

## 생골 및 사골이식의 생존도에 대한 골주사에 의한 평가

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

양 영 식 · 이 덕 용

= Abstract =

### Scintigraphic Evaluation of the Viability of Living and Dead Bone Grafts —An Experimental Study on Rabbit's Tibiae—

Yung Sik Yang, M.D. and Duk Yong Lee, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea*

The author studied the validity of bone scintigraphy in the assessment of viability and anastomotic patency of free bone grafts revascularized by microvascular anastomoses and also compared them with conventional free devascularized bone grafts and osteotomies.

Sixty rabbits were divided into three different groups, and scintigraphy was carried out using technetium labeled methylene diphosphonate on revascularized living bone grafts, conventional devascularized bone grafts and osteotomies. Of these, 38 rabbits could be followed up to 6 weeks.

Analyzing the histologic, radiographic and scintigraphic data, the following results were obtained.

1. Free living bone grafts, revascularized by periosteal blood supply from the posterior tibial artery, revealed incomplete bone cell survival on histologic sections taken at 6 weeks after operation. In the osteotomy group the distal fragments were completely viable. Living bone grafts with failed anastomosis and dead bone grafts were almost completely necrotic.
2. Radionuclide uptake in dead bone grafts and living bone grafts with failed anastomosis increased gradually up to 6 weeks after operation. Radionuclide uptake in living bone grafts with patent anastomosis increased rapidly during the first 2 weeks, and increased gradually thereafter up to 6 weeks. In the osteotomy group radionuclide uptake also increased rapidly during the first 2 weeks but decreased slowly thereafter up to 6 weeks.
3. Radionuclide uptake at 6 weeks after operation became comparable to that of the adjacent host bone and there was no significant difference among the various groups.

On the basis of the experimental results, the author derived following conclusions.

1. The differences of radionuclide uptake among the various living and dead bone grafts were most remarkable at 2 weeks following the grafting procedure. The radioactivity was highest following osteotomy which preserved blood supply, and it was lower in the living bone grafts with patent anastomosis, while that in the dead bone grafts and living bone grafts with failed anastomosis was lowest.
2. The time factor in performing scintigraphy was most important in assessing the viability of bone grafts and anastomotic patency. The optimal time to assess the viability and anastomotic patency appeared to be 2 weeks after grafting.

**Key words :** Bone graft, Viability, Bone scintigraphy.

이 논문은 1980년도 서울대학교 병원 대단위 연구비의 보조를 받았음.

## I. 서 론

최근의 미세혈관 문합술의 발달은 골이식에 있어서 이식골의 혈류를 소생시켜 살아있는 상태로 이식하는 유리 생골이식(free living bone graft)을 가능하게 하여<sup>9,29,36)</sup>, 종래의 이식골의 혈류를 차단시킨 유리 골이식(free de-vascularized bone graft) 즉 사골이식(이후부터 생골이식과 대조되도록 사골이식으로 지칭함)으로는 만족한 결과를 얻을 수 없었던 비교적 큰 골결손이나 이식부 주위 조직이 염증이나 방사선 조사로 인한 반흔조직이거나 선천성 기관결장으로 재생능력이 빈약한 경우일지라도 양호한 결과를 얻을 수 있는 방법으로 각광을 받게 되었다<sup>1,7,18,24,37)</sup>. 이러한 생골이식은 사골이식에 비하여 이식골의 유합이 빠르고 확실하며 골흡수가 적고 염증에 대한 저항력이 우월함은 여러 학자들의 실험 및 임상적 연구로 증명된 사실이다<sup>18,19,24,31,37)</sup>.

생골이식에 있어서는 이식골의 생존에 필요한 양의 혈류가 보존되어야 한다. Östrup과 Fredrickson<sup>29)</sup>, 그리고 Doi<sup>9)</sup> 등은 개의 늑골 생골이식에 있어 골수혈류와 골막혈류가 동시에 보존되어야 이식골의 완전한 생존이 가능하다고 주장하여 이러한 원칙이 임상에 적용되었으나<sup>35)</sup>, 어느덧 임상 적용에 훨씬 간편한 골막혈관만이 보존되는 생골이식술이 막연히 사용되어왔다<sup>1,7,18,24)</sup>. 그러나 이에 대한 연구가 진행되어 1982년 Berggren과 Weiland 등<sup>2)</sup>은 골막혈관만이 보존되는 생골이식에 의하여 이식골의 완전한 생존이 가능하다고 보고하기에 이르렀다.

이식골의 생존도에 대한 평가는 임상적으로 중요한 가치가 있으나 아직 뚜렷한 평가 기준이 없으며, 현재 이용되는 방법으로는 조직학적 검사, 형광색소의 골침착 검사(fluorochrome bone labeling)<sup>28,39)</sup>나 미세혈관 조영 촬영등의 침습적인 방법과 단순 방사선 촬영이나 골주사 등의 비침습적인 방법이 알려져있다. 조직학적 검사나 형광색소의 골침착 검사는 이식골에서 직접 생검을 해야하므로 환자에 적용하기 어려우며 미세혈관 조영 촬영에는 기술적인 어려움과 혈관 문합 부위에 혈전 생성의 위험이 있어 널리 이용되지 못하고 있으며, 또 방사선 사진으로는 이식골의 생존도를 측정하는 객관적 기준이 없어 별 도움이되지 못하여 경제적이고 간편하며 위험 부담이 거의 없는 <sup>99m</sup>technetium methylene diphosphate 골주사 촬영이 임상과 동물 실험에서 널리 이용되고 있다<sup>1,7,10,18,19,23,24,41,44)</sup>.

그러나 대부분의 저자들은<sup>1,7,9,18,19)</sup> 골주사 촬영을 3주부터 8개월까지 제각기 시행하여 어느 때이건 이식골에서의 방사능 섭취를 이식골의 생존으로 판단하였으며 간

접적으로 문합 혈관의 개존(patency)으로 간주하였으나, 최근에 이에 대한 반론이 대두되어 논란의 대상이되고 있다<sup>2,3,4,23)</sup>.

저자는 가토를 이용하여 경골 원위 1/3 골편에 미세혈관 문합술을 이용한 후경골동맥(posterior tibial artery)의 골막혈류만이 소생된 생골이식과, 영양혈관은 차단되었으나 모든 골막혈관이 보존된 절골술의 경우, 그리고 이식골의 모든 혈류가 차단된 사골이식을 시행한 세 군에 대하여 이식골의 생존도에 따른 골주사 소견을 비교 관찰하고자 본 실험을 시행하였다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

실험 동물을 실험 1개월 전부터 동물 사육실에서 미리 사육하여 병약한 것을 제외한 체중 2.2~3.6kg의 성숙 백색 가토 60마리를 사용하였다.

### 2. 실험 방법

20% urethane 을 체중 1kg 당 5ml 씩 복강내에 주입하고 필요에 따라 체중 1kg 당 ketamine 10~15mg 을 근육주사하는 복합 전신마취를 시행하였다.

실험 동물을 A, B, C의 3개군으로 나누어 무균조작 하에서 각각 다음과 같은 실험을 시행하였다(Table 1).

