

## 생체골의 열전도성 및 열처리된 골의 염전력 변화에 대한 실험적 연구

경북대학교병원 정형외과학교실

박일형\* · 김신근 · 신동규 · 인주철

— Abstract —

### Experimental Studies on Heat Conductivity of Human Bone and Torsional Strength of Pasteurized Porcine Tibia

Il-Hyung Park, M.D., Sin-Gun Kim, M.D., Dong-Kyu Shin, M.D., Joo-Chul Ihn, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, Kyungpook National University Hospital, Daegu, Korea*

In countries where confucianism is popular, it is extremely hard to get fresh cadaver bone for allograft. Therefore in Korea, the reimplantation of resected autoclaved autogenous bone segments has been increasingly performed for limb reconstruction of extremities with malignancies. To preserve the bone morphogenetic protein and mechanical strength of heated bone, many studies have reported that pasteurization of bone is far better than autoclaving over 100°C. Based on this assumption, replacement with a pasteurized autogenous bone graft after resection of a malignant bone tumor was deemed feasible for reconstruction. However, little is known about how high a temperature and how much time for pasteurization is needed to make tumors completely necrotic and to maintain the mechanical strength of bone. Consequently, experimental studies were carried out to test heat conductivity of human bone and torsional strength of porcine tibia after pasteurization.

First, two pairs of human proximal tibia and distal femur were used. We used T-type thermocouples to check core temperature of the bone and a computerized data acquisition system to record results. Without reaming of the medullary cavity, in a 60°C-thermostatic saline tub, it took 32 minutes and 50 seconds to raise the core temperature of human proximal tibia from 20°C to 58°C, and 30 minutes for distal femur. In a 80°C saline tub, it took 12 minutes and 50 seconds for proximal tibia, and 11 minutes and 10 seconds for distal femur. In contrast, using porcine tibia whose cortical thickness is similar to that of human tibia, after reaming of the

---

\* 통신저자: 박 일 형  
대구직할시 중구 삼덕동 1가 335번지  
경북대학교 의과대학 정형외과학교실

medullary canal, it took less than 3 minutes and 30 seconds in a 60°C saline tub, less than 1 minute and 45 seconds in a 70°C tub, and less than 1 minute in a 80°C tub to elevate core temperature from 20°C to 58°C.

Second, based on data of the heat conductivity test, we compared the torsional strength before and after pasteurization. Twenty matched pairs of porcine tibia were used, The left one was used as a non-heated control group and the right one as a pasteurized experimental group. Without reaming of the medullary cavity, there was no statistical difference in torsional strength between the pasteurization of the 60°C-35minute and of 80°C-15minute. With reaming, we also found no statistical difference among pasteurization of 60°C-15 minute, of 70°C-15 minute, and of 80°C - 15 minute groups.

In conclusion, reaming of the medullary canal is very helpful in saving pasteurization time. And, in a 60°C saline tub, no significant weakness in torsional strength occurs with pasteurization of the bone for up to 35 minutes. Also no significant weakness in torsional strength occurs with an exposure of 15 minutes to the 80°C saline tub.

**Key Words** : Heat conductivity, Torsional strength, Pasteurization

## 서 론

사지에 발생한 악성골종양의 치료에 있어서 과거에는 거의 전부 절단술이라는 극단적인 치료방법을 사용하였으나, 최근에는 컴퓨터 단층촬영, 자기공명 영상 장치 등 진단방법의 발달로, 수술전 종양의 범위확정(surgical staging)이 정확해지고, 수술수기의 향상으로 가능한한 사지보존술(limb salvage)을 시행하는 수가 많으며, 그 결과도 사지절단술 못지 않게 좋은 치료율, 생존율을 보이고 있다<sup>3,9</sup>.

그러나, 사지보존술에 있어 골조직의 광범위 절제 후 여러가지 재건방법(reconstructive technique)이 사용될 수 있다. 즉, 종양 대체 삽입술(prosthetic replacement), 동종골이식술(allograft), 관절 고정술(arthrodesis) 등의 방법이 널리 이용되고 있으나, 최근 골형성이 되거나, 골파괴가 심하지 않은 악성골종양의 자가소독후 재삽입(reimplantation of autoclaved autogenous bone)하는 방법도 점차 많이 이용되고 있다. 특히 시신(cadaver)을 중요시 여기는 유교사상의 영향으로 국내에서는 적합한 동종골(allograft)을 구하기가 극히 힘들기 때문에 수술로써 절제한 종양골조직을 일정온도에서 열처리한 후 제자리에 재삽입하여 고정시킴으로써 사지보존술을 하는 경우가 증가하고 있다.

또한 Parrish 등<sup>19</sup>과 Manabe<sup>7</sup>의 실험적 연구들에 의하면 골조직을 자가소독할때 같은 시간동안 열처리 한다면 100°C~120°C의 고온처리보다 60°C~80°C의 저온처리에서 골조직의 강도를 훨씬 잘 보존할 수 있다고 강조하였고, Nakanishi 등<sup>10</sup>은 저온에서 가열할수록 골형성 단백질(bone morphogenetic protein)dl 많이 보존되어 열처리된 뼈가 유합이 잘 된다고 하였다. 따라서 100°C 이상의 고온으로 열처리하는 것은 골강도에 현저한 약화를 초래하고, 골형성 단백질이 거의 소실되어 좋지 않다고 알려져 있다.

