

정형외과 영역의 외상에서 골주사의 평가

서울대학교병원 정형외과학교실

이한구 · 이수용 · 이수호

= Abstract =

The Significance of Bone Scan in Trauma in Orthopaedic Field

Han Koo Lee, M.D., Soo Yong Lee, M.D. and Soo Ho Lee, M.D.

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

Clinical experience with ^{99m}Tc -methylenediphosphonate was presented in 115 patients with trauma, who were treated at Seoul University Hospital from Jan. 1980 to Dec. 1983.

The results were summarized as followings:

1. Bone scan exhibited increased uptake in all cases examined within 1 year of trauma and the frequency of scan positivity was diminished as the interval between trauma and the scan increased.
2. The possible factors associated with positive scans in cases more than 2 years after trauma were malunion and post-traumatic arthritis, but the age, general condition of the patient were not appeared to be significantly related to persistent positive scan.
3. Bone scan was thought to be sensitive enough to detect early stress fracture not accompanied by radiographic abnormality.
4. It seemed to be reasonable to judge that the fracture was old when the bone scan of vertebral compression fracture in the young age group was negative except very early stage of trauma.
5. Bone scan was very sensitive to find early post-traumatic avascular necrosis in femoral neck fracture when the roentgenographic finding was equivocal.

Key Words: Bone scan, Trauma

I. 서 론

골절등 외상에 있어서의 일차적인 검사는 방사선 검사이며 임상소견과 방사선검사에 의하여 일반적으로 진단이 가능하나 피로골절의 조기진단, 잠복 골손상 등은 방사선검사만으로는 확인이 어려우며, 보상문제 등이 관련된 척추골절의 진구성 여부 판정, 불유합의 치료경과 및 예후 측정등엔 골주사가 매우 예민한 검사법으로 최근 외상에서의 골주사의 이용이 점차 증가하는 추세이며 국내에서도 외상에서의 골주사의 이용가능성에 대해 발표된 바 있다^{1, 2, 3, 4}.

서울대학교병원 정형외과학교실에서는 이미 골종양⁵, 화농성 골수염 및 관절염⁶에서 골주사의 의의

본 논문은 1984년 서울대학교병원 특진연구비 보조로 이루어진 것임.

에 대해 보고한 바 있으며, 더 나아가 정형외과 영역에서 중요한 비중을 차지하는 외상에서의 골주사의 의의를 보기 위해 최근 약 4년간 외상후 이의 평가를 위해 골주사를 시행하였던 115례에서 그 결과를 분석하여 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

II. 대 상

서울대학교병원 정형외과에 1980년 1월부터 1983년 12월까지 만 4년간 내원 또는 입원하여 골주사를 시행했던 1024례중 분명한 외상의 병력이 있는 115례를 대상으로 했으며, 이에는 방사선상 뚜렷한 골절등의 소견이 있는 경우와 방사선상 음성이라도 병력 및 이학적 소견상 외상이 의심되는 환자를 포함시켰다. 병적 골절 및 선천성 가관절등이 확실한 예는 조사에서 제외하였다.

III. 방 법

골주사는 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ (Methylenediphosphonate)를 10~20 mCi 정맥주사하고 2~4시간 경과한 후 배뇨를 시키고 Ohio Nuclear 410 Gamma Camera로 전신골주사를 시행하였다. 통상 전면의 전신골격주사와 부위별로 두경부, 흉부 및 골반부의 전후면으로 촬영하였으며 의심스러운 부위는 사위면을 추가하거나 확대촬영하였다.

Table 1. Relative applications of bone scan in orthopaedic field (1980. 1—1983. 12)

Diagnosis	No. of patients(Percent)
Unexplained bone pain	212(20.7)
Arthritis	189(18.5)
Osteonecrosis	162(15.8)
Osteomyelitis	143
Acute	59(5.8)
Chronic	84(8.2)
Metastatic disease	127(12.4)
Trauma	115(11.2)
Primary bone tumors	64
Malignant	51(4.9)
Benign	13(1.3)
Failure of joint prosthesis	9(0.9)
Metabolic bone disease	3(0.3)
Total	1024(100.0)

Fig. 1. Bone scan 3 years after right trimalleolar fracture. Uptake is diffusely increased at right ankle joint.