#### 가. 수술 방법

가토 경골의 혈액 공급은 영양혈관과 골막혈관 그리고 골단 및 골간단혈관(epiphyseal and metaphyseal vessels)에 의하여 제공된다. 영양동맥은 전경골동맥에서 분지되어 경·비골유합(tibiofibular synostosis)의 직상부에서 골수강내에 들어가 상향 주분지(ascending main trunk)와 하향 주분지(descending main trunk)로 나누어진다. 원위 경골의 골막혈관은 전경골동맥, 후경골동맥, 비골동맥 및 복재동맥(saphenous artery)에서 분지되어 골피질에 직각 방향으로 들어가 많은 혈관 문합 분

Table 1. Types of graft

Group	Type of operation	No. of animal
A	Living bone graft (LBG, free vascularized graft)	25
B	Osteotomy	15
C	Dead bone graft (DBG, free devascularized graft)	20
Total		60

지 (anastomosing branch) 를 형성한다. 골간단혈관은 원위 경골에서는 현저하지 않고 골막혈관에서 분지되며 골단동맥은 족관절 주위의 큰 동맥에서 기시하여 경골의 내·외과를 통하여 골단부에 들어가 영양혈관의 분지와 문합하게 된다<sup>14,26)</sup> (Fig. 1).

이러한 경골 원위 1/3 부위의 혈액공급 소견에 근거하여 다음과 같이 A, B, C의 세 군에 대하여 서로 다른 실험 모형을 구상하여 수술을 시행하였다.

A) A 군은 가토 25마리에 대하여 우경골 원위 1/3 부위에 미세혈관 문합에 의하여 후경골동맥의 골막혈류만을 소생시키는 새로운 실험 모형을 구상하여 수술을 시행하였다.

우하퇴 원위 1/2 부위에 내측 중 피부절개에 의하여 수술 현미경을 이용한 박리로 후경골혈관을 하퇴 중간 지점에서 장무지굴근(flexor hallucis longus)의 심층 내측면에서 확인하여 박리한 다음, 경골 중위 1/3과 원위 1/3이 접하는 부위에서 소형 손 톱(hand saw)을 사용하여 절골술을 시행하였다. 경골 원위 골편을 골막 및 근육이 약 2~3mm 정도로 부착된 상태로 유리하고 족관절 부위에서는 관절이단을 시행한 다음, 후경골혈관을 족관절 하부 약 5mm 지점에서 절찰 절단하였다. 후경골동·정맥을 제외하고는 완전히 유리된 원위 골편의 절단면과 부착된 연부조직에서 신선혈이 출혈되는 것을 확인한 후, 절골 부위보다 약 1cm 상방에서 후경골동맥과 정맥을 각각 절단하였다 (Figs. 2,3).

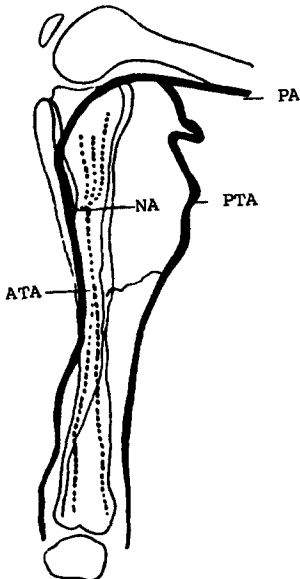


Fig. 1. Schematic drawing of arterial supply in rabbit's tibia

PA: Popliteal artery ATA: Anterior tibial artery PTA: Posterior tibial artery.

유리된 원위 골편을 다시 원위치로 복원하여 직경 0.9 mm의 Kirschner 강선을 이용하여 족관절 및 절골 부위를 통과하는 골수강내고정과 절골 부위에 직경 0.46mm의 철사를 이용한 고정을 추가하여 비교적 튼튼한 내고정을 얻었다.

25배로 확대된 수술 현미경하에서 절단된 후경골동맥은 10-0 영국 Ethicon 봉합사로, 정맥은 두개중 하나의 정맥을 11-0 Dermalon 봉합사로 혈관문합을 각각 시행한 후 최소 20분간 문합 부위의 혈류 소통을 확인하고 피부를 봉합하였다 (Fig. 4).

문합 부위의 동맥은 직경이 1~1.3mm였고 정맥은 0.7~1mm였으며 이식골의 관류나 heparinization은 시행하지 않았다. 혈류 차단시간은 평균 130분이었다.

B) B 군은 15마리의 가토에 대하여 우경골 중위 1/3과 원위 1/3이 접하는 부위에 절골술을 시행하고 족관절 부위에서는 인대 및 관절낭을 절단한 후 A 군과 동일한 내고정을 시행하였다. 저자는 이러한 절골술을 시행한 경우의 원위 골편을 생골이식의 일종으로 간주 하였다.

C) C 군은 20마리의 가토에 우경골 중위 1/3과 원위 1/3이 접하는 부위에 절골술을 시행하고 원위 골편을 골

Fig. 2. Microsurgical technique using operating microscope in free vascularized bone grafting (Group A).

Fig. 3. Completely detached distal one third of tibia with its vascular pedicle and surrounding soft tissue.

**Fig. 4.** Completed microvascular anastomosis. Scale in millimeters.

막하박리(subperiosteal dissection)에 의하여 완전히 유리한 후 다시 재위치로 복원하여 전과 동일한 내고정을 시행하였다. 저자는 이 경우의 원위 골편을 제자리 골이식(in situ bone graft)으로 간주하였으며, 생골이식인 A 군과는 달리 여기서는 사골이식인 셈이다.

이상의 수술을 시행한 모든 가토는 따로 외고정을 시행하지 않고 체중 부하를 허용하였으며, 수술창의 감염을 예방하기 위하여 수술후 10일간 수술창을 10% Betadine 용액으로 도포하였고 chloramphenicol 150mg을 근육주사하였다. 감염이나 고정의 실패가 확인된 동물은 모두 실험 대상에서 제외하였다.

#### 나. 골주사 촬영

모든 실험 가토에  $^{99m}\text{Tc}$  MDP  $1\text{mCi}$ 를 정맥주사하여 2 시간후에 ketamine을 이용한 전신마취를 시행하여 gamma camera (Ohio Nuclear Model Sigma 420)를 이용하여 양와위에서 양측 하지를 신전시켜 전면 골주사 촬영을 시행하였다. 각 가토의 실험 성적을 computer (Gamma 11, DEK Co.)에 기록하여 보존하였다. 이러한 골주사 촬영은 모든 실험 가토에 대하여 수술후 4시간, 3일, 그후는 1주부터 6주까지 1주일 간격으로 시행하였다.

#### 다. 방사선 촬영

수술후 6주에 모든 가토의 경골을 채취하여 전면 및 측면 단순 방사선 촬영을 시행하였다. 그중 생골이식을 시행한 가토 3마리에 대하여는 이에 앞서 혈관 조영 촬영도 시행하였다.

