고 알려져 있다^{11,25,28}. 이러한 사지 구제술은 광범위한 종양 절제술 및 이후의 결손된 골-연부 조직의 재건술로 이루어지는데, 골 재건술에 사용되는 재료로는 종양 대체물^{4,11}을 이용하거나 동종골 이식^{1,9,22,27}, 동종골 및 종양 대체물 복합체¹⁰, 비골등의 자가골 이식¹², 신연 골 형성술²⁸, 그리고 종양의 광범위 절제술 후 종양이 있는 골을

통신저자 : 김 한 수

서울시 종로구 연건동 28번지

서울대학교병원 정형외과

TEL: 02-2072-2362 · FAX: 02-764-2718

E-mail: hankim@snu.ac.kr

Address reprint requests to

Han-Soo Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University Hospital,
28, Yeongeon-dong, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea

Tel: +82,2-2072-2362, Fax: +82,2-764-2718

E-mail: hik19@snu.ac.kr

종양 세포를 죽일 수 있는 다양한 방법으로 처리한 후 재 사용하는 자가골 이식술이 있다. 이중 동종골 이식은 종양 절제술 후의 광범위한 골 결손의 재건에 자주 사용되고 있으나^{1,9)}, 면역학적 거부 반응 및 질병 전파 가능성 등의 문제점을 내포할 뿐만 아니라 우리나라를 비롯한 몇몇 지역에서는 구하기가 어렵다는 단점이 있다. 종양 대치물 또한 빠른 재환이 가능하며 대치물의 발달로 많이 사용되고 있으나, 고가이며 종양이 침범되지 않은 관절 및 성장판도 희생시켜야 하며 수명에 한계가 있다는 단점이 있다. 이에 비해 자가골의 사용은 이러한 단점을 일부 극복할 수 있는 장점을 제공한다.

원발성 악성 골종양의 절제된 자가골을 이용하기 위해 절제골에 남아있는 종양 세포를 파괴할 수 있는 방법으로는 방사선 조사^{2,24)}, 동결^{16,29)}, 고온고압 열처리^{3,8,13,15)}, 저온열처리^{6,17-19,26)} 등이 있으며, 이들 중 열처리 방법은 자가골 재이식을 위한 가장 간단한 외용 방법 이라고 할 수 있다. 과거의 고온고압 열처리 방법은 자가골의 골유합 능력을 저하시키고, 자가골이 구조적으로 약해져 재이식 후 골절 및 불유합의 합병증이 많았다. 그러나 최근의 저온 열처리 방법은 여러 연구 및 임상적인 결과에서 이와 같은 고온 열처리 방법의 합병증을 줄일 수 있으며 임상적 결과도 좋다고 보고되고 있다^{6,18,19,22)}.

성장기의 어린이 및 청소년에서 주변 관절과 성장판의 침범 없이 주로 골간 부위에 위치한 악성 골종양의 광범위 절제 및 재건수술시 인접 관절과 열려있는 성장판을 희생시키지 않는다는 매우 중요한 문제점이다. 이 상황에서 관절 종양대치물(massive tumor prosthesis)은 관절과 성장판의 희생이 따르며, 분절성 종양대치물(inter-calary endoprosthesis)은 대치물의 해리나 파절 등의 생체역학적 문제점들이 있을 수 있고, 동종골은 위에서 언급한 여러 합병증의 가능성이 있으면서 몇몇 국가들에서는 공급의 제한이 있다. 따라서 이 경우에도 저온열처리된 자가골 이식술이 유용한 방법이 될 수 있다.