Table 2. Categories of application of bone scan in trauma

Category	No. of patients(Percent)
Peripheral bone trauma	41(35.6)
Determination of age of vertebral compression fracture	50(43.5)
Stress fracture	8(7.0)
Post-traumatic avascular necrosis	11(9.0)
Non-union	5(4.3)
Total	115(100.0)

Table 3. Anatomic and temporal distribution of positive scan sites in peripheral bone trauma

Time post-trauma	Total Sites		Upper extremity or Hand	Lower extremity or Foot	Ribs	Clavicle	Hip	Shoulder	Total
< 6 mos.	8	+	2	4	0	1	1	0	8
		—	0	0	0	0	0	0	0
6 mos.—1 yr.	6	+	1	3	0	1	1	0	6
		—	0	0	0	0	0	0	0
1 yr.—1 $\frac{1}{2}$ yrs.	8	+	3	2	0	1	0	0	6
		—	0	1	0	0	0	1	2
1 $\frac{1}{2}$ yrs.—2 yrs.	5	+	1	2	1	0	0	0	4
		—	0	0	0	0	1	0	1
2 yrs.—5 yrs.	10	+	1	2	2	0	0	0	5
		—	1	3	0	1	0	0	5
> 5 yrs.	4	+	0	1	0	0	0	0	1
		—	1	1	0	1	0	0	3
Total	41	+	8	14	3	3	2	0	30
		—	2	5	0	2	1	1	11

+ : positive scan, — : negative scan

Table 4. Distributions and findings of stress fractures

Case	Age (Yrs.)	Location of fracture	X-ray	Bone scan	Bilaterality	Comments
1	15	Tibia	(-)	(+)	(-)	Volleyball player
2	23	Tibia	(-)	(+)	(+)	Jogger
3	19	Tibia	(-)	(+)	(+)	Jogger
4	14	Tibia	Cortical thickening	(+)	(-)	Ping-pong player
5	17	Femur neck	Medullary sclerosis	(+)	(-)	Basketball player Knowles pinning done
6	21	Distal femur	Periosteal new bone formation	(+)	(-)	Volleyball player
7	20	Lumber spine	Impending spondylolysis	(+)	(-)	Gymnast
8	45	Ribs	(-)	(+)	(+)	Golfer

Fig. 3. A. Suspicious defect in left pars interarticularis of the fifth lumbar vertebra is noted. **B** Bone scan exhibits focal uptake (arrow) on the left side of L5.

Fig. 2. Multiple focal lesions in adjacent ribs indicates a high probability of trauma.

IV. 결 과

1. 이용 빈도

정형외과에 내원 또는 입원하여 골주사를 시행한 총 1024례 중 골동통의 평가가 212례 (20.7%)로 가장 많았으며 관절염, 골괴사 순이었고 전이암의 진단 목적으로는 127례 (12.4%)에서 시행하였다. 외상에서의 이용은 115례 (11.5%)였다 (Table 1).

Fig. 4. A. Normal roentgenogram of tibia at the time of bone scan. **B.** Bone scan shows focal increased uptake in the middle part of the right tibia. **C.** Roentgenogram of tibia, showing cortical fracture line which appeared 3 months after the bone scan.

2. 외상에서의 이용범위

척추를 제외한 말초골격의 외상이 41례, 피로골절 8례, 척추압박골절의 진구성 판정 50례, 외상성 무혈성괴사 11례, 불유합 5례등이었다(Table 2).

3. 척추를 제외한 골격의 외상

수상후 1년 이내엔 전례에서, 1년에서 2년 사이에 13례중 10례(76.9%), 2년에서 5년 사이에 50%, 5년 이후엔 25%에서 양성을 보였으며 평균 양성율은 73.2%였다(Table 3).