#### 라. 육안 및 조직학적 검사

혈관 문합군(A 군)에서는 그 문합의 개폐 여부를 확인하기 위하여 수술후 6주에 전신마취하에 박리에 의하여 문합 혈관을 확인한 후 다시 절단하여 육안 및 현미경적 소견으로 혈류 소통 여부를 확인하였다. 문합 부위의 혈류 소통이 확인됐던 예는 9마리로 이를 A1 군으로 다시 분류했고, 문합 부위의 혈류 소통이 차단되었거나

**Table 2.** Number of success of experimental animals

Group	No. of success	No. of failure	Total
A	15	10	25
B	11	4	15
C	12	8	20
Total	38	22	60

**Table 3.** Causes of Failure

Group	Death		Infection	Failure of fixation
	within 48 hrs.	after 48 hrs.		
A	3	4	5	3
B	1	3	3	2
C	2	4	7	4
Total	6	11	15	9

**Table 4.** Histological Assessment of Viability of the Graft

Group	No. of animals	No. of biopsy at 6 weeks	Percentage of lacunae filled with viable osteocytes
A1 LBG with patent anastomosis	9	8	53(%)
A2 LBG with failed anastomosis	6	6	8
B Osteotomy	11	10	97
C DBG	12	10	14
Total	38	34	

후경골동맥을 발견하지 못하였던 6마리는 혈관 문합에 실패한 것으로 간주하여 A2 군으로 분류하였다.

전 실험 가토의 우경골을 채취하여 10% formalin 용액에 고정한 후 탈회하여 H & E 염색을 시행하였다.

### III. 실험 결과

수술을 시행한 60마리의 가토중 17마리가 사망하였으며, 이들은 대부분 수술창의 감염이나 고정의 실패를 동반하였다. 다른 5마리는 사망하지는 않았으나 고정의 실패와 수술창의 감염으로 실험 대상에서 제외하였다. 이

상의 실험에 실패하였던 22마리를 제외한 총 38마리의 가토를 수술후 6주까지 추적 조사하여 그 성적을 분석하였다 (Tables. 2,3).

#### 가. 육안 및 조직학적 소견

채취한 이식골의 생존도를 측정하기 위하여 골피질과 골수 해면골에서 임의로 각각 네 부위를 선정하여 각 부위에서 40개의 골소강(lacuna)을 세어 이중 살아있는 골세포로 채워진 골소강 수를 계수하여 그 평균치를 백분율로 표시하였다 (Table 4).

A1 군에서는 부분적인 골생존을 (Fig. 5), B군에서는 완전한 골생존을 확인할 수 있었다 (Fig. 7). A2 군은 이식골 주위의 연부조직이 반흔조직으로 변해 주위 조직으로부터의 신생 혈관의 발육을 방해하여 거의 대부분의 골소강이 비어 있어 그 결과가 제일 불량하였다 (Fig. 6). C 군은 골막 신생골 형성과 creeping substitution이 비교적 활발하였으나 역시 많은 골소강이 비어 있었다 (Fig. 8).

#### 나. 방사선 소견

A 군의 3마리에 대하여 혈관 조영촬영을 시행하여 그 중 1마리에서 후경골동맥의 완전한 개존과 더불어 이식골의 골막과 골수강내에 조영제가 충만되는 소견을 관찰할 수 있었다 (Fig. 9).

단순 방사선 소견상 이식골 주변의 골막 신생골 형성은 사골이식에서 현저하게 관찰되었는데, 절골술을 시행했던 경우는 절골부위의 외가골 형성을 제외하고는 이식골 하단부의 골막반응은 현저하지 않았다. 사골이식과 혈관 문합에 실패한 생골이식에서 이식골의 흡수가 많았다.

#### 다. 골주사 소견

Computer tape에 보존된 모든 골주사 성적을 computer 화면에 재영상화하여 Fig. 10과 같이 양측 슬관절 부위의 방사능 섭취가 증가된 부위를 우측을 A, 좌측을 D로 표시하고 절골 부위는 B로, 전측의 같은장소를 E로, 이식골 부위는 C로, 전측의 같은 장소를 F로 각각 표시하여 이들 부위에서의 방사능 섭취량을 측정하였다. 측정 면적은 30~42 개의 cell을 Fig. 10과 같이 4각형 모양으로 구성하여 측정하였으며 각각(A, B, C)을 전측

**Fig. 5.** Histological sections from rabbit in Group A1 (H & E staining, x100 above, and x400 below). A living bone graft with patent anastomosis at 6 weeks, with near normal marrow and incompletely viable cortical bone.

**Fig. 6.** Histological sections from rabbit in Group A2 (H & E staining, x100 above, and x400 below). A living bone graft with failed anastomosis at 6 weeks, showing almost completely emptied lacunae in cortical bone and fibrous marrow.

(D, E, F)과 비교하여 그 비교치를 분석하였다 (Fig. 10

1) 양측 슬관절 부위의 방사능 섭취비 (Table 5).

수술을 시행한 우 슬관절 부위의 방사능 섭취는 각각 간에  $P>0.1$ 로서 유의한 차이 없이 전측에 비하여 증가하였다. 이러한 섭취비는 수술후 2주에 절정에 달했다가 완전히 감소하였으며 6주에도 아직 14%가 증가하였다.

**Fig. 7.** Histological sections from rabbit in Group B (H & E staining, x100 above, and x400 below). A distal fragment of tibia in the osteotomy group with completely viable bone marrow and cortical bone.

**Fig. 9.** Angiogram of a rabbit in Group A1, showing patent anastomosis of posterior tibial artery. Contrast dye filled in medullary cavity and periosteal vessels.

**Fig. 8.** Histological sections from rabbit in Group C (H & E staining, x100). A dead bone graft at 6 weeks, showing necrotic nonviable cortical bone with fibrous marrow. More active creeping substitution is also visible.

**Fig. 10.** Computer generated image of bone scan showing the counting method and counting areas.

A: Hot area of right(experimental) knee. D: Hot area of left(control) knee B: Osteotomy site E: Corresponding site in the contralateral tibia C: Central area in the grafted bone F: Corresponding area in the contralateral tibia.

**Table 5. Mean radionuclide count ratios in the knee (A/D\*)**

Group	Week							
	0	0.5	1	2	3	4	5	6
A1 LBG with patent anastomosis	1.10 ±0.07	1.17 0.10	1.23 0.06	1.28 0.07	1.21 0.03	1.20 0.07	1.16 0.06	1.13 0.05
A2 LBG with failed anastomosis	1.07 ±0.05	1.13 0.06	1.24 0.07	1.20 0.04	1.24 0.06	1.22 0.05	1.16 0.04	1.15 0.06
B Osteotomy	1.08 ±0.03	1.12 0.03	1.22 0.04	1.27 0.07	1.21 0.04	1.20 0.02	1.13 0.05	1.13 0.04
C DBG	1.11 ±0.04	1.17 0.05	1.25 0.05	1.29 0.05	1.24 0.05	1.22 0.04	1.17 0.03	1.16 0.04
Mean	1.09	1.15	1.22	1.29	1.22	1.21	1.16	1.14
S.D.†	±0.05	0.07	0.07	0.06	0.06	0.01	0.05	0.05

\* A/D: Radionuclide count in experimental knee/radionuclide count in control knee. †S.D.: Standard deviation.