이에 저자들은 사지 장골의 골간에 발생한 원발성 악성 골종양의 분절성 절제술 후, 구하기 쉽고 경제적이며 수술방법이 비교적 간단한 저온 열처리된 자가골 이식을 이용한 사지 구제술의 효과를 알아보기 위해 임상적, 기능적 결과와 합병증에 대해 평가 하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

1987년 5월부터 2004년 5월까지의 원발성 악성 골종양의 광범위 절제술 후 생긴 분절성 골결손에 대해 저온 열처리된 분절성 자가골 이식을 시행 받은 20예를 대상으로 후향적 평가를 시행하였다. 수술 당시의 평균 연령은 23.6세(2-69세)였으며 남자가 12예, 여자가 8예였고, 평균 추시 기간은 59.8개월(12-195개월)이었다. 원인 질병으로는 골육종 12예, 유잉 육종 2예, 악성섬유성 조직구종 2예, 연골육종 2예, 범람종 2예였다. 종양의 병변부위는 대퇴골 14예, 경골 4예, 상완골 1예, 비골 1예였으며, 골내의 병소위치는 골간부위가 18예, 골간부 및 일부 골간단에 걸쳐 있는 경우가 2예 있었다. 모든 예에서 체중 부하가 되는 장관골에 병변이 있었고 1예의 비골 환자의 경우 발목 관절의 안정성을 주기 위하여 저온 열처리된 분절성 자가골 이식을 시행하였다. 골육종 11예, 유잉육종 2예에서 항암요법이 시행되었다.

2. 수술 방법

광범위 절제된 종양이 포함된 골 종괴에서 종양과 연부 조직 및 이미 파괴된 골은 완전히 제거한 후 섭씨 65도의 멸균 생리 식염수에서 30분간 중탕(bath)으로 가열하였다. 제거된 종양 조직은 모아 항암치료에 대한 피사율의 분석을 위한 조직 검사를 의뢰하였다. 저온 열처리 동안에 종양이 제거된 주위 상하 부위 지주골의 골수와 연부 조직의 일부를 동결절편 조직검사를 보내어 종양이 없는 수술적 절제연(tumor free surgical margin)을 확인하였다. 지주골과 이식된 자가골과의 내고정은 7예에서는 금속판과 나사못만으로, 6예에서 견고한 골수강내 금속정(rigid intramedullary nail)으로, 4예에서는 금속판과 연성 골수강내정(flexible intramedullary nail) 또는 K-강선을 혼용하여, 그리고 3예에서는 견고한 골수강내 금속정과 금속판을 같이 사용하여 시행하였다. 첫 수술 시 절골 부위에 자가 장골 해면골 이식은 대부분의 경우에서 시행하지는 않았다. 5예에서 자가골 부위의 골수강내에 골시멘트를 이용한 보강(cement augmentation)을 시행하였다.

수술 후 약 8주까지는 석고붕대를 이용한 고정과 함께 비체중부하 목발 보행을 하였으며, 이후부터 수술 후 약 6개월까지 보조기를 사용하면서 점진적인 체중부하를 시

행하는 등 대퇴골 및 경골 재건술을 시행받은 환자들은 이식골이 유합되고 충분히 안정화되었다고 생각되는 순간까지 목발로 부분 체중부하만을 허락하였다.

3. 방사선적 및 기능적 평가

기능적 결과 평가는 Enneking system을 이용하였고⁷⁾, 술 후 단순 방사선 사진에서 12개월 동안 가골 형성 또는 부분적인 골유합 소견이 보이지 않는 경우를 불유합으로 판단하였다.

결 과

저자들의 결과는 Table 1에 요약되어 있다.

1. 임상적 결과

대퇴골에 골육종을 가지고 있는 1예에서 술후 44개월에 종양과 상관없이 발생한 급성 심부전으로 사망하였다. 남은 19명의 환자들(95%)은 평균 60.6개월의 추시 기간 동안 지속적 무병상태로 살아 있었다. 국소부위 재발과 원격 전이 소견은 추시 관찰 내내 없었다. Enneking sys-

tem을 사용한 기능적 점수는 대퇴부 재건술시 24.5점, 경골부 재건술시 24.5점으로 같았고, 상완골 재건술 13점, 비골 재건술 28점을 보여 평균 24.6점(82%)이었다.

2. 방사선학적 결과

분절성으로 절제된 골의 평균 길이는 152 mm (82-256 mm)이었으며, 가골 형성 후 골유합 소견은 이식골의 근위 절골 부위는 평균 6.7개월에 20예 모두에서 보여졌고, 원위 부위는 18예에서 7.7개월에 골유합 소견을 보여, 전체 18예(90%)의 환자에서 술 후 평균 8.5개월에 저온 열처리된 이식골의 상하 절골 부위의 골유합이 이루어졌다.