2년 이상 지속적 양성을 보인 6례의 원인분석 결과 외상후 발생한 족관절염 1례(Fig. 1), 대퇴골 부정유합 1례였으며 나머지 4례에서는 분명한 원인을 찾기 힘들었다.

늑골병변 3례중 2례는 다발성 국소 병변이었으며 그중 1례는 근접한 병소를 보였다(Fig. 2).

4. 피로골절

8례의 피로골절은 경골에 4례로 가장 많았고, 대퇴경부, 대퇴골 원위부, 요추 및 늑골이 각각 1례씩이었다(Table 4). 4례에서는 골주사 시행당시 방사선상 전혀 비정상 소견이 없었으며, 요추부에 발생한 1례는 방사선상 제 5요추 좌측 관절간부

(pars interarticularis)에 결손부위가 있으나 뚜렷하지 않아 골주사를 실시한 예이다(Fig. 3). 경골에 발생한 1례(Fig.4)는 초기에 방사선상 음성이었으나 골주사상 나타났으며 3개월후 추시 방사선상 골절이 발견되어 확진되었다. 대퇴골 원위부에 발생한

Fig. 5. A. Roentgenogram exhibits exuberant periosteal new bone formation at distal part of femur in volleyball player. **B.** Bone scan also shows increased uptake.

Table 5. Temporal distribution of positive scan sites in vertebral compression fractures

Time Post-trauma	Total sites	Scan positive	Scan negative	Percent of positive scan
<6 mos.	12	12	0	100
6 mos. — 1 yr	16	16	0	100
1 yr. — 1 $\frac{1}{2}$ yrs.	8	6	2	75
1 $\frac{1}{2}$ yrs. — 2 yrs.	8	7	1	87.5
2 yrs. — 5 yrs.	5	1	4	20
>5 yrs.	1	0	1	0
Total	50	42	8	84

Table 6. Distributions and findings of bone scan in non-united fractures

Case	Age (Yrs.)	Location	Bone scan	Time Post-trauma	Management
1	53	Humerus	Increased uptake	11 months	Plate & screw with bone graft
2	29	Scaphoid	Increased uptake	19 months	Excision of proximal fragment
			in wrist joint	24 months	
3	67	Femur neck	Increased uptake	24 months	T. H. R. A.*
4	55	Femur neck	Increased uptake	13 months	T. H. R. A.
5	32	Femur shaft	Increased uptake	16 months	Plate & screw with bone graft
		S/P Küntscher nailing			& electrical stimulation

* T. H. R. A.: Total Hip Joint Replacement Arthroplasty

Fig. 6. A. Fractured scaphoid with avascular necrosis of the proximal fragment. **B.** Bone scan shows diffuse increased uptake in the left side of the joint due to traumatic arthritis.

Fig. 7. A. Femur neck fracture. **B.** Closed reduction & internal fixation with compression hip screw. **C.** Roentgenogram at the time of bone scan (post-op. 10 months) shows no definite evidence of avascular necrosis. **D.** Bone scan shows photon deficient area in the femoral head and increased uptake at the femoral neck.

1례(Fig. 5)는 방사선 소견 및 골주사가 모두 양성으로 나타났으며 배구선수로 지속적 운동을 했다는 병력이 진단에 도움이 되었다.

5. 척추 압박골절

수상 1년 이내는 전례에서, 수상 1년에서 2년 사이엔 81%, 수상 2년에서 5년 사이엔 20%에서 양성을 보였으며, 수상 초기에 실시한 경우는 1례

도 없어 수상초기에 음성으로 나타날 수도 있는 경우의 판별은 불가능하였다.