**Table 6. Mean radionuclide count ratios at osteotomy site(B/E\*)**

Group	Week							
	0	0.5	1	2	3	4	5	6
A1 LBG with patent anastomosis	2.11 ±0.41	2.82 0.64	6.19 0.68	9.08 0.89	8.30 0.87	7.78 1.03	7.22 0.58	6.93 0.57
A2 LBG with failed anastomosis	2.03 ±0.26	2.85 0.67	5.90 1.21	8.96 0.95	8.12 0.86	7.41 0.64	6.87 1.17	6.30 1.05
B Osteotomy	2.38 ±0.58	3.02 0.36	6.60 1.12	9.80 1.19	8.83 0.86	8.17 0.73	7.72 0.83	7.21 0.98
C DBG	2.14 ±0.33	2.78 0.45	6.47 1.14	9.08 1.41	8.08 0.80	7.65 1.33	7.38 0.68	6.89 0.92
Mean	2.19	2.89	6.34	9.26	8.36	7.79	7.31	6.85
S.D.†	±0.45	0.53	1.10	1.20	0.90	1.03	0.90	0.93

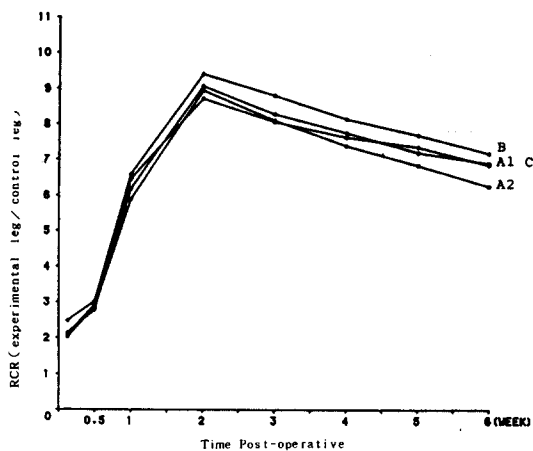
\* B/E: Radionuclide count at osteotomy site/radionuclide count at corresponding site in the contralateral tibia.

†S.D.: Standard deviation.

**Table 7. Mean radionuclide count ratios in grafted bone (C/F\*)**

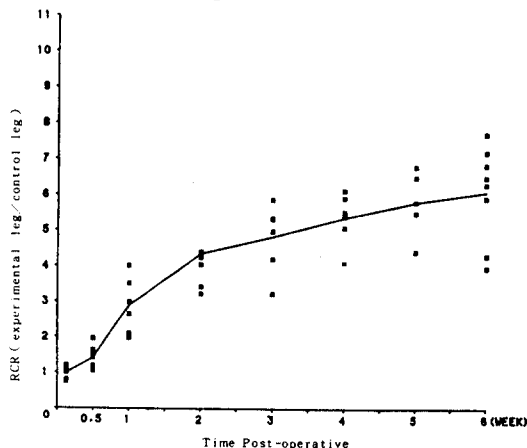
Group	Week							
	0	0.5	1	2	3	4	5	6
A1 LBG with patent anastomosis	0.99 ±0.15	1.41 0.30	2.89 0.68	4.35 1.06	4.82 0.87	5.36 0.65	5.81 0.83	6.06 1.27
A2 LBG with failed anastomosis	0.92 ±0.16	1.02 0.14	1.15 0.19	1.36 0.25	1.79 0.29	2.39 0.43	3.09 0.84	4.51 1.18
B Osteotomy	1.20 ±0.36	1.39 0.17	3.35 0.93	6.95 1.13	6.01 0.64	5.50 0.76	4.96 0.68	4.80 1.39
C DBG	0.80 ±0.24	0.92 0.21	1.23 0.27	1.98 0.65	2.46 0.72	3.66 0.72	4.75 0.59	5.70 1.40

\* C/F: Radionuclide count in grafted bone/radionuclide count at corresponding site in the contralateral tibia.

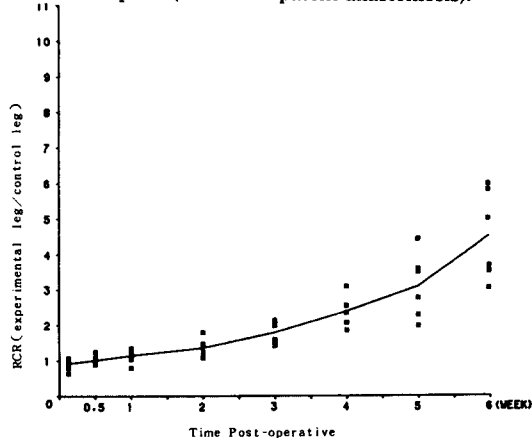


**Fig. 11.** Mean radionuclide count ratios (RCR) at osteotomy site (B/E\*)

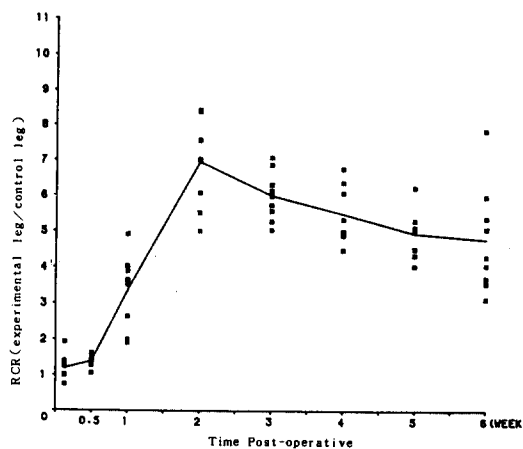
\*B/E: Radionuclide count at osteotomy site/radionuclide count at corresponding site in the contralateral tibia.



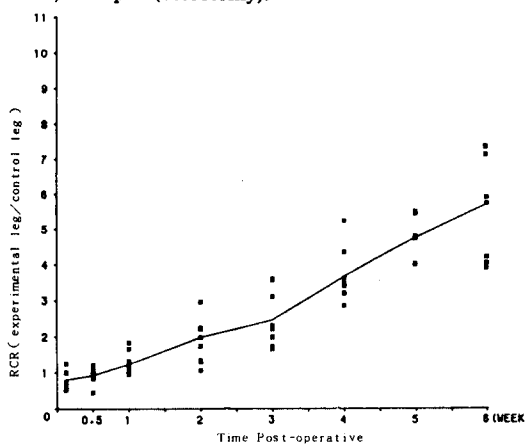
**Fig. 12.** Radionuclide count ratio(RCR) in grafted bone, Group A1 (LBG with patent anastomosis).



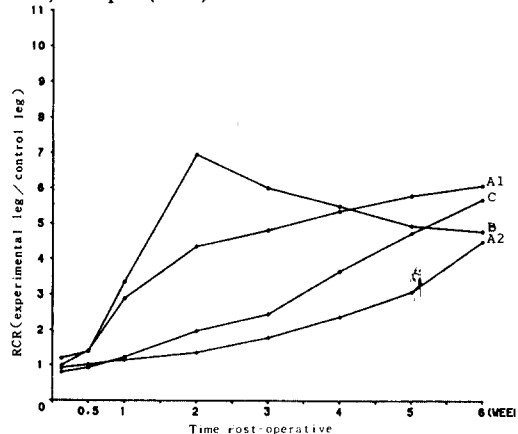
**Fig. 13.** Radionuclide count ratio(RCR) in grafted bone, Group A2 (LBG with faild anastomosis).