그러나, 어느정도의 저온에서 최소한 얼마동안 열처리해야 골조직의 강도를 최대한 보존하면서 종양세포의 완전한 괴사를 얻을 수 있는 지에 대한 연구는 국·내외에서 발표된 문헌을 찾기가 힘들었다.

저자들은 가열소독시의 시간경과에 따른 골내부 온도 상승을 측정하여 골의 열전도성을 알아보고 이 자료를 기초로 열처리 후 골조직의 염전력(torsional strength)변화를 측정해 봄으로써 상대적 저온에서 장시간 열처리한 것과, 고온에서 단시간 열처리한 것을 비교 검토하여 골조직이 강도를 최대한 보존하면서 종양의 완전괴사를 일으킬 수 있는 열처리 온도 및 시간을 측정하여 임상에서 인체골조직의 자가소독(autoclaving)에 대한 지표로 이용하고자 본 연구를 시도하였다.

## 실험재료 및 방법

실험동물로는 생후 4~5개월 된 체중 100kg 정도의 요오크셔 돼지 뒷다리 25쌍을 주위 모은 연부조직을 제거하고 플라스틱 용기에 좌·우 한쌍씩 넣어서 영하 75°C의 냉동고에 보관하였다가 실험전 12 시간동안 상온의 생리식염수에 담궈 두었다가 다음날 사용하였고, 인체골은 경북대학교 병원에서 사고, 질병 등으로 절단 수술후 얻을 수 있었던 성인의 대퇴골 원위부 2개, 경골 근위부 2개를 동일한 과정으로 처리 후 시편(specimen)으로 이용하였다 (Table 1).

Table .1. Specimens of Human Bone

Case	Site	Sex	Age
1	distal femur	M	19
2	distal femur	M	27
3	proximal tibia	F	36
4	Proximal Tibia	M	22

실험은 두단계로 나누어 시행하였다.

1. 단계로 생체골의 열전도성 측정,
2. 단계로 열전도성 측정의 자료를 기초로하여 열처리된 돼지 경골의 염전력 변화를 측정하였다.

### 1. 생체골의 열전도성 실험

돼지의 경골 근위부는 6×5cm 정도의 크기로 정상 성인의 경골과 모양이 유사하여, 크기가 비슷한 돼지의 경골 근위부 4개를 대상으로 예비실험을 하였다. 여기에 열전대(thermocouple)를 15mm, 25mm, 35mm의 깊이로 골조직 내부에 삽입하여 epoxy resin으로 밀봉한 후 80°C의 항온조에 침착시켜 가열하니 25mm 깊이에서 가장 늦게 온도가 상승되었다 (Fig. 1). 따라서 실험재료로 사용된 인체골은 돼지 골에 비하여 그 굵기가 1.2~1.3배 정도인 점을 감안하여 인체골에서는 30mm의 깊이로 열전대를 삽입하였다.

또한 돼지 경골의 내과(medial condyle)와 외과(lateral condyle)의 중심점, 경골극에 각 1개씩 열전대를 삽입하여 60°C의 항온으로 가열하였던 바 경골극은 현저히 늦게 온도가 상승한 반면, 내·외

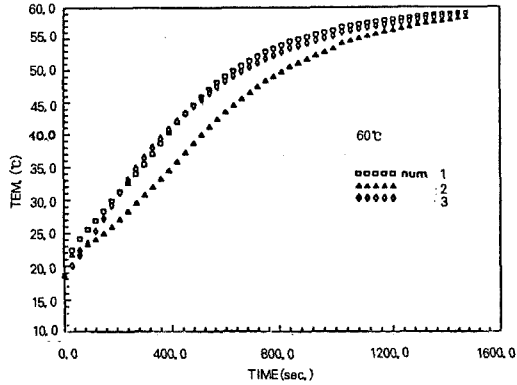
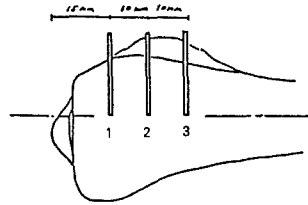


Fig. 1. Proximal porcine tibia(lateral view)  
The elevation of temperature is slowest at depth of 25mm from tibial spine  
1. 15mm depth from tibial spine  
2. 25mm depth from tibial spine  
3. 35mm depth from tibial spine

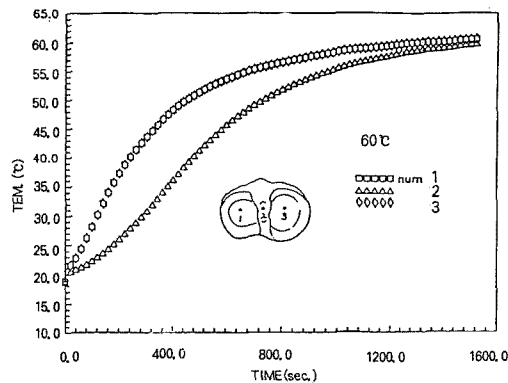
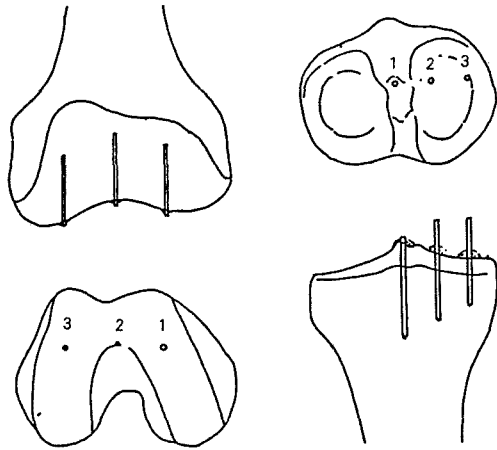


Fig. 2. Proximal porcine tibia(view from the top)  
The elevation of temperature is slowest at tibial spine area.  
1. center of lateral condyle  
2. center of tibial spine  
3. center of medial condyle

과는 거의 똑같이 온도가 상승하였다 (Fig. 2). 따라서 인체골에서는 경골극에 1개와, 크기가 조금 더 큰 내과쪽에만 2개의 열전대를 삽입하였다.