6. 불유합

불유합을 보인 5례 전례에서 방사선 동위원소의 골흡수증가를 보였으며, 골절부위에 골흡수 감소를 보인 예는 1례도 없었다(Table 6). 주상골에 발생한 1례에서는 외상성 관절염등으로 인해 완관절부

Table 7. Distributions and findings of bone scan in post-traumatic avascular necrosis

Case	Age (Yrs.)	Location	Bone scan	Time post-trauma	Comments
1	62	Femur neck	Decreased uptake	9 months	
2	74	Femur neck	Decreased uptake	13 months	
3	71	Femur neck	Increased uptake	3 months	
4	32	Femur neck	Decreased uptake	10 months	
5	26	Hip dislocation	(-)	5 days	C/R* 5 hours after trauma
6	34	Hip dislocation	(-)	4 months	C/R 10 hours after trauma
7	66	Proximal humerus fracture with shoulder dislocation	(-)	3 months	O/R & I/F**
8	50	Proximal humerus fracture with shoulder dislocation	(-)	5 months	C/R
9***	27	Scaphoid fracture	Increased uptake in wrist joint	19 months	
10	29	Lunate fracture	(-)	4 months	Cystic change in X-ray
11	8	Talus fracture	(-)	2 months	Sclerosis at talar dome

* C/R: Closed Reduction

** O/R & I/F: Open Reduction and Internal Fixation

*** This case is also included in non-united fracture in table 6

(-): No appreciable changes in bone scan

에 전반적인 증가를 보였다(Fig. 6).

7. 외상성 무혈성 괴사

대퇴경부 골절 후 6개월 이후에 실시한 골주사 3례는 모두 냉소로 무혈성 괴사의 소견을 보였으며(Fig. 7), 고관절 급성탈구후 즉시 도수정복을 시도했던 2례에서는 괴사의 증거가 없었다. 방사선상 무혈성 괴사가 의심되었던 월상골 및 거골의 골주사상 골흡수감소의 소견은 없었다(Table 7).

V. 고 안

1972년 Subramanian³⁰⁾ 등이 ^{99m}Tc-polyphosphate를 골주사에 처음 사용한 후 골주사의 획기적 발전이 이루어졌다. ^{99m}Tc는 감마에너지 강도가 140 KeV이고 반감기가 6시간정도로 골주사에 적합한 물리적 특성을 가지고 있으며, 그의 인산복합체는 우수한 생물학적 분포 및 약리학적 특성 때문에 방사선조사를 현저히 감소시키면서 해상력이 좋은 주사를 얻을 수 있다. 골주사에 사용되는 인산복합체로는 polyphosphate 외에 diphosphonate, pyrophosphate 등이 있으며 특히 diphosphonate는 결합 후 대사에 관여하는 효소가 작용하지 못하므로 현재까지 발견된 골주사제중 가장 우수한 것으로 알려져 있다^{9, 22, 31)}.

^{99m}Tc-인산복합체는 혈관을 통해 골병소로 운반된 후 골병변으로 인한 골의 보수과정에서 생기는 신생골에 섭취된다. 이 과정은 아직 정확히 밝혀지지 않았으나 hydroxyapatite crystal의 칼슘과 수산이온의 치환과 관련되어 친화력을 가지며¹³⁾ 미성숙 교원질섬유에도 섭취되는 것으로 알려져 있다²²⁾. 따라서 신생골 및 골재형성이 왕성한 곳에는 더나 높은 섭취율을 나타내는 동시에 다른 곳에 비해 혈류량이 많은 곳에도 역시 높은 섭취율을 보여 열소로 나타난다^{9, 15)}.