**Fig. 14.** Radionuclide count ratio(RCR) in grafted bone, Group B (osteotomy).



**Fig. 15.** Radionuclide count ratio(RCR) in grafted bone, Group C (DBG).



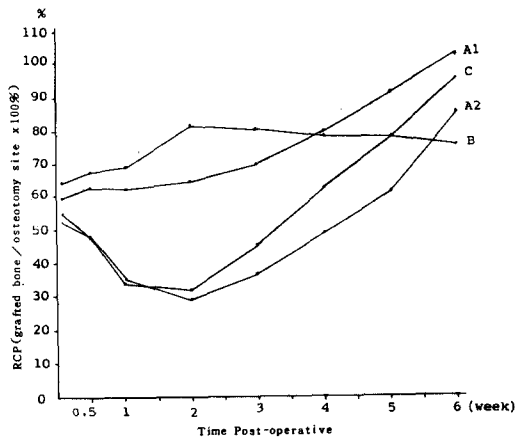
**Fig. 16.** Mean radionuclide count ratios (RCR) in grafted bone (C/F\*)

C/F: Radionuclide count in grafted bone/radionuclide count at corresponding site in the contralateral tibia.

**Table 8. Mean radionuclide count percentage of grafted bone to osteotomy site (C/B\* x100%)**

Group \ Week	0	0.5	1	2	3	4	5	6
A1 LBG with patent anastomosis	59.7 ±8.2	62.1 5.1	62.1 9.4	64.0 11.7	68.5 9.8	79.6 14.8	90.0 12.3	102.5 10.8
A2 LBG with failed anastomosis	54.1 ±15.6	48.2 13.3	35.3 11.9	29.0 10.1	36.3 10.4	48.0 7.8	60.5 8.9	84.2 7.5
B Osteotomy	64.0 ±13.8	67.4 11.9	68.6 10.1	82.2 8.3	80.6 7.6	78.7 6.5	77.4 5.6	75.2 10.5
C DBG	52.5 ±9.2	48.2 11.7	33.9 7.0	32.9 14.2	45.1 12.6	61.4 17.3	77.5 8.9	94.7 7.4

\* C/B: Radionuclide count in grafted bone/radionuclide count at osteotomy site



**Fig. 17. Mean radionuclide count percentage(RCP) of grafted bone to osteotomy site (C/B\* x100%)**

\*C/B: Radionuclide count in grafted bone/radionuclide count at osteotomy site.

## 2) 절골 부위의 방사능 섭취비 (Table 6).

각 군 간에  $P>0.05$ 로서 유의한 차이 없이 수술후 2주에 절정에 달했다가 6주까지는 서서히 감소하였다(Fig. 11).

## 3) 이식골에서의 방사능 섭취비 (Table 7).

A1군에서는 수술후 2주까지 방사능 섭취가 급격히 증가하였으나 그후 6주까지는 완만히 증가하는 경향을 보였다(Fig. 12). A2군에서는 수술후 6주까지 방사능 섭취가 완만하게 증가하였으나 그 섭취비는 제일 적었다(Fig. 13). B군은 수술후 2주까지 방사능 섭취가 급격히 증가한 후 6주까지 완만하게 감소하였고(Fig. 14), C군에서는 A2군과 비슷하게 수술후 6주까지 비교적 완만히 증가하였다(Fig. 15).

이를 종합하면 수술후 2주에 C군과 A2군 사이에는  $P>0.05$ 로서 유의한 차이가 없었으나, 이를 제외한 각

군간의 차이는  $P<0.002$ 로서 가장 심하였고, 수술후 6주에는 각 군간에  $P>0.05$ 로서 유의한 차이가 없었다(Fig. 16).

## 4) 절골 부위에 대한 이식골 부위의 방사능 섭취비 (Table 8).

절골 부위 숙주골의 방사능 섭취를 100으로 하였을 경우 이식골에서의 섭취를 백분율로 측정하여 비교하였다.

이 비교치는 사골이식과 혈관 문합에 실패한 생골이식의 경우에는 수술후 2주까지 감소하다가 그후 6주까지는 증가하였으며, 혈관 문합에 성공한 생골 이식에서는 6주까지 완만하게 증가하였다. 절골술을 시행한 군에서는 2주까지 증가하였다가 그후 완만히 감소하는 경향을 보여 그 비교치가 제일 적었다(Figs. 17, 18).

## IV. 고 안

1974년 Östrup과 Fredrickson<sup>29)</sup>, 그리고 1977년 Doi 등은 개의 늑골을 이용한 생골이식을 보고하면서 이식골의 완전한 생존을 위해서는 골막혈관과 함께 장관골의 혈액 공급에 중요한 역할을 하는 영양혈관이 꼭 소생되어야 한다고 주장하여 이러한 원칙이 임상에 적용되었다<sup>35)</sup>. 그러나 골막혈관과 영양혈관이 함께 부착된 상태로 늑골편을 채취하는 조작은 기술적인 어려움과 미세 박리에 많은 시간이 소모되므로, 어느덧 늑골편의 채취가 보다 용이하고 안전하며 혈관 유경의 길이도 길어져 임상 적용에 훨씬 편리한 골막혈관만을 보존한 생골이식이 막연히 사용되어왔다<sup>1, 7, 18, 24)</sup>.

생골이식에 있어 이식골의 생존을 위해서는 충분한 양의 혈류가 소생되어야 종래의 사골이식에서 볼 수 있었던 creeping substitution을 거치지 않고, 골절 유합과 같은 기전으로 숙주골에 유합되어 생골이식의 효과를 기대할 수 있다<sup>7, 18, 35, 36)</sup>.

Brookes<sup>5,6)</sup>는 장관골의 혈액 공급은 정상 상태에서는 주로 골수혈류에 의하여 압력이 높은 골수에서 골막쪽으로 원심 방향으로 혈류가 흐르게되나, 국소 빈혈의 상태에서는 이러한 혈류의 방향이 역으로 되어 구심 방향으로 흐른다고 하였다. Trueta와 Caladiaz<sup>42)</sup>, 그리고 다른 여러 저자들<sup>14, 15, 27, 32)</sup>은 골간부의 내측 2/3 골피질은 영양혈관에 의하여, 외측 1/3은 골막혈관에 의하여 혈액이 공급된다고 하였으며, Trueta 등<sup>42)</sup>은 영양혈관의 단순한 차단은 골세포의 생존에 아무 영향을 미치지 않는다고 하였다. 최근 Whiteside 등<sup>45)</sup>과 Berggren 등<sup>2)</sup>은 hydrogen washout technique을 이용하여 골수혈관이나 골막혈관은 골피질에 이중의 혈액 공급(dual blood

supply)을 하게되어 어느 한쪽만으로도 충분한 양의 혈류를 제공할 수 있음을 시사하였다. Trias와 Frey<sup>40)</sup>는 개의 대퇴골 피질에서 이러한 두 혈관계를 증명하고 골피질의 혈류는 생리적 여건에 따라 원심 또는 구심 방향으로 흐를 수 있음을 시사하였다. 이러한 실험적 연구를 배경으로 1982년 Berggren 등<sup>2)</sup>은 개의 늑골을 이용하여 골막혈류만이 보존된 생골이식에 의해서도 이식골이 완전히 생존할 수 있음을 증명하게되었다.