돼지의 대퇴골 원위부는 내과·외과의 온도상승이 약간의 차이가 있었으므로 인체 대퇴골 원위부에는 내·외과 중간부위(intercondylar notch), 내과와 외과의 중심점에 각각 1개씩의 열전대를 삽입하여 측정하였다(Fig. 3).

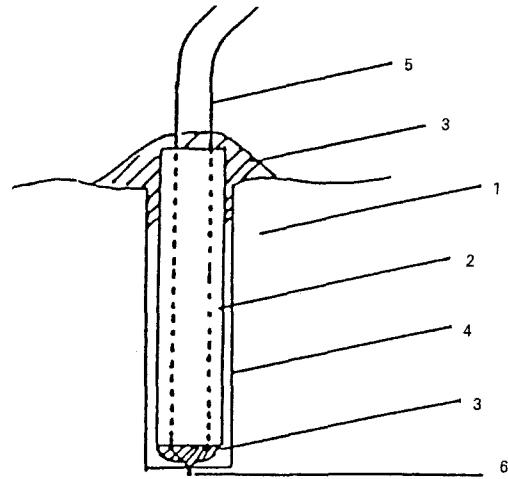


**Fig. 3.** Insertion site of thermocouple in human distal femur and human proximal tibia.  
 Left : human distal femur  
 Right : human proximal tibia  
 Left : 1. center of lateral condyle  
 2. intercondylar notch  
 3. center of medial condyle  
 Right : 1. tibial spine  
 2. point of 1/3 of medial condyle  
 3. point of 2/3 of medial condyle.

실험방법으로는 먼저 모든 시편(specimen)을 10 cm길이를 자른 후 골수강을 그대로 둔채로 직경 3 mm, 깊이 30mm의 구멍을 뚫은 후 열전대를 삽입하고 epoxy resin으로 밀봉하였다(Fig. 4).

본 실험에 사용된 열전대는 T-type으로 0.1°C 정도의 정확도를 가지며, 이로부터 측정된 온도는 자료획득기(data acquisition system, Kiethley사)를 통하여 컴퓨터에 입력되어진다. 그리하여 3개의 열전대에서 측정된 온도가 매 20초마다 자동으로 기록되고, 마지막에는 그래프로도 나타내도록 컴퓨터를 미리 프로그래밍 시켰다.

한편±0.1°C의 오차로 물온도를 유지할 수 있는 항온조(water bath, 독일 Haake사)에 약 3l의 생리식염수를 채워 미리 60°C, 80°C의 온도로 가열한 후 골수강은 제거하지 않은 생체골을 식염수에



**Fig. 4.** Structure of thermocouple.  
 1. bone 2. insulator 3. Epoxy resin  
 4. Drilled hole 5. Coated electric line  
 6. Sensor tip buried in bone matrix

완전히 잠기도록 넣었다. 그후 20초마다 골내부의 온도상승을 측정하였고 가장 늦게 온도가 상승되는 부분이 식염수의 온도와 같아지면 실험을 종료하였다. 이때 식염수의 온도가 항온으로 유지되는지를 재확인하기 위해 식염수내에도 1개의 열전대를 담귀 두었다.

다음으로, 골수강을 제거한 생체 장관골의 피질골(cortical bone)만의 열전도성을 측정하고자 피질골의 두께가 생체 경골과 비슷한 돼지 경골 간부 피질골을 이용하였다. 피질골은 그 두께가 3-4mm에 불과하여 아무리 작은 열전대라도 피질골내에 정확히 장치하는 것은 불가능하므로 양쪽끝이 완전히 막힌 완전한 돼지 경골의 간부(shaft)의 피질골 한쪽에서 직경 3mm의 구멍을 장축에 수직으로 3개 뚫고, 여기에 열전대를 골수강에 직각으로 밀어넣어 반대쪽 피질골의 안쪽면에 열전대 끝이 닿도록 장치하고 외부에서 epoxy resin으로 밀봉하였다(Fig. 5).

이렇게 열전대가 장치된 돼지 경골을 60°C, 70°C, 80°C의 생리식염수 항온조에 넣어서 매 20초마다 온도상승을 측정하여 식염수 온도와 같아지면 실험을 종료하였다.

모든 결과는, 시간 경과를 횡축으로, 온도 상승을 종축으로 하는 그래프의 형태로 표시되도록 컴퓨터를 미리 프로그래밍 시켰으며, 실험실내의 온도에 따라 가열하기전 골내부 온도가 10°C-16°C 정도였

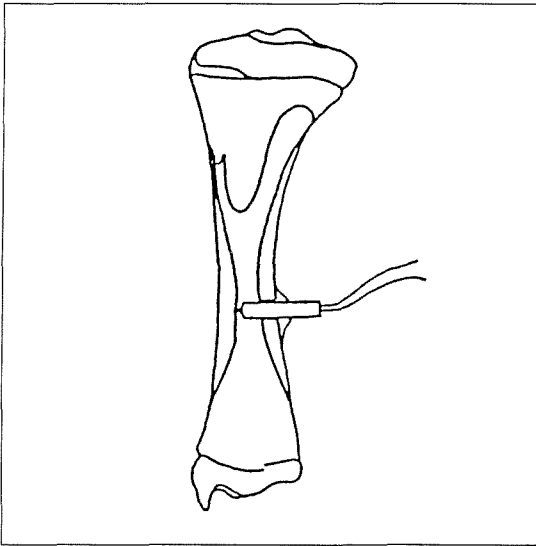


Fig. 5. Placement of thermocouple Lepd\* to test heat conduction through cortical bone

던 것도 컴퓨터를 이용하여 시작온도를 20°C로 정확하게 보정할 수가 있었다.