골절시 골주사는 골절직후 출혈 및 염증성 삼출액으로 연부조직 흡수증가를 보이며 육아조직이 형성되기 시작하면서 골흡수증가를 보이는데, Rosenthal²⁴⁾ 등은 골절 후 24시간 이내에 95%에서 골흡수증가를 보인다고 했으며, Kim²¹⁾, Matin²³⁾ 등도 수상후 3일이 경과해도 국소적 골흡수증가가 없으면 골절이 아니라고 판단해도 좋다고 했다. Muheim²⁶⁾ 등은 수상후 골흡수는 점차 증가해 3내지 7주에 최대흡수를 보인 후 몇 개월간 지속되다가 서서히 감소한다고 했고 Kim²¹⁾ 등은 수상 1년 이내에서의 양성율은 70%로 전체 양성율 26%보다 현저히 높았으며 2년 이상 지속적 양성소견을 보인 경우는 구조적 변형 및 외상성 관절염이 주원인이라고 했다. 또한 골주사에서 외상이 전이암과 구별되는 소견은 첫째 구조적 변형이 나타날 때, 둘째

다발성 늑골 병변이 수직으로 나타날 때, 셋째 비록 비외상성 관절염과 구별되지는 않으나¹⁴⁾ 외상성 관절염에서는 국소적으로 일측에 증가를 보이는 전이암과 달리 침범관절 양측에 골흡수증가를 보인다고 했다. 저자들의 경우도 1년 이내에서는 전례에서 양성을 보인 반면 2년에서 5년 사이엔 50%에서만 양성을 보여 시간 경과에 따른 양성을 저하가 보이거나 수상 초기에 실시한 예가 없어 수상 초기에 음성으로 나타날 수 있는 경우의 판정이 불가능하였다.

2년 이상 지속적 양성을 보인 6례는 전례에서 전혀 증상이 없었으며 연령, 환자상태등과는 특별한 관계를 발견할 수 없었고 외상성 관절염 및 부정유합에 의해 지속적 양성을 보인 경우가 각각 1례씩 있었다.

Wilcox³⁸⁾ 등은 정상골에 지나친 스트레스가 가해지면 초기에 골흡수가 생긴 후 골아세포에 의한 보충이 생기는 과정에서 골흡수가 보충능력을 능가해 약해진 상태에서 지속적 무리가 가해지면 피로골절이 생긴다고 했다. Geslien¹⁹⁾ 등은 이러한 피로골절은 초기에 방사선상 뚜렷한 변화가 없으며, 치유기에 골수강내 석회화(intramedullary sclerosis) 또는 골막하 신생골형성등이 나타나야 확진이 되는데 200명의 신병에서 훈련시작 2~4주 사이에 골주사가 양성인 시기에 방사선소견은 60%에서 음성이라고 했으며 Sweet²²⁾ 등도 피로골절 발생 후 방사선상 소견이 나타나기까지 평균 2~3주로 초기에 방사선검사는 가음성률(false negative)이 높음을 강조하였다. Genant¹⁵⁾ 등은 반복적 스트레스가 가해져도 반드시 골절이 생기는 것은 아니며 운동량을 줄이고 휴식을 취하면 약해진 골의 재모형이 강화되어 방사선상 음성이며 단지 골주사만 양성으로 나타난다고 하여 골주사가 높은 민감도(sensitivity)에 반해 특이도(specificity)가 낮음을 강조하여 반드시 추후 방사선 촬영에 의한 확진이 필요하다고 했다. 저자들의 경우 8례 중 4례는 골주사 양성인 시기에 방사선상 음성이었으며 이중 1례는 그후 방사선촬영으로 확진되었다. 또한 2례에서는 초기 방사선 소견상 극미한 변화만을 보여 조기발견에 의한 치료로 전위성 골절등의 합병증을 미연에 방지한 예였다.

골주사는 골절의 진구성 판정에 도움을 주며 특히 보상문제 등이 관련된 척추 압박골절에서 특히 중요한 검사법이다. Alffram⁹⁾은 척추 압박골절에서 수상후 6개월 이내에 전례에서, 6개월에서 18개월 사이엔 50%에서, 18개월 이후엔 18례 중 단 1례에서만 골흡수증가를 보였다고 했다. 저자들의 경우도 수상 1년 이내에 전례에서, 2년 이후엔 6