3. 합병증

2예(10%)에서 이식된 대퇴골 분절성 자가골 원위절골 부위가 술후 12, 14개월에 불유합으로 판단되어 자가 장골 해면골 이식을 시행하였다. 이들 두 환자의 분절성 자가골의 평균 길이는 196 mm이었다. 이중 한 명은 이식골을 금속판만으로 고정하였으며, 한 명은 금속판과 연성

Table 1. Details of the Patients Who had a Reconstruction with a Pasteurized Intercalary Autograft

Case	Age/ Sex	Diagnosis	Site	Length of autograft (mm)	Fixation method	Follow up (months)	Complication	Proximal union (months)	Distal union (months)	Functional score	Out- come
1	69/M	MFH	Femur	256	P+C	13	Nonunion	5	—	18	CDF
2	23/F	Osteosarcoma	Humerus	88	P	12	—	6	11	23	CDF
3	8/F	Ewing sarcoma	Femur	137	P+FIM+K+C	12	Nonunion	7	—	24	CDF
4	16/M	Osteosarcoma	Femur	168	RIM	63	—	8	5	27	CDF
5	12/F	Osteosarcoma	Femur	203	P	13	—	7	8	27	CDF
6	2/F	Ewing sarcoma	Fibula	82	FIM	14	—	6	6	28	CDF
7	11/M	Osteosarcoma	Femur	207	P+C	21	—	5	11	26	CDF
8	18/F	Osteosarcoma	Femur	92	RIM	90	—	6	10	27	CDF
9	6/M	Osteosarcoma	Femur	204	P+C	56	Epiphyseal fracture	4	6	20	CDF
10	17/M	Osteosarcoma	Femur	95	P+C	86	Graft fracture	12	8	26	CDF
11	41/M	Osteosarcoma	Femur	150	RIM+P	44	—	5	6	25	Cardiac death
12	25/F	Osteosarcoma	Femur	161	RIM	46	—	11	6	25	CDF
13	55/M	Adamantinoma	Tibia	170	RIM+P+C	67	—	6	8	27	CDF
14	31/M	Osteosarcoma	Tibia	176	RIM+P+C	90	Infection	11	9	20	CDF
15	28/M	Osteosarcoma	Femur	212	RIM	50	—	5	6	27	CDF
16	20/F	Adamantinoma	Tibia	139	P+C	62	—	5	6	28	CDF
17	22/M	Chondrosarcoma	Femur	188	RIM	195	Graft fracture	5	6	27	CDF
18	18/M	MFH	Tibia	110	P+FIM+K+C	115	Infection	7	9	23	CDF
19	11/M	Osteosarcoma	Femur	246	P+FIM+K+C	14	—	6	12	23	CDF
20	38/F	Chondrosarcoma	Femur	254	RIM	159	—	6	6	21	CDF

MFH, malignant fibrous histiocytoma; C, cement; P, plate; FIM, flexible intramedullary nail; RIM, rigid intramedullary nail; K, k-wire; CDF, continuous disease free.

골수강내정, 그리고 K-wire로 고정을 하였었다. 감염을 보인 2예(10%)는 술후 5개월과 14개월에 모두 경골에서 관찰되었으며, 이식골과 사용된 금속판의 제거 없이 항생제 사용 및 한차례의 변연절제술과 세척술로 치료되었다. 골절은 3예(15%)에서 있었으나, 이식골 자체의 골절은 2예(10%)였다. 나머지 1예(5%)는 대퇴골의 원위부 금속판이 고정된 부위의 바로 하방에서 술후 30개월에 골단판 골절이 일어났으며, 5 cm의 하지 부동이 동반되어 결국 연장 가능한 전 대퇴 종양대치물(expandable total femoral tumor prosthesis)로 재수술을 시행하였다. 다른 2예의 골절도 대퇴골에서 발생되었으며, 금속판 고정을 이용한 1예는 상하 절골부위를 고정하는 금속판 2개가 서로 겹치지 않는 이식골의 중간 부위에서 술후 25개월에 발생되었고, 다른 1예는 대퇴골 견고한 골수강내 금속정을 술 후 36개월에 제거하였는데 4개월 후에 이식골에서 골절이 일어났다. 이들 2예는 자가 장골 해면골 이식술을 포함하여 골수강내 금속정을 이용한 한차례의 수술적 치료로 성공적으로 골유합을 얻게 되었다. 골절과 불유합의 합병증을 보인 총 5예 중 금속판 내고정을 이용한 예에서 4예, 골수강내 금속정을 사용한 예에서 1예를 보였다. 최종 추시시 이식골의 생존율은 95%였다.