## 2. 열처리된 돼지 경골의 열전력 측정 시험

58°C-62°C(pasteurization)에 2-3분 노출되면 세포내에 단백질이 영구 변성되므로<sup>6)</sup>, 이 온도내에서는 중앙세포도 괴사된다고 믿어져 골내부 온도가 58°C까지 상승되는 시간을 측정하였다. 그러나, 항온조에 넣어서 가열하면 골내부 온도상승이 이루어 지다가 일정온도를 지나면서 사실상 온도상승이 거의 이루어지지 않는 지점(plateau)이 있었는데 60°C 항온조에서는 58°C 근처였으므로 저자는 58°C에 2-3분 노출될 때를 중앙세포 완전괴사의 기준점으로 정하였다. 그 결과 60°C에서는 35분, 80°C에서는 15분이면 골내부 온도가 58°C에 도달하였다.

이러한 열전도 실험의 자료를 기초로 하여 총 20쌍의 돼지 경골을 결절부(tibial tuberosity)에서 원위 10cm위까지 육질기로 양측 절단면이 평행하도록 절단하여 좌측 경골은 가열하지 않은 대조군으로, 우측 경골은 가열한 실험군으로 이용하여 가열 전후의 열전력의 변화를 비교하였다.

이때 골수강은 제거하지 않고 60°C에서 35분간 열처리한 군을 제 1군, 80°C에서 15분간 가열한 군을 제 2군, 골수강을 완전제거 후 60°C에서 15분간 열처리한 군을 제 3군, 골수강 제거 후 70°C에서

15분간 열처리한 군을 제 4군, 골수강 제거 후 80°C에서 15분간 열처리한 군을 제 5군으로 구분하여 각 군당 4쌍의 돼지 경골로 4회씩 반복 실험하였다.

이와 같이 준비된 시편들은 가로, 세로 각각 4cm, 깊이 3cm, 두께 1cm의 탄소강으로 주문 제작한 지그(zig)에 경골의 장축이 지면과 직각이 되도록 하여, 4개의 rod를 연결하여 상하의 지그 중심점이 정확히 일치되도록 한 후 골 시멘트(bone cement)를 넣어 견고히 고정(mounting)하였다(Fig. 6).

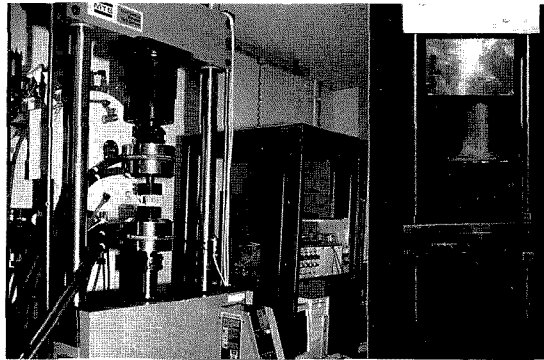


Fig. 6. Torsional test system(MTS Model No. 809) and Zig system.

골시멘트로 고정한 후 20분이 경과하면 돼지 경골이 고정된 지그를 Torsion Test System 기계(MTS C0 ; Model No. 809)에 연결한 후 0.1°/sec의 torque의 속도로 돌려 시편에 골절이 일어날 때까지의 최대 열전력(maximal torque)과 이때의 회전각도를 측정하였다. 이와 같은 실험을 대조군의 좌측과 가열 실험군인 우측을 각각 행한 후 그 그래프에 동시에 표시하여 비교하기 쉽도록 미리 프로그래밍 하였다.

## 성 적

### 1. 생체골의 열전도성

골수강을 소파하지 않은 채로 인체골을 60°C의 항온에서 열처리할 경우 20°C에서 58°C에 이르는 시간은 경골 근위부의 경우 32분 50초, 대퇴골 원위부는 30분이었고, 80°C의 항온에서 58°C이르는 시간은 경골 근위부가 12분 50초, 대퇴골 원위부가 11분 10초였다(Fig. 7).

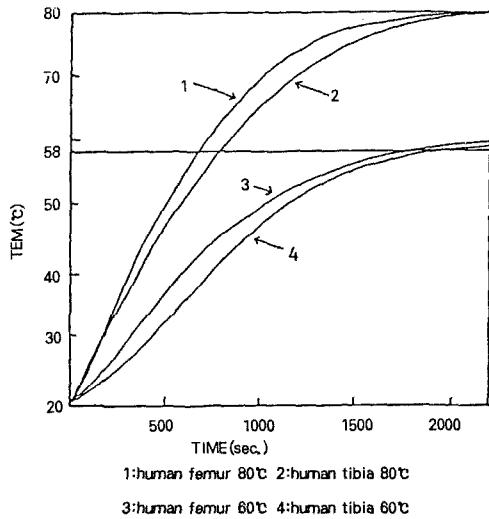


Fig. 7. The elevation of core temperature of human bone.