례 중 1례에서만 경도의 증가를 보여 단 저자들의 보고와 일치했으며, 최소한 골주사가 음성인 경우 2년 이상 경과된 진구성 골절로 판단해도 좋을 것으로 사료된다. 그러나 Fordham¹⁴⁾은 이러한 압박골절의 진구성 여부 판정에 골조종증을 고려해야 한다고 했다. 즉 골조종증으로 인해 비정상적으로 약해진 골은 가벼운 외상으로도 골절이 되며 골주사상 골흡수증가 기간이 짧아진다고 했다. 따라서 골조종증인 심한 노년층에서는 6개월 이후엔 음성으로 나타날 수 있으므로 판정에 주의를 요한다고 했다. 저자들의 경우는 모두 감정의뢰된 젊은 연령층으로 이 점은 큰 문제가 되지 않았고, 압박 정도와 골흡수증가 기간과는 특별한 관계를 찾아볼 수 없었다.

자연유합 또는 불유합에서의 골주사의 의의는 논란이 많다. 즉 Bauer¹⁰⁾, Johannsen¹⁸⁾ 등은 치유중인 골절과 궁극적으로 불유합이 예상되는 골절사이에 차가 없다고 했으며, Gumerman¹⁷⁾, Muheim²⁶⁾, Alavi⁷⁾ 등은 차가 있다고 했다. Desai¹²⁾ 등은 77례의 불유합 골절에서 술전 골주사에서 골절부위에 골흡수증가를 보이는 군에서는 전기자극만에 의한 양호군이 95%인데 반해 골흡수감소 부위가 있고 그 주위에 흡수증가를 보인 군에서는 전례에서 불량군으로 골주사는 전기자극 시행 전에 적응이 되는 환자의 선발에 중요한 초기자료가 된다고 했다. Gumerman¹⁷⁾ 등은 동물실험에서 불유합군에서도 80%에서는 골흡수증가를 보여 정상 또는 자연유합과 불유합을 골주사만으로 감별하기는 불가능하다고 했다. 저자들의 경우는 전기자극 시행전에 골주사를 시행한 1례에서 골흡수증가를 보였는데 골이식 및 전기자극 시행 6개월 만에 전고한 골유합을 보였다.

대퇴경부 골절시 대퇴골두의 무혈성 괴사 여부를 Tucker³³⁾와 Boyd¹¹⁾는 ³²P, 김¹⁾ 등은 ⁴⁵Sr, Meyers²⁵⁾ 등은 ^{99m}Tc-sulphur colloid를 사용하여 초기에 판정할 수 있다고 했으며, Turner³⁴⁾는 ^{99m}Tc-antimony colloid에 의한 골주수사(bone marrow scan)로 수상 48시간 이내에도 정확히 무혈성괴사에 대한 예후를 평가할 수 있다고 했다. 저자들의 경우엔 대퇴경부 골절 중 방사선 소견상 정상으로 보이는 1례에서 골주사 시행 결과 뚜렷한 대퇴골두의 냉소를 보여 합병증을 조기발견할 수 있었으며, 급성 고관절 탈구에서 수상 즉시 도수정복을 시행한 2례에서 수상 10일 이내에 시행한 골주사상 모두 골흡수증가를 보였으나 수상초기에 연부조직 손상에 의한 증가와 중복되어 판정이 힘들 것으로 사료된다.

IV. 결 론

1980년 1월부터 1983년 12월까지 만 4년간 외상 후 이의 평가를 위해 골주사를 시행했던 115례에 대한 임상적 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 골주사는 수상 1년 이내엔 전례에서 양성이었으며, 그후 시간 경과에 따라 골흡수가 서서히 감소했다.

2. 2년이상 지속적으로 골흡수증가를 보인 경우 연령, 환자의 전신상태등과 특별한 관계는 없었으며, 부정유합 및 외상성 관절염이 원인의 하나로 사료되었다.

3. 골주사는 방사선상 소견이 나타나지 않는 피로골절의 조기 진단에 매우 민감한 검사법으로 사료되었다.