고 찰

현재까지의 분절성 골종양의 절제 후 재건수술방법에는 동종골 이식, 종양 대치물, 생비골 이식술, 신연 골 생성술 그리고 절제된 종양이 포함된 뼈를 종양세포를 사멸시킬 수 있는 다양한 방법으로 처리한 후 재사용하는 자가골 이식술등이 있다. 이중 가장 적절한 재건 방법을 결정할 때 술기의 적용 가능성, 난이도, 환자의 나이와 기능적 요구도, 위험성 및 합병증에 대한 고려를 해야 한다⁴⁾.

동종골은 일부 지역에서 구하기 어렵고 가격이 비싸며 질병을 전파할 수 있을 가능성이 남아 있으며, 종양 대치물은 그 수명에 한계가 있어 재치환술을 해야 하고 거대한 금속이 생체 내에 위치함으로써 항상 염증에 대한 걱정이 있다. 또한 생비골 이식술은 정상 부위에 대한 추가 손상을 준다는 점에서 제한적으로 사용된다. 이런 단점을 극복할 수 있는 방법으로 가장 간단하면서 쉽고 정확한 해부학적 재건이 가능한 재사용 자가골 이식이 도입되었고, 이식전 종양 세포 사멸 방법으로 열처리에 대한 많은 연구가 진행되었다.

Urist 등^{30,31)}은 70도 이상의 고온 처리 및 방사선 조사가 BMP (bone morphogenetic protein)의 생물학적 활성도를 완전히 파괴시킨다는 것을 밝혀냈으며, 반면에 저온 열처리 방법은 악성 종양 세포는 완전히 파괴하나 BMP의 골유도 기능이나 생물학적인 성상은 부분적으로 유지시킬 수 있다고 하였다^{19,24)}. 재조합된 BMP의 열처리 온도와 시간에 따른 골유도 능력에 관한 실험에서 70도 이하의 열로 처리한 경우 골유도 능력이 유지됨이 보고되었다²⁰⁾. 이러한 사실이 저온 열처리된 자가골 이식의 이론적 토대 및 장점에 대한 근거를 제공하였다. 흔히 사용되는 다른 재사용 자가골 이식의 방법인 방사선조사의 경우 방사선 조사를 위한 시설과 시간이 필요하고 수술장 밖으로 이식골을 이동시켜야한다는 단점이 있다.

충분한 절제연을 확보할 수 있는 경우 저온 열처리된 분절성 자가골 이식술로 인해 인근의 종양 침범이 없는 골단골이나 관절 그리고 남아있는 성장판을 보존할 수 있으며, 일단 이식골의 골유합이 성공적으로 진행되면 추가적인 수술이 필요 없게 된다. 저온 열처리는 특별한 기구 없이도 65도의 멸균 생리 식염수에 30분간의 중탕을 통하여 쉽게 시행가능하며, 저온 열처리된 자가골 이식은 여러 가지 고정 방법을 사용하여 지주골과의 고정을 얻을 수 있다. 저자들의 결과에서 국소부위 재발이 한 예에서도 없는 것으로 보아 저온 열처리 방법으로 악성 종양 세포는 완전하게 파괴된 것으로 판단되어진다. 종양에 의해 파괴가 많이 된 자가골은 저온 열처리 후 약해진 부위에 시멘트로 보강을 하였는데, 이 때 저자들은 시멘트가 골융합을 방해 하지 않도록 지주골과 이식골 사이의 절골 부위에 스며들지 않도록 하면서 절골 부위에서 적어도 1 cm 정도는 떨어지게 하여 구조적으로 약해진 부위에만 위치 되도록 하였다. 실제 시멘트를 사용한 이식골의 합병증으로 골절이 있어 재수술을 한 예에서, 수술장 소견에서 저온 열처리된 부분은 골융합(incorporation)이 잘 되었는데 반해 시멘트가 위치한 부위는 골융합이 이루어지지 않고 시멘트와 정상화된 이식골 사이 및 주위 연부 조직과 명확한 경계를 보였다.