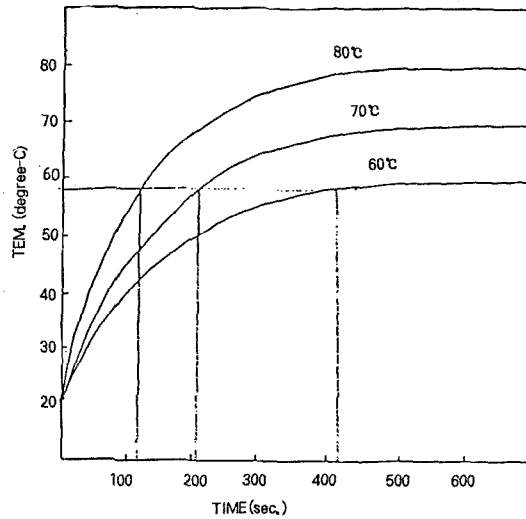


Fig. 8. The elevation of temperature of cortical bone in porcine tibia(heating only from outside)

돼지 경골 간부의 피질골의 열전도성 실험에서 한 개의 경골에 3개의 열전대를 장치하고, 60°C, 70°C, 80°C 각 온도마다 좌·우 한쌍의 경골을 이용하였다. 그 결과 서로 다른 6개의 열감지 센서의 온도 상승을 동시에 측정할 수 있었는데 측정치가 매우 비슷하여 높은 정확도를 보여 주었다.

돼지 경골의 피질골은 두께가 3mm-4mm 정도로 인체 경골의 피질골의 두께와 비슷하였는데 외측에서만 가열하였을때 피질골의 온도가 20°C에서 58°C에 이르는 시간은 60°C 항온조에서는 7분, 70°C에서는 3분 30초, 80°C에서는 2분이었다(Fig. 8).

## 2. 열처리된 골의 염전력의 변화

매초당 0.1°씩 일정하게 회전력을 가했을 때 골절이 일어나게 되는 최대 염전력은 열처리하지 않은 대조군의 경우(실험오류가 발생한 2예를 제외한 18개의 경골에 있어서) 최소 45.730 N-M(Newton-meter)에서 최고 87.500 N-m로 개체에 따라 그 편차가 매우 심했다.

골수강을 소파하지 않고 60°C 35분 열처리한 제 1군에서 실험군의 최대 염전력을 대조군과 비교할 때 +7.0%, -5.1%, -3.2%, -4.2%의 변화가 있었고, 골수가아울 소파하지 않고 80°C 15분 열처리한 제 2군에서는 -4.3%, -3.8%, -1.4%(1예는 실험 오류로 제외됨)의 최대 염전력 변화가 없었다(Fig.

9).

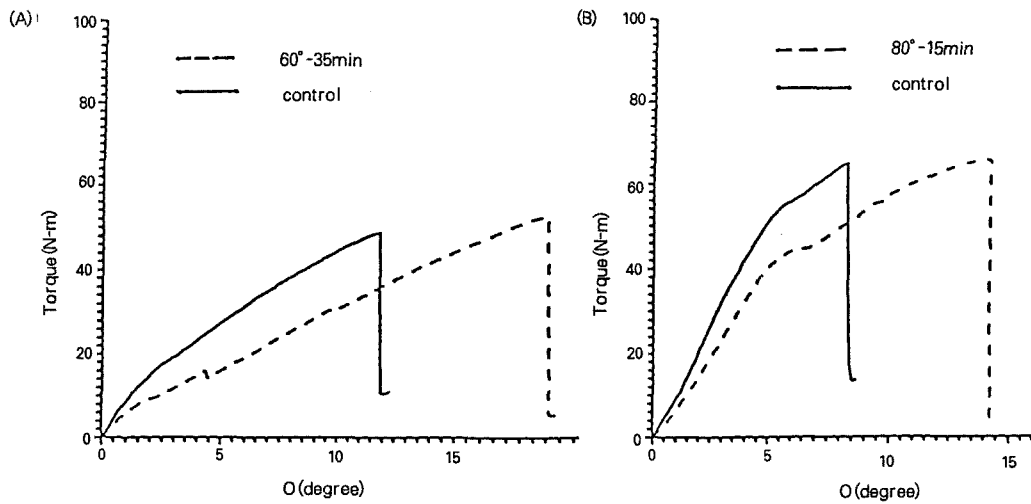
골수강을 완전히 소파한 후 피질골 간부만을 60°C 15분 열처리한 제 3군에서 실험군의 최대 염전력은 대조군과 비교할 때 -3.4%, -4.2%, +2.7%의 변화가 있었고, 골수강을 소파후 70°C 15분 열처리한 제 4군에서는 -2.8%, -3.9%, -2.1%(1예는 실험 오류로 제외됨)의 변화가 있었다. 골수강 소파 후 80°C 15분 열처리한 제 5군에서는 +5.2%, -4.4%, -2.9%, -0.3%의 변화가 있었다(Fig. 10).

각 군에서 실험군과 대조군의 최대 염전력을 Wilcoxon sign rank test로 검정한 결과 p값이 제 1군은 0.8750, 제 2군은 0.2500, 제 3군은 0.3750, 제 4군은 0.2500, 제 5군은 0.8750으로 각군에서 대조군과 실험군에서의 최대 염전력은 유의한 차이가 없었다.