저자는 가토 경골 원위 1/3 부위에는 절골술을 시행하고 족관절 부위에서는 연부조직 박리에 의하여 영양동맥은 차단되고 모든 골막혈류는 보존된 군에서 수술후 6주에 조직학적 검사에 의하여 이식골의 완전한 생존을

Fig. 18. Sequential bone scintiscans of four different groups taken at 4 hours, 1,2,4 and 6 weeks, postoperatively

확인하였다. 그러나 골수 및 골막혈류를 모두 차단 하였다가 후경골동맥의 골막혈류만을 소생시킨 생골이식에서는 각 개체와 이식골의 부위에 따라 차이가 심하였으나 약 53%의 골세포가 생존해 있음을 확인하였다. 이는 1978년 Haw와 O'Brien등<sup>19)</sup>이 개의 경골 근위 골간관부에 골막혈관은 차단되고 영양혈관을 보존한 생골이식 실험에서 수술후 12주에 55%의 골소강이 살아있는 골세포로 채워져 있음을 보고한 것과 좋은 비교가 된다.

이러한 저자의 새로운 실험 모형은 이전의 생골이식에 대한 실험이 대부분 개에 시행되었으나 가토에서도 생골이식에 대한 실험이 가능하다는 것을 시사하는 것으로 생각된다.

골주사 촬영에는 <sup>99m</sup>Tc MDP가 가장 효과적인 방사선 핵종으로 알려져 널리 이용되고 있으나, 이러한 <sup>99m</sup>Tc 인산염 화합물의 골조직에서의 섭취 기전은 분명하지 않다. 이러한 방사선 핵종은 모세혈관 벽을 통하여 확산되어 빠져나가 수산화인회 결정체(hydroxyapatite crystal)의 표면에서 화학적 및 물리적 과정에 의하여 부착되는 화학적 흡착(chemisorption)에 의한다는 견해가 지배적이다<sup>11, 33, 34, 38)</sup>.

방사선 핵종의 골섭취는 크게 국소의 혈류량과 골의 대사속도(turnover rate)에 좌우되며 국소의 혈류량이 중요한 역할을 한다는 의견이 우세하다<sup>12, 21, 24, 25, 34)</sup>.

저자는 양측 슬관절 부위의 방사능 섭취를 비교한 결과 수술측의 방사능 섭취가 전측보다 증가하였으며, 이는 Hughes등<sup>21)</sup>과 Paradis등<sup>30)</sup>의 골절 부위뿐만 아니라 골절 부위보다 떨어진 곳에서도 방사능 섭취가 증가한다는 보고와 일치하였다. 그들은 이를 주로 국소의 혈류량의 증가에 의한 것으로 생각하였으나 저자의 경우에는 이외에 금속 내고정에 사용된 Kirschner강선의 자극에 의한 요인을 배제할 수 없을 것으로 생각되었다.

골주사는 골절의 치유 과정이나<sup>13, 16, 17)</sup>, 사골이식의 예후를<sup>10, 22, 23, 41)</sup> 판정하기 위한 목적에도 시도되었다. Kelly등<sup>22)</sup>은 절골술을 시행한 부위의 방사능 섭취는 수술후 2주에 정점에 달했다가 서서히 감소하나 32주까지도 전측에 비해 증가해 있었고, 이식골에서의 방사능 섭취는 절골 부위와는 달리 6주까지 서서히 증가하여 주위 숙주골의 섭취보다 많아지게 되고 그후 32주까지 6주 때와 비슷한 방사능 섭취가 유지됨을 관찰하였다. 저자의 경우에서도 절골 부위에서 Kelly등의 보고와 일치하는 시간 경과에 따른 섭취비의 변화를 6주까지 관찰할 수 있었다.

근래에 미세혈관 문합에 의하여 혈류를 소생시킨 생골이식의 생존도를 측정하기 위하여 골주사가 널리 이용되고 있으나, 그 신빙성에는 의심의 여지가 있었다<sup>1, 7)</sup>.

8, 9, 18, 19, 24, 43, 44). 대부분의 저자들<sup>1, 7, 9, 18, 19)</sup>은 3주부터 8개월 사이에 시행한 골주사에서 이식골의 방사능 섭취를 이식골의 생존으로, 나아가서는 문합 혈관의 개존으로 간주하였다. 그러나 사골이식에서도 Bos<sup>4)</sup>는 수술후 3주에, 다른 저자들<sup>2, 23)</sup>은 10일에서도 이식골의 방사능 섭취를 관찰하였다. 최근 Berggren등<sup>3)</sup>은 사골이식에서도 이식골 주변에 형성된 얇은 골막 신생골에 의하여 이식골의 방사능 섭취가 양성으로 나타날 수 있으므로 수술후 1주 이내에 골주사를 시행하여야 이식골의 생존과 문합 혈관의 개폐 여부를 측정할 수 있다고 하였다.

그러나 저자는 사골이식과 혈관 문합에 실패한 생골이식의 일부에서 수술후 4시간과 3일에 이식골 부위에서 일부 방사능 섭취를 관찰하였다. 이는 저자의 실험이 Berggren등의 것보다 주위 조직의 혈류량이 비교적 풍부한 장소에 시행되었고 수술에 의한 국소 손상이 커 혈종과 부종 등에 의한 수술창의 흡수가 원인으로 생각되었고, 그외에 생골이식에서는 아직 폐쇄되지 않은 혈관에 의한 섭취와 사골이식에서는 비교적 잘 보존된 골막에서의 섭취 및 골막의 혈류 증가가 원인으로 작용할 수 있을 것으로 생각되었다.

이식골에 혈류를 소생시킨 A1군과 B군에서는 수술후 2주까지 방사능 섭취가 현저하게 증가하였고 혈류가 차단된 A2군과 C군에서는 방사능 섭취가 현저하지 못한 것은 수술후 2주까지는 이식골에서의 방사능 섭취는 주로 이식골에 소생된 혈류량에 의한 것으로 생각되었다. 수술 2주이후는 각 군간의 방사능 섭취의 차이가 점차로 감소하여 6주에는 별 차이가 없게된 것은 이식골 주위 조직에서의 재생 과정이 진행되어 이로인한 혈류 및 골대사의 증가에 의한 것으로 생각되었다. 저자는 골주사와 혈류량 또는 이식골의 생존도 사이에는 이식술후 2주까지는 분명한 연관성이 있음을 알 수 있었으나 뚜렷한 상관관계는 본 실험 결과로서는 규명할 수 없었다.