이식골 고정의 방법으로 장시간 소요될 것으로 보이는 저온열 처리된 분절성 자가골의 안정적인 지속적 고정을 얻기 위해서 저자들은 금속판만의 고정보다는 견고한 골수강내 금속정만의 고정이나 혹은 금속정과 금속판을 병행하는 방법을 추천한다. 금속판만을 이용한 방법에서는

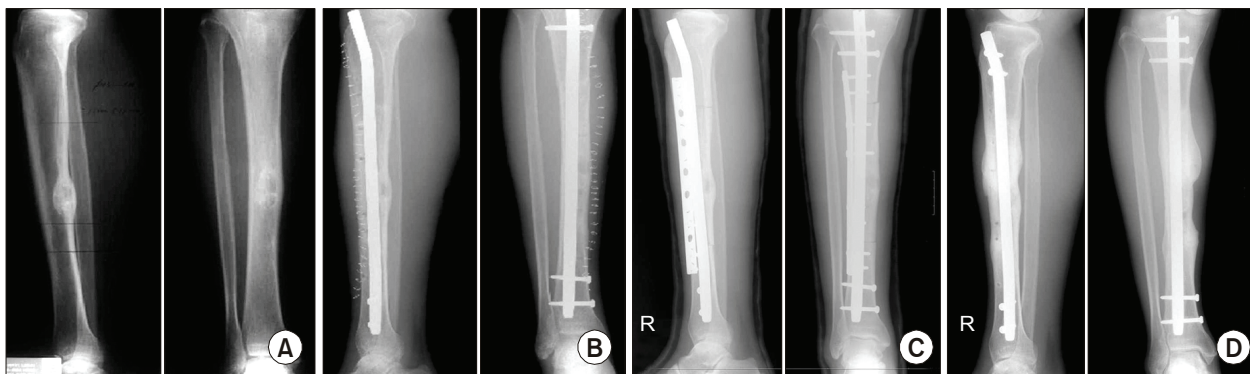


Fig. 1. (A) Radiograph of 55 year old man with an adamantinoma on tibia. (B) Reconstruction with a 17 cm pasteurized autograft and osteosynthesis with a rigid IM nail and plate was performed. (C) Union on the junctions appeared sound on the 2 years radiograph. Therefore, we removed the plate first. (D) At 4 years, graft incorporation appeared to be continuing through the entire intercalary graft.

이식골 전체를 포함 할 수 있을 정도로 충분히 긴 한 개의 금속판을 사용하거나, 최소 상하 절골 부위의 2개 이상의 금속판 고정이 좋으며, 이때 2개의 금속판은 이식골에서 서로 엇갈리게 하여 적어도 이식골의 모든 부위가 금속판에 포함되도록 하는 것이 긴장의 집중 등으로 인한 골절을 막을 수 있다. 또한 저자들의 추시 기간 중 한 예에서 술후 3년 후 골유합 소견이 완전하게 보여 견고한 골수강내 금속정을 제거하였는데 이후 약한 외력으로 이식골의 중간 부위가 골절되는 것을 볼 수 있었다. 또한 경골간부의 범랑종으로 인해 저온 열처리된 자가골 이식술후 골수강내 금속정과 금속판을 받았던 55세 남자 환자에서 골결합 및 재형성이 술 후 4년까지도 명백하게 단순 방사선 추시 사진에서 지속되고 있었다(Fig. 1). 이는 이식골을 고정시키는 내고정물은 비록 추시 방사선 사진에서 만족스러운 골유합 및 골교(bony bridge) 형성을 보이더라도 고정물의 이른 제거는 이식골의 골절 같은 심각한 문제점을 일으킬 수 있기 때문에 가능하면 오랜 기간동안 제거하지 않고 남겨두는 것이 좋다는 점을 시사하고 있다고 생각한다.