## 고 찰

사지에 발생한 악성 골종양은 일반적으로 다른 장기에 발생한 종양보다 치료율, 생존율이 훨씬 높다고 알려져 있다<sup>8,14</sup>.

또한 최근 컴퓨터 단층 촬영, 자기공명 영상 장치 등의 발달로 골조직 및 주위 연부조직으로의 파급정도가 정확하게 파악됨으로써 정확한 수술절제연을 술전에 미리 구상하여 그대로 시술함으로써, 완전한



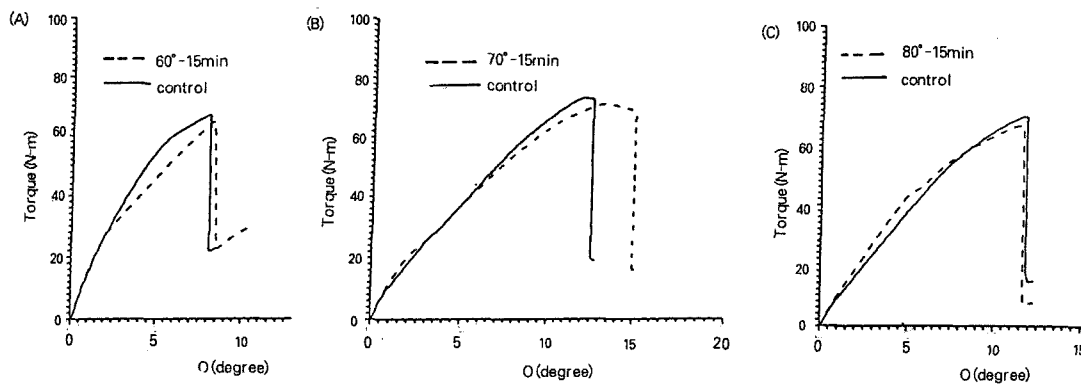
**Fig. 9.** Torque curves without reaming of medullary cavity

(A) 60°C-35minutes heating(Group I)

(B) 80°C-15minutes heating(Group II)

The curve pattern and maximum torque of (A) and (B) were almost the same as in control(non-heated)group.

Only the degree of rotation at fracture in experimental group is bigger than that of control group.



**Fig. 10.** Torque curves with complete reaming of medullary cavity.

(A) 60°C-15minutes heating(Group III)

(B) 70°C-15minutes heating(Group IV)

(C) 80°C-15minutes heating(Group V)

There were no differences among (A), (B) and (C) group both in curve pattern and maximum torque.

의미의 광범위 절제(wide surgical excision)수술이 가능해졌고, 수술전 항암제 투여(neoadjuvant chemotherapy)로 수술시 종양전파(tumor spillage)및 원격전이를 방지하여 악성골종양의 치료율 또는 생존율을 높이는데 커다란 진보를 이루게 되었다<sup>9,14,1)</sup>.

이에 따라 사지 절단술 대신에 사지 보존술도 점

차 보편화 되고 있는 실정이다. 그러나, 사지보존술의 가장 큰 문제점인 광범위 절제된 골조직을 대체할 수 있는 방법에 있어서는 아직도 여러가지 해결되어야 할 점이 많다.

즉, 현재 가장 널리 사용되고 있는 인공관절 삽입술은 시술이 편리하고, 환자의 뼈에 꼭 맞도록 제작 주문이 가능하지만, 가격이 몹시 비싸고 과사용시

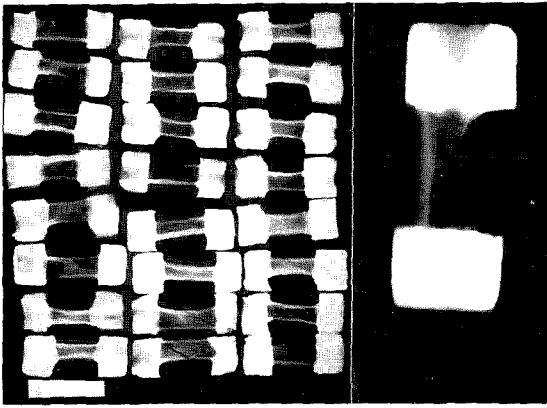


Fig. 11. Typical spiral fracture after torsional test.

마모 및 혈거위짐으로 재치환(revision)을 해야하는 단점도 있다<sup>4,5)</sup>.

구미 각국에서 널리 사용되는 동종골 이식술(allograft)은 매우 이상적인 방법이지만, 골조직 은행(bone bank)과 같은 체계적인 운용이 필요하고 크기, 위치 등이 꼭 맞는 동종골을 구하기가 쉽지 않다는 단점도 있다<sup>5,15)</sup>. 특히 유교사상으로 시신(cadaver)을 매우 중요시 여기는 국내 여건상 꼭 맞는 동종골을 구하기란 거의 불가능 할때가 많다.

이러한 점을 감안하여 최근에 골형성이 되거나, 골파괴가 별로 없는 악성골종양에 있어서, 수술로써 절제된 종양골조직 부위를 자가소독(autoclaving) 후 다시 제자리에 재삽입(reimplantation)하여 급속 등으로 고정함으로써 사지보존술을 행하는 방법이 점차 많이 이용되고 있다<sup>3,5,12,13)</sup>.

일반적으로 종양조직은 정상조직 보다 열에 약하여 가열할 경우 쉽게 손상이 일어나며, 43°C 이상으로 가온하면 종양세포의 상해가 비약적으로 증가된다고 알려져 있으며 이러한 원리를 종양의 온열치료법(hyperthermia)에 이용하고 있다<sup>9)</sup>.