4. 젊은 연령군의 척추 압박골절에서 골주사가 음성인 경우 수상 극초기를 제외하면 2년이상 경과된 진구성 골절로 판단해도 좋을 것으로 사료된다.

5. 대퇴경부 골절시 방사선상 대퇴골두의 활성도가 애매한 경우 골주사는 무혈성괴사의 진단에 도움이 되었다.

REFERENCES

- 1) 김윤수 · 김익동 · 김홍태 · 김준 · 강창수 : *Strontium-85*를 사용한 *Bone scanning*의 임상적 가치에 관한 연구. 대한정형외과학회지, 6:385-391, 1971.
- 2) 박병문 · 장준섭 · 송승근 : *Tc-99m-MDP (Medronate)*를 이용한 골절환의 조기진단에 관한 임상적 연구. 대한정형외과학회지, 18:196-208, 1983.
- 3) 유명철 · 장성근 · 황윤권 : 경골골절치유 경과에 따른 골 스캔변화. 대한정형외과학회지, 19:492-500, 1984.
- 4) 이한구 · 한태륜 · 장관환 : 골종양 진단에서 골주사의 의의. 대한정형외과학회지, 16:873-881, 1981.
- 5) 이한구 · 성상철 · 장관환 · 김희중 : 화농성 골수염 및 관절염에서 골주사의 의의. 대한정형외과학회지, 17:791-797, 1982.
- 6) 정인희 · 한수봉 · Shaw, J. C., 손성근 · 남궁선 : 전신 골 스캔의 임상적 응용. 대한정형외과학회지, 14:147-157, 1979.
- 7) Alavi, A., Desai, A., Esterhai, J. Brighton, C., Dalinka, M.: *Bone Scanning in the Evaluation of Non-united Fractures. J. Nucl. Med.*, 20:647(abstract), 1979.
- 8) Alffram, P.A., Lindberg, L.: *External Counting of ⁸⁵Sr in Vertebral Fractures. J. Bone Joint Surg.*, 50-A:563-569, 1968.
- 9) Alun, G.J., Francis, M.D., Davis, M.A.: *Bone Scanning: Radionuclidic Reaction Mechanism. Semin. Nucl. Med.*, 6:3-18, 1976.
- 10) Bauer, G., Weber, D.A., Leif, C., Lennart, D., Niels, E., and Bjorn, S.: *Dynamics of Technetium-99m Methylene diphosphonate Imaging of the Femoral Head after Hip Fracture. Clin. Orthop.*, 152:85-92, 1980.
- 11) Boyd, H.B., Calanduccio, R.A.: *Further Observations on the Use of Radioactive Phosphorus (³²P) to Determine the Viability of the Head of the Femur. Correlation of Clinical and Experimental Data in 130 Patients with Fractures of the Femoral Neck. J. Bone Joint Surg.*, 44-A:445-460, 1963.
- 12) Desai, A., Alavi, A., Dalinka, M., Brighton, C. and Esterhai, T.: *Role of Bone Scintigraphy in the Evaluation and Treatment of Non-united Fractures: Concise Communication. J. Nucl. Med.*, 21:931-934, 1980.
- 13) Fleish, H., Russel, R.G.G. and Francis, M.D.: *Diphosphonates Inhibit Hydroxyapatite Dissolution in Vitro and Bone Resorption in Tissue Culture and in Vivo. Science*, 165:1262-1264, 1969.
- 14) Fordham, E.W., Ramachandran, P.C.: *Radionuclide Imaging of Osseous Trauma. Sem Nucl. Med.*, 4:411-429, 1974.
- 15) Genant, H.K.: *Bone-Seeking Radionuclides: An in Vivo Study of Factors Affecting Skeletal Uptake. Radiology*, 113:373, 1974.
- 16) Geslien, G.E., Thrall, J.H., Espinosa, J. L. and Older, R.A.: *Early Detection of Stress Fractures using ^{99m}Tc-Polyphosphate. Radiology*, 121:683, 1976.
- 17) Gumerman, L.W., Fogel, S.R., Goodman, M. A., et al.: *Experimental Fracture Healing: Evaluation using Radionuclide Bone Imaging. J. Nucl. Med.*, 19:1320-1323, 1978.
- 18) Johannsen, A.: *Fracture Healing Controlled by ^{87m}Sr uptake. Acta. Orop. Scand.* 44:628-