숙주골에 대한 이식골에서의 방사능 섭취비는 생골인 A1군과 B군에서는 수술후 2주까지 증가하였으나 사골인 A2군과 C군에서는 감소하여 뚜렷한 대조를 이루어 이식골의 생존도 측정에 좋은 지표가 될 것으로 생각되었다.

저자는 이러한 소견을 종합하여 수술 직후나 수일내의 골주사 소견으로는 이식골의 방사능 골섭취가 각 군간의 차이가 적은 데다 위에 열거한 원인등으로 생긴 오차가 크게 작용할 수 있을 것으로 사료되었다. 따라서 각 군간의 차이가 현저한 수술후 2주가 골주사 촬영의 가장 적합한 시기로 생각되었다. 더구나 수술후 2주 이내에 2회 이상의 연속적인 골주사에 의한 정량적인 분석을 시행하면 가장 확실하고 믿을 만한 이식골의 생존도 및 문합 혈관의 개폐 여부를 평가하는 방법이 될 것으로 생각

되었다.

## V. 결 론

저자는 60마리의 가토를 이용하여 경골 원위 1/3 부위에 후경골동맥의 골막혈류만을 미세혈관 문합술에 의하여 소생시킨 생골이식을 시행한 A군, 경골 원위 1/3 부위에 절골술과 족관절에서는 연부조직 박리에 의하여 영양혈관은 차단되었으나 골막혈관은 완전히 보존된 B군, 그리고 동 부위에 사골이식을 시행한 C군 중 6주간의 추시가 가능했던 38마리의 육안 및 조직학적 소견, 방사선 소견과 골주사 소견을 비교 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 6주후에 이식골의 조직학적 검사에 의하여 미세혈관 문합에 성공한 생골이식 군에서는 이식골의 부분적인 생존을 관찰하였고, 절골술을 시행한 군에서는 이식골의 생존이 완전하였으며, 미세혈관 문합에 실패한 생골이식 군과 유리 사골이식 군에서는 이식골의 거의 대부분이 괴사되어 있었다.

2. 골주사에 의한 이식골의 방사능 섭취는 혈관 문합에 실패한 생골이식 군과 사골이식 군에서는 수술후 6주까지 완만한 증가를 보였고, 혈관 문합에 성공한 생골이식 군에서는 수술후 2주까지 급격히 증가하였으나 그후 6주까지는 완만히 증가하는 경향을 보였으며, 절골술을 시행한 군에서는 경골 원위 1/3 부위의 방사능 섭취가 수술후 2주까지 급격히 증가하였고 그후는 완만히 감소하는 경향을 보였다.

3. 수술후 6주의 이식골의 방사능 섭취는 각 군간에 유의한 차이가 없이 주위 숙주골의 섭취와 비슷하게 되어 이식골의 생존정도와는 무관하였다.

저자는 이상의 실험 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 생골 및 사골이식의 골주사에 의한 방사능 섭취는 이식술후 2주에서 가장 현저한 차이를 보였으며, 그 섭취량은 혈관 손상이 가장 적은 절골술을 시행한 경우에 가장 많았고, 다음으로 혈관 문합에 성공한 생골이식, 그리고 혈관 손상이 많은 사골이식과 혈관 문합에 실패한 생골이식의 순으로 적어졌다.

2. 이식골의 생존도 및 문합 혈관의 개폐 여부의 측정에는 골주사 촬영의 시기가 중요하며 이식술후 2주가 가장 적당하였다.

본 논문의 실험에 많은 도움을 주신 서울대학병원 정형외과 정문상 교수와 여러 전공의 선생님께 감사드립니다.

## REFERENCES

- 1) Ariyan, S. and Finseth, F.J.: *The Anterior Chest Approach for Obtaining Free Osteocutaneous Rib Grafts. Plast. and Reconstr. Surg.*, 62:676-685, 1978.
- 2) Berggren, A., Weiland, A.J., Ostrup, L.T. and Dorfman, H.: *Microvascular Free Bone Transfer with Revascularization of the Medullary and Periosteal Circulation or the Periosteal Circulation Alone. J. Bone and Joint Surg.*, 64-A: 73-87, 1982.
- 3) Berggren, A., Weiland, A.J. and Ostrup, L.T.: *Bone Scintigraphy in Evaluating the Viability of Composite Bone Grafts Revascularized by Microvascular Anastomoses, Conventional Autogenous Bone Grafts, and Free Non-Revascularized Periosteal Grafts. J. Bone and Joint Surg.*, 64-A: 799-809, 1982.
- 4) Bos, K.E.: *Bone Scintigraphy of Experimental Composite Bone Grafts Revascularized by Microvascular Anastomoses. Plast. and Reconstr. Surg.*, 64:353-360, 1979.
- 5) Brookes, M.: *The Vascular Reaction of Tubular Bone to Ischemia in General Occlusive Vascular Disease. J. Bone and Joint Surg.*, 42-B:110-125, 1960.
- 6) Brookes, M.: *The Blood Supply of Bone*, pp.6-91, London, Butterworth, 1971.
- 7) Buncke, H.J., Furnas, D.W., Gordon, L. and Achauer, B.M.: *Free Osteocutaneous Flap from a Rib to the Tibia. Plast. and Reconstr. Surg.*, 59:799-805, 1977.
- 8) Dee, P., Lambruschi, P.G. and Hibert, J.M.: *The Use of Tc-99m MDP Bone Scanning in the Study of Vascularized Bone Implants. J. Nucl. Med.*, 22:522-525, 1981.
- 9) Doi, K., Tominaga, S. and Shibata, T.: *Bone Grafts with Microvascular Anastomosis of Vascular Pedicles. An Experimental Study in Dogs. J. Bone and Joint Surg.*, 59-A: 809-815, 1977.
- 10) Elves, M.E.: *An Evaluation of the Use of Strontium 85 for the Assessment of Experimental Bone Graft. Acta Orthop. Scand.*, 45:641-651, 1974.
- 11) Francis, M.D., Russell, R.G. and Fleisch, H.: *Diphosphonate Inhibit Formation of Phosphate Crystals in Vitro and Pathological Calcification in Vivo. Science*, 165:1264-1266, 1969.
- 12) Garnett, E.S., Bowen, B.M., Coastes, G. and Nahias, C.: *An Analysis of Factors Which Influence the Local Accumulation of Bone Seeking*