한편 세균의 멸균을 위한 소독시는 수증기를 이용한 습식가열(moist heat)이 단순한 건식 가열(dry heat)보다 짧은 시간에 훨씬 좋은 효과를 볼 수 있으며 60°C 정도의 온도에 2-3분 정도만 노출되어도 거의 대부분의 세균(vegetative bacteria)이 사멸된다고 알려져 있다. 이는 58°C-62°C 정도의 온도에서 세포의 구성원인 단백질의 영구변성이 초래되기 때문이다<sup>9)</sup>. 따라서 일반세균보다 생존력이 훨씬 뒤떨어지는 일반조직세포나 열에 약한 종양세포는

더욱 60°C 근처의 온도에서는 완전괴사가 된다고 한다<sup>11)</sup>.

수술로써 절제한 골편을 심부까지 온도를 올리는 데에는 열전도성이 가장 큰 가열된 물속에 완전히 잠기게 하는 방법이 최단시간내에 온도를 상승시키는 유일한 방법으로 알려져 있다. 따라서 현재 임상에서는 소독시간을 최소화하기 위해 소독된 용기에 미리 일정한 온도까지 소독된 생리식염수를 데워둔 후 여기에 연부조직을 완전 제거하고 골수강을 소파한 종양 골조직을 완전히 담구어 일정시간 항온으로 유지한 후 인체내에서 재삽입하고 있다.

Nakanishi등<sup>11)</sup>은 토끼의 장관골을 50°C-90°C의 항온조내에서 열처리할때 피질골내부 온도는 항온조의 온도에 관계없이 2분 30초 이내에 모두 항온조의 온도와 같아졌다고 하였으며, Ohura등<sup>11)</sup>은 토끼의 경골간부를 부분절제후 여러 온도에서 열처리후 재삽입하여 골유합을 관찰한 결과 열처리온도가 높을수록 골유합이 지연되었고, 120°C에서 열처리후는 골유합이 이루어지지 않았다고 보고하였다.

저자들도 돼지 경골의 골수강을 모두 제거후 60°C, 70°C, 80°C 항온조에 담갈때 60°C에서는 3분 30초, 70°C에서는 1분 45초, 80°C에서는 60초 이내에 피질골 내부가 58°C에 이르는 것을 관찰하였다. 이는 Nakanishi등<sup>10)</sup>의 보고보다는 약간 긴 시간인데 이것은 돼지 경골의 피질골이 토끼 경골보다 두껍기 때문이라고 사료된다.

임상에서 종양골조직을 절제한 후 피질골을 손상시키지 않는 범위에서 골수강 및 종양부위를 소파한 후 열처리하지만, 때로는 종양이 골중심부위나 피질골쪽으로 깊이 근접해 있어 완전소파할 수가 없는 경우도 있다. 이때는 골수강을 완전제거하지 못한 채 그대로 가열하게 되는데 이런 경우 골의 가장 깊은 중심부위(core)는 상당히 늦게 온도가 상승되리라 예상된다. 저자들은 골수강을 소파하지 않은 인체골을 가열할 때 심부온도 상승에 대한 문헌을 찾을 수가 없었기에 인체 경골근위부, 대퇴골원위부를 이용해 직접 실험해 보았다. 먼저 인체골과 유사한 돼지 경골근위부, 대퇴원위부를 사용하여 예비실험을 하여 온도상승이 가장 낮은 골의 중심부를 찾은 후 이를 인체골에 적용하였다. 그 결과 대퇴골 원위부가 경골 근위부보다는 심부온도상승이 상대적으로 빨랐는데 이는 대퇴골원위부가 경골근위부보다 표면



적이 훨씬 넓으므로 열전도가 빨랐다고 사료된다. 측정결과 인체경골 근위부의 중심온도가 20°C에서 58°C에 이르는데는 60°C 항온조에서는 32분 50초, 80°C에서는 12분 50초가 소요되었다.

Parrish등<sup>12)</sup>은 돼지 대퇴골을 이용하여 120°C, 100°C, 70°C에서 10분간 열처리후 열처리전·후의 염전력(torque strength)을 측정한 결과 120°C 10분 가열후는 23.3%, 100°C 10분 가열후는 12.4%의 염전력 감소를 초래하였으나 70°C 10분 가열후는 골강도에 변화가 없었다고 보고하였고, Manabe<sup>4)</sup>는 쥐의 대퇴골을 58°C에서 30분, 80°C에서 30분, 100°C에서 30분, 120°C에서 20분 열처리후 염전력을 측정한 결과, 58°C 30분, 80°C 30분, 열처리한 후는 가열하지 않은 대조군과 유의한 차이가 없었으나 100°C, 120°C 가열한 경우는 염전력의 현저한 감소가 있었다고 발표하였다. 저자들은 60°C에서 35분 열처리한 1군이나, 80°C에서 15분 열처리한 2군에서 양쪽에서 모두 가열전과 비교해서 골강도에 별 영향이 없음을 염전력의 측정을 통하여 알 수 있었다.

## 요 약

인체골 4 시편(specimen)과 돼지 경골 25쌍을 이용하여, 생체골의 열전도성 측정과 열처리후 열처리온도와 시간에 따른 골의 염전력을 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

인체골에 있어서 골수강을 제거하지 않고 60°C의 항온식염수에서 열처리하면, 골심부의 온도가 20°C에서 58°C에 도달하는데 소요된 시간은 경골근위부가 32분 50초, 대퇴골 원위부가 30분, 80°C 항온조에서는 경골근위부가 12분 50초, 대퇴골 원위부가 11분 10초 소요되었다.