Chen 등⁵⁾은 방사선 조사를 이용한 분절성 자가골 이식술 후 합병증으로 자가골의 골절이 20%로 제일 많았으며, 동종골 이식술에서는 불유합이 43%로 제일 많았다고 보고하였다. Ortiz-Cruz 등²¹⁾은 104명의 분절성 동종골 이식술 후 불유합 30%, 골절 17%, 감염 12% 순의 합병증을 보고하였다. 이들 동종골 이식술후의 합병증은 술 후 첫 3-4년 사이에 주로 일어나며 일단 이 기간이 지나

면 이식골은 비교적 안정화 되어 자가골의 일부가 될 수 있다고 하였는데²¹⁾, 이와 같이 저온 열처리된 자가골의 운명 또한 초기 몇 년 동안 합병증 없이 경과된다면 지주골(host bone)화가 되어 더 이상의 수술적 치료가 필요 없을 것으로 본다. 저자들의 경우 골절 15%, 불유합 10%, 감염 10%로 골절이 다소 높게 보였으나 실제 자가 이식골 골절은 2예(10%)에서 보였고 1예는 자가 이식골에 근접한 성장판에서의 골절이었다. 저온 열처리된 자가 이식골의 골흡수는 초기 방사선 사진에서 일부 경미하게 보이는 듯 하였으나 시간이 경과됨에 따라 모두 정상화되어 가는 소견을 보여 골융해 또는 골흡수 합병증은 없었다.

최초 수술연령이 6세인 대퇴골의 골육종 환자에서 저온 열처리된 분절성 자가골 이식술 후 30개월 되던 때에 합병증으로 인한 이식골의 제거 후 신연 가능한 전 대퇴종양 대체물로 전환하였다. 이 환자의 경우 첫 수술시 대퇴골이 너무 작아 종양 대체물 삽입이 불가능하였는데, 이와 같이 어린 소아 환자에서 다양한 방법의 재건 수술이 가능할 정도로 골 성장이 될 때까지 저자들의 방법은 쉽고 간단하며 경제적인 일시적 재건 방법의 하나가 될 수 있다고 생각한다.

저자들은 초기 절골된 부위에 자가 해면골 또는 골 대체물의 이식은 시행하지 않았으나 이들의 사용은 지연유합 또는 불유합의 가능성을 줄일 수 있을 것으로 생각되어진다.