- 639, 1973.
- 19) Johnson, L., Stradford, H., et al.: *Histogenesis of Stress Fractures. J. Bone Joint Surg.*, 45-A: 542, 1963.
 - 20) Kaye, M., Silverton, S. and Rosenthal, L.L.: *Technetium-99m-Pyrophosphate: Studies in Vivo and in Vitro. J. Nucl. Med.*, 16: 40-45, 1975.
 - 21) Kim, H.R., Thrall, J.H., Keys, J.W.: *Skeletal Scintigraphy Following Incidental Trauma. Radiology* 130: 447-451, 1979.
 - 22) Kirchner, P.T. and Simon, M.A.: *Radioisotope Evaluation of Skeletal Disease. J. Bone and Joint Surg.*, 63-A: 673-681, 1981.
 - 23) Matin, P.: *Appearance of Bone Scans Following Fracture: Including Immediate and Long-Term Studies. J. Nucl. Med.*, 20: 1227-1231, 1979.
 - 24) Matin, P.: *Bone Scintigraphy in the Diagnosis and Management of Traumatic Injury. sem-in. Nucl. Med.*, 13: 104-122, 1983.
 - 25) Meyers, M.H., Telfer, N. and Moore, T. M.: *Determination of the Vascularity of the Femoral Head with Technetium 99m- Sulphur-Colloid. J. Bone Joint Surg.*, 59-A: 658- 664, 1977.
 - 26) Muheim, G.: *Assessment of Fracture Healing by Serial 87m Strontium-Scintimetry. Acta Orthop. Scand.*, 44: 621-627, 1973.
 - 27) Rosenthal, L. and Kaye, M.: *Technetium-99m-Pyrophosphate Kinetics and Imaging in Metabolic Bone Disease. J. Nucl. Med.*, 16: 33-39, 1975.
 - 28) Rosenthal, Leonard., Hill, R.O. and Chuang, Sylvesten: *Observation on the Use of ^{99m}Tc-Phosphate Imaging in Peripheral Bone Trauma. Radiology*, 199: 637-641, 1976.
 - 29) Stevenson, J.S., Bright, R.W., Dunson, G. L.: *Technetium-99m Phosphate Bone Imaging: a Method for Assessing Bone Graft Healing. Radiology*, 100: 391-394, 1974.
 - 30) Subramanian, G., McAfee, J.G., Bell, E.C., et al.: *^{99m}Tc Labeled Polyphosphate as a Skeletal Imaging Agent. Radiology*, 102: 701, 1972.
 - 31) Subramanian, G., McAfee, J.G., Blair, R. J., Kallfelz, F.A. and Thomas, F.D.: *Technetium-99m-Methylene diphosphonate- A Superior Agent for Skeletal Imaging: Comparison with Other Technetium Complexes. J. Nucl. Med.*, 16: 744-755, 1975.
 - 32) Sweet, D.: *RPC of the Month. Radiology* 99: 687-693, 1971.
 - 33) Tucker, F.R.: *The use of Radioactive Phosphorus in the Diagnosis of Avascular Necrosis of the Femoral Head. J. Bone and Joint Surg.*, 32-B: 100-107, 1950.
 - 34) Turner, J.H.: *Post-Traumatic Avascular Necrosis of the Femoral Head Predicted by Preoperative Technetium-99m Antimony-Colloid Scan. An Experimental and Clinical Study. J. Bone Joint Surg.*, 65-A: 786-797, 1983.
 - 35) Wilcox, J.R., Moniot, A.I.: *Bone Scanning in the Evaluation of Exercise-Related Stress Injuries. Radiology*, 123: 699-703, 1977.