돼지 경골간부의 피질골내부(endosteum)에 열전대를 부착하고 뼈 양끝을 밀봉하여 같은 실험을 행한 결과 50°C까지는 시간에 비례해서 일정한 비율로 온도상승이 이루어 졌으며, 20°C에서 58°C에 이르는 시간이 60°C 항온조에서는 7분, 70°C에서는 3분 30초, 80°C에서는 2분이었다. 따라서 임상에서 골수강을 제거 후 장골의 간부(shaft)만을 항온조에 달궈둘때는 골수강내에도 데워진 심염수로 가득차게 되므로 상기 시간의 절반이 못되는 짧은 시간내에

피질골의 내부가 58°C에 이르리라고 판단되었다.

골수강을 소파하지 않은 돼지 경골을 각각 4쌍씩 우측만을 60°C 35분, 80°C 15분 열처리한 후 실험군의 최대염전력은 대조군과 비교할 때 +7.0%, -5.1%, -3.2%, -4.2%의 변화가 있었고, 80°C 15분 열처리후는 -4.3%, -3.8%, -1.4%(1예는 실험 오류로 제외됨)의 변화가 있었다.

골수강을 완전 제거한 돼지 경골을 각각 4쌍씩 우측만을 60°C, 70°C, 80°C에서 15분 열처리 후 실험군의 최대염전력은 대조군과 비교할 때 -3.4%, -4.2%, -0.7%, +2.7%의 변화가 있었고, 70°C 15분 열처리후는 -2.8%, -3.9%, -2.1%(1예는 실험 오류로 제외됨)의 변화가 있었으며, 80°C 15분 열처리후는 +5.2%, -4.4%, -2.9%, -0.3%의 염전력 변화가 있었다. 그러므로 골수강을 제거하지 않고 80°C 35분, 60°C 15분 열처리 하거나, 골수강을 완전소파 후 60°C 15분, 70°C 15분, 80°C 15분 열처리해서는 각군사이에 염전력의 유의한 차이는 없었다.

이상의 결과로 돼지 경골의 경우 60°C 항온에서는 35분까지, 80°C이하의 항온에서는 15분까지 열처리하여도 골강도에는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

## REFERENCES

- 1) 이수용, 백구현 : 악성 골·연부종양 치료지침, pp. 62-89, 1991, 제일출판사
- 2) 이수용, 백구현 : 악성 골·연부종양 치료지침, pp. 187, 1991, 제일출판사.
- 3) Harrington KD, Johnston JO, Kaufer HN, Luck JV Jr. and 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 autogenous grafts. *Clin. Orthop* ; 211 : 180-214, 1986.
- 4) Horowitz SM, Lane JM, Otis JC and Healey JH : Prosthetic arthroplasty of the knee after resection of sarcoma in the proximal and of tibia. *J. Bone and Joint Surg* ; 73A : 286-293, 1991.
- 5) Johnson Jo, Harries TJ, Allexander CE and Allexander AH : Limb salvage procedure for

- neoplasms about the knee by spherocentric total arthroplasty and autogenous autoclaved bone grafting. *Clin. Orthop* ; 181 : 137-145, 1983.
- 6) **Joklik WK, Willett HP, Amos DB and Wilfert CM** : Zinnser Microbiology, Appleton and Lange, 20th ED, pp. 196, Connecticut, 1992.
  - 7) **Jun M** : Experimental studies on Pasteurized autogenous bone graft. *J. Jpn. Orthop. Assoc* ; 67-4 : 255-266, 1993.
  - 8) **Lee SY, Baek HG** : Limb-salvage operations in primary malignant tumors of the bone. *Journal of Korean Medical Science* ; 5 : 295-312, 1990.
  - 9) **Mutschler W, Burri C and Kiefer H** : Functional results with endoprosthetic replacement. In limb Salvage in Musculoskeletal Oncology, Bristol-Myers/Zimmer Orthopaedic Symposium, pp 156-1666. Edited by W.F. Enneking. New York, Churchill Livingstone, 1987.
  - 10) **Nakanishi K** : Fundamental analysis of autogenous heated bone graft for limb salvage procedure of bone tumor. *J. Jpn. Orthop. Assoc* ; 64-8 : S1140, 1990.
  - 11) **Ohura K** : Osteoconduction of heated bone graft. *J. Jpn. Orthop. Assoc* ; 64(8) : S1141, 1990.
  - 12) **Parrish W, Makley J and Njus G** : Torsional strength of autoclaved autogenous bone. In Second Combined Musculoskeletal Tumor Society and European Musculoskeletal Oncology Society Meeting, pp 32. 1992.
  - 13) **Smith WS, Struchl S and Michigan A** : Replantation of an autoclaved autogenous segment of bone for treatment of chondrosarcoma. *J. Bone and Joint Surg* ; 70-A : 70-75, 1988.
  - 14) **Springfield DS, Schmidt R, Graham-pole J, Marcus RB Fr, Spanier SS and Enneking WF** : Surgical treatment of osteosarcoma. *J. Bone and Joint Surg* ; 70A : 1124-1130, 1988.
  - 15) **Walid M, Malinin TI, Markley JT and Dick HM** : Massive osteoarticular allografts in the reconstruction of extremities following resection of tumors not requiring chemotherapy and radiation. *Clin. Orthop* ; 197 : 76-87, 1985.