결 론

저온 열처리된 자가골은 중앙세포를 완전히 제거할 수 있으면서 일부 BMP가 남아 있고, 가장 해부학적 재건술이 가능하면서 면역학적 거부반응이 없는 경제성이 있는 재료이다. 이식골의 고정은 골수강내 금속정이 유리하며, 아주 어린 소아에서는 어느 정도의 골 성장 이루어질 때까지의 일시적인 재건 재료가 될 수 있다. 이들 장점을 기초로 추후 더 많은 환자를 대상으로 장기간의 추시 관찰과 함께 저온 열처리된 골의 생역학적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. **Alman BA, De Bari A, Krajchich JI:** Massive allografts in the treatment of osteosarcoma and Ewing sarcoma in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am*, 77: 54-64, 1995.
2. **Araki N, Myoui A, Kuratsu S, et al:** Intraoperative extracorporeal autogenous irradiated bone grafts in tumor surgery. *Clin Orthop Relat Res*, 368: 196-206, 1999.
3. **Böhm P, Stihler J:** Intraosseous temperature during autoclaving. *J Bone Joint Surg Br*, 77: 649-653, 1995.
4. **Cannon SR:** Massive prostheses for malignant bone tumours of the limbs. *J Bone Joint Surg Br*, 79: 497-506, 1997.
5. **Chen TH, Chen WM, Huang CK:** Reconstruction after intercalary resection of malignant bone tumours: comparison between segmental allograft and extracorporeally-irradiated autograft. *J Bone Joint Surg Br*, 87: 704-709, 2005.
6. **Ehara S, Nishida J, Shiraishi H, Tamakawa Y:** Pasteurized intercalary autogenous bone graft: radiographic and scintigraphic features. *Skeletal Radiol*, 29: 335-339, 2000.
7. **Enneking WF, Dunham W, Gebhardt MC, Malawar M, Pritchard DJ:** A system for the functional evaluation of reconstructive procedures after surgical treatment of tumors of the musculoskeletal system. *Clin Orthop Relat Res*, 286: 241-246, 1993.
8. **Ewers R, Wangerin K:** The autoclaved autogenous reimplant, an immediately replaced, mineral frame. *J Maxillofac Surg*, 14: 138-142, 1986.
9. **Gebhardt MC, Roth YF, Mankin HJ:** Osteoarticular allografts for reconstruction in the proximal part of the humerus after excision of a musculoskeletal tumor. *J Bone Joint Surg Am*, 72: 334-345, 1990.
10. **Gitelis S, Piasecki P:** Allograft prosthetic composite arthroplasty for osteosarcoma and other aggressive bone tumors. *Clin Orthop Relat Res*, 270: 197-201, 1999.
11. **Glasser DB, Lane JM:** Stage IIB osteogenic sarcoma. *Clin Orthop Relat Res*, 270: 29-39, 1991.
12. **Han CS, Wood MB, Bishop AT, Cooney WP:** Vascularized bone transfer. *J Bone Joint Surg Am*, 74: 1441-1449, 1992.
13. **Harrington KD, Johnston JO, Kaufer HN, Luck JV, Moore TM:** Limb salvage and prosthetic joint reconstruction for low-grade and selected high-grade sarcomas of bone after wide resection and replacement by autoclaved autogenic grafts. *Clin Orthop Relat Res*, 211: 180-214, 1986.
14. **Harris IE, Leff AR, Gitelis S, Simon MA:** Function after amputation, arthrodesis, or arthroplasty for tumors about the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 72: 1477-1485, 1990.
15. **Izawa H, Hachiya Y, Kawai T, et al:** The effect of heat-treated human bone morphogenetic protein on clinical implantation. *Clin Orthop Relat Res*, 390: 252-258, 2001.
16. **Leipzig B, Cummings CW:** The current status of mandibular reconstruction using autogenous frozen mandibular grafts. *Head Neck Surg*, 6: 992-997, 1984.
17. **Liebergall M, Simkin A, Mendelson S, Rosenthal A, Amir G, Segal D:** Effect of moderate bone hyperthermia on cell viability and mechanical function. *Clin Orthop Relat Res*, 349: 242-248, 1998.
18. **Manabe J:** Experimental studies on pasteurized autogenous bone graft. *Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi*, 67: 225-266, 1993.
19. **Manabe J, Ahmed AR, Kawaguchi N, Matsumoto S, Kuroda H:** Pasteurized autologous bone graft in surgery for bone and soft tissue sarcoma. *Clin Orthop Relat Res*, 419: 258-266, 2004.
20. **Ohta H, Wakitani S, Tensho K, et al:** The effects of heat on the biological activity of recombinant human bone morphogenetic protein-2. *J Bone Miner Metab*, 23: 420-425, 2005.
21. **Ortiz-Cruz E, Gebhardt MC, Jennings LC, Springfield DS, Mankin HJ:** The results of transplantation of intercalary

