

대퇴골두괴사의 자기공명영상 (진단적 가치 및 조직학적 비교)

계명대학교 의과대학 정형외과학교실

강창수 · 민병우 · 이승하 · 황석영

— Abstract —

MRI of Osteonecrosis of the Femoral Head : Diagnostic Value and Histologic Correlation

Chang Soo Kang, M.D., Byung Woo Min, M.D.,
Sung Ha Lee, M.D., Suk Young Hwang, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, School of Medicine, Keimyung University,
Taegu, Korea*

Osteonecrosis of the femoral head is an unsolved problem in the orthopaedic field, requiring eventual replacement surgery. But Ficat reported that early lesions such as stage 0, I and II lesions are reversible with adequate treatment. Therefore early diagnosis is the most important factor in obtaining the best results. Ninety-five consecutive patients with osteonecrosis of the femoral head were checked with MR imaging from 1989 to 1992, and the results were compared to those of conventional radiographs and bone scans. In five cases MR imaging and histologic sections were performed on the femoral head obtained from surgery, and we compared the MR findings with those of histologic sections.

The conclusions are as follows :

1. Of the 95 patients with osteonecrosis of the femoral head, 88 cases were male, 7 cases were female, 23 cases were unilateral and 72 cases had bilateral hip involvement. The average age was 45.5 years.
2. Thirty-one hip at radionuclide imaging appeared normal when MR results distinctly abnormal. Therefore MR imaging is an excellent technique in detecting early osteonecrosis of the femoral head.
3. MR imaging provides an analysis in the extended volume and the anatomical location

※ 이 논문은 1990년 동산의료원 특수과제비로 이루어졌음.

※ 본 논문의 요지는 제 36차 대한정형외과 추계 학술대회에서 구연한 논문임.

in three dimensions, then the biopsy site was accurately localized during core biopsy. The histological changes associated with osteonecrosis correspond very well with MR imaging.

MR imaging is a sensitive technique for evaluating the effect of the head saving procedure such as core decompression.

Key Words : Osteonecrosis, Femoral head, MRI

서 론

성인 대퇴골두괴사는 그 발생기전이 명확히 규명되어 있지 않지만 매년 증가 추세에 있다. 대개의 경우 상당히 진행된 후에 진단이 되므로 치료선택의 폭이 좁으며 조기 병변의 경우 증상이 없거나 방사선 소견 및 골주사 소견상 정상인 경우가 많아 진단과 치료의 어려움이 많다. 자기공명영상은 높은 감수성과 해부학적 묘사의 우수성 때문에 대퇴골두의 조기 진단에 가장 감수성 있는 영상이라고 보고되었다^{1,3,11,27,32)}. 최근 조기병변의 위치와 크기에 따른 치료의 선택 및 술후 효과판정 등에 자기공명영상의 이용이 증가하고 있다^{7,9,21)}.

이에 저자들은 단순 방사선 검사, 동위원소 골주사 및 자기공명영상을 이용하여 골두괴사 단계에 따른 영상을 비교 검토하고 조직학적 상관관계에 대해서 조사하였다.

대상 및 방법

1989년 11월부터 1992년 6월까지 계명의대 동산의료원에 내원하였던 대퇴골두괴사 환자 95명(남자 88례, 여자 7례) 165 고관절에 대하여 단순 방사선 검사, 동위원소 골주사 및 자기공명영상을 시행하였다. 연령 분포는 17세에서 69세(평균 45.5세)이며 대퇴골두괴사가 양측성인 경우는 이미 인공관절치환술을 시행한 2례를 포함하여 72명(75.8%)이며 편측성인 경우는 23명(24.2%)이었다. 원인별로는 뚜렷한 위험 인자를 발견할 수 없는 경우가 가장 많은 44명(46.3%)이었고, 6개월 이상 스테로이드를 장기복용한 경우가 13명(13.

7%), 10년 이상 지속적인 음주력이 있는 경우가 38명(40.0%)이었다. 단순 방사선 소견은 Ficat와 Arlet의 분류법¹³⁾을 사용하였으며 이때 전 환자에서 단순 방사선 촬영 후 2주 이내에 골주사검사와 자기공명영상을 시행하였다.

골주사 영상은 Tc 99-m methylene diphosphonate 주사후 골반의 전후 양사면상을 얻었으며 대퇴골두에 있어서의 동위원소 흡착의 감소 혹은 정상보다 증가된 경우를 모두 양성으로 하였다. 자기공명영상은 초전도체(superc conductive) 2.0 Tesla Gold star Spectro-2000을 이용하여 spin echo 방법으로 하였다. T1-weighted image(이하 T1WI)는