- Radiopharmaceuticals. Invest. Radiol.*, 10:564-568, 1975.
- 13) Genant, H.K., Bautovich, G.J., Singh, M., Lathrop, K.A. and Harper, P.V.: *Bone-Seeking Radionuclides: An in Vivo Study of Factors Affecting Skeletal Uptake. Radiology*, 113:373-382, 1974.
  - 14) Göthman, L.: *The Normal Arterial Pattern of the Rabbit's Tibia. Acta Chir. Scandinav.*, 120:201-210, 1960.
  - 15) Göthman, L.: *The Arterial Pattern of the Rabbit's Tibia after the Application of Intramedullary Nail: A Microangiographic Study. Acta Chir. Scandinav.*, 120:211-219, 1960.
  - 16) Greiff, J.: *Bone Healing in Rabbits after Compression Osteosynthesis, Studied by Tc-99m (Sn) Polyphosphate Scintimetry and Autoradiography. J. Nucl. Med.*, 22:693-698, 1981.
  - 17) Gummerman, L.W., Fogel, S.R., Goodman, M.A., Hanley, Jr. E.N., Kappakas, G.S., Ruktowski, R. and Levine, G.: *Experimental Fracture Healing: Evaluation Using Radionuclide Bone Imaging: Concise Communication. J. Nucl. Med.*, 19:1320-1323, 1978.
  - 18) Harashina, T., Nakajima, H. and Imai, T.: *Reconstruction of Mandibular Defects with Revascularized Free Rib Grafts. Plast. and Reconstr. Surg.*, 62:514-522, 1978.
  - 19) Haw, C.S., O'Brien, M.B. and Kumata, T.: *The Microsurgical Revascularisation of Resected Segments of Tibia in the Dog. J. Bone and Joint Surg.*, 60-B:266-269, 1978.
  - 20) Huberty, J.P., Hattner, R.S. and Powell, M.R.: *A 99m-Tc Pyrophosphate Kite: A Convenient Economical and High-Quality Skeletal-Imaging Agent. J. Nucl. Med.*, 15:124-126, 1974.
  - 21) Hughes, S., Kahn, R., Davis, R. and Lavender, P.: *The Uptake by the Canine Tibia of the Bone Scanning Agent 99mTc-MDP before and after an Osteotomy. J. Bone and Joint Surg.*, 60-B:579-582, 1978.
  - 22) Kelly, J.F., Cagle, J.D., Stevenson, J.S. and Adler, G.J.: *Technetium-99m Radionuclide Bone Imaging for Evaluating Mandibular Osseous Allografts. J. Oral Surg.*, 33:11-17, 1975.
  - 23) Kelly J.F., Cagle, J.D., Adler, G.J. and Donovan, R.L.: *Sequential Quantitative Radionuclide Evaluation of Mandibular Bone Graft Repair. J. Dent. Res.*, 55:1111-1117, 1976.
  - 24) Ketchum, L.D., Masters, F.W. and Robinson, D.W.: *Mandibular Reconstruction Using a Composite Island Rib Flap. A Case Report. Plast. and Reconstr. Surg.*, 53:471-476, 1974.
  - 25) Lavender, J.P., Khan, R.A.A. and Hughes, S.P.E.: *Blood Flow and Tracer Uptake in Normal and Abnormal Canine Bone: Comparison with Sr-85 Microspheres, Kr-81m and Tc-99m MDP. J. Nucl. Med.*, 20:413-418, 1979.
  - 26) Morgan, J.D.: *Blood Supply of Growing Rabbit's Tibia. J. Bone and Joint Surg.*, 41-B:185-203, 1959.
  - 27) Nelson G.E., Kelly, P.J., Peterson, L.F.A. and Janes, J.M.: *Blood Supply of the Human Tibia. J. Bone and Joint Surg.*, 42-A:625-636, 1960.
  - 28) Olerud, S. and Lorenzi, G.L.: *Triple Fluorochrome Labeling in Formation and Bone Resorption. J. Bone and Joint Surg.*, 52-A:274-278, 1970.
  - 29) Östrup, L.T. and Fredrickson, J.M.: *Reconstruction of mandibular Defects after Radiation, Using a Free Living Bone Graft Transferred by Microvascular Anastomoses. Plast. and Reconstr. Surg.*, 55:563-572, 1975.
  - 30) Paradis, G.R. and Kelly, P.J.: *Blood Flow and Mineral Deposition in Canine Tibial Fractures. J. Bone and Joint Surg.*, 57-A:220-225, 1975.
  - 31) Puckett, G.R., Hurvitz, J.S., Metzler, M.H. and Silver, D.: *Bone Formation by Revascularized Periosteal and Bone Grafts, Compared with Traditional Bone Grafts. Plast. and Reconstr. Surg.*, 64:361-365, 1979.
  - 32) Rhinelander, F.W.: *The Normal Microcirculation of Diaphyseal Cortex and its Response to Fracture. J. Bone and Joint Surg.*, 50-A:785-800, 1968.
  - 33) Russell, R.G.G. and Flesich, H.: *Pyrophosphate and Diphosphonates in Skeletal Metabolism. Clin. Orthop.*, 108:241-263, 1975.
  - 34) Siegel, B.K., Donovan, R.L., Alderson, P.O. and Mack, G.R.: *Skeletal Uptake of 99m Tc-Diphosphonate in Relation to Local Bone Blood Flow. Radiology*. 120:121-123, 1976.
  - 35) Synder, C.C., Bateman, J.M., Davis, C.W. and Warden, G.D.: *Mandibulo-Facial Restoration with Live Osteocutaneous Flaps. Plast. and Reconstr. Surg.*, 45:14-19, 1970.
  - 36) Taylor, G.I., Miller, G.D.H. and Ham, F.J.: *The*

- Free Vascularized Bone Graft. A Clinical Extension of Microvascular Technique. Plast. and Reconstr. Surg.*, 55:533-544, 1975.
- 37) Taylor, G.I.: *Microvascular Free Bone Transfer. A Clinical Technique. Orthop. Clin. North America*, 8:425-447, 1977.
- 38) Tofe, A.J. and Francis, M.D.: *Optimization of the Ratio of Stannous Tin: Ethane-1-Hydroxy-1, 1-Diphosphonate for Bone Scanning with 99m Tc-Pertechnate. J. Nucl. Med.*, 15:69-74, 1974.
- 39) Treharne, R.W. and Brighton, C.T.: *The Use and the Possible Misuse of Tetracycline as a Vital Stain. Clin. Orthop.*, 140:240-245, 1979.
- 40) Trias, A. and Frey, A.: *Cortical Circulations of Long Bones. J. Bone and Joint Surg.*, 61-A:1052-1059, 1979.
- 41) Triplett, R.G., Kelly, J.F., Mendenhall, K.G. and Vieras, F.: *Quantitative Radionuclide Imaging for Early Determination of Fate of Mandibular Bone Grafts. J. Nucl. Med.*, 20:297-302, 1979.
- 42) Trueta, J. and Caladias, A.X.: *A Study of the Blood Supply of the Long Bones. Surg., Gynec. and Obstet.*, 118:485-498, 1964.
- 43) Velasco, J.H., Vega, A., Leisorek, A. and Callejas, F.: *The Early Detection of Free Bone Graft Viability with Technetium: A preliminary Report. British Journal of Plastic Surgery*, 29:344-346, 1976.
- 44) Weiland, A.J. and Daniel, R.K.: *Microvascular Anastomoses for Bone Grafts in the Treatment of Massive Defects in Bone. J. Bone and Joint Surg.*, 61-A:98-104, 1979.
- 45) Whiteside, R.A., Ogata, K., Lesker, P. and Reynolds, F.C.: *The Acute Effects of Periosteal Stripping and Medullary Reaming on Regional Blood Flow. Clin. Orthop.*, 131:266-272, 1978.
-