- allografts after resection of tumors. A long-term follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*, 79: 97-106, 1997.
22. Rong Y, Sato K, Sugiura H, et al: Effect of elevated temperature on experimental swarm rat chondrosarcoma. *Clin Orthop Relat Res*, 311: 227-231, 1995.
 23. Rougraff BT, Simon MA, Kneisl JS, Greenberg DB, Mankin HJ: Limb salvage compared with amputation for osteosarcoma of the distal end of the femur. A long-term oncological, functional, and quality-of-life study. *J Bone Joint Surg Am*, 76: 649-656, 1994.
 24. Sabo D, Brocai DRC, Eble M, Wannenmacher M, Ewerbeck V: Influence of extracorporeal irradiation on the reintegration of autologous grafts of bone and joint. Study in a canine model. *J Bone Joint Surg Br*, 82: 276-282, 2000.
 25. Springfield D, Schmidt R, Graham-Pole J, Marcus RB, Spanier SS, Enneking WF: Surgical treatment for osteosarcoma. *J Bone Joint Surg Am*, 70: 1124-1130, 1988.
 26. Suk KS, Shin KH, Hahn SB: Limb salvage using original low heat-treated tumor-bearing bone. *Clin Orthop Relat Res*, 397: 385-393, 2002.
 27. Thompson RC Jr, Pickvance EA, Garry D: Fractures in large-segment allografts. *J Bone Joint Surg Am*, 75: 1663-1673, 1993.
 28. Tsuchiya H, Tomita K, Minematsu K, Mori Y, Asada N, Kitano S: Limb salvage using distraction osteogenesis. A classification of the technique. *J Bone Joint Surg Br*, 79: 403-411, 1997.
 29. Tsuchiya H, Wan SL, Sakayama K, Yamamoto N, Nishida H, Tomita K: Reconstruction using an autograft containing tumour treated by liquid nitrogen. *J Bone Joint Surg Br*, 87: 218-225, 2005.
 30. Urist MR, DeLange RJ, Finerman GA: Bone cell differentiation and growth factors. *Science*, 220: 680-686, 1983.
 31. Urist MR, Iwata H: Preservation and biodegradation of the morphogenetic property of bone matrix. *J Theor Biol*, 38: 155-167, 1973.

= 국문초록 =

목 적: 사지 장골 골간의 원발성 악성 골종양을 가지고 있는 환자에게 시행 가능한 사지 구제술 중, 종양이 침범되지 않은 인접 관절과 성장기의 성장판을 보존하면서 시행 가능한 저온 열처리된 분절성 자가골 이식을 이용한 재건 수술에 대한 결과와 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 1987년 5월부터 2004년 5월까지 저온 열처리된 분절성 자가골을 이용한 원발성 악성 골종양의 사지구제술을 시행받은 환자 20명을 대상으로 하였으며, 평균 연령은 24세, 평균 추시 관찰기간은 59.8개월이었다. 이식골과 자가골의 고정은 견고한 금속정, 금속판, 견고한 금속정과 금속판 혼합 또는 탄력적인 금속정과 금속판의 혼합 등의 방법으로 하였다. 골수강내 시멘트 보강은 10예에서 시행하였으며 초기 절골 부위 자가골이식은 시행하지 않았다.

결 과: 저온 열처리된 이식골의 평균 길이는 152 mm이었다. 추시 기간 중 사망 1예(종양과 관련 없는 급성 심장마비: 1예)가 있었으나 국소 재발 및 원격 전이된 경우는 없었다. 18예에서 지주골과 저온 열처리된 분절성 자가골의 상, 하부 경계부의 평균 골유합 기간은 8.5개월이었고, 불유합 2예, 감염 2예, 자가이식골 골절 3예 등의 합병증이 있었다. ISOLS 기능 평가는 82% (24/6)이었다.

결 론: 장골 골간 부위의 원발성 악성 골종양의 광범위 절제술 후 저온 열처리된 분절성 자가골 이식은 적절하게 선택된 환자들에 있어서 남아있는 종양세포의 제거가 비교적 간단하고 경제적이며, 해부학적으로 가장 적합한 재건 수술법이다. 그러나 골흡수 가능성 및 저온 열처리된 자가 이식골의 융합면에서 장기적인 추시관찰이 필요할 것으로 생각된다.

색인 단어: 원발성 골종양, 분절성 자가골 이식, 저온 열처리, 사지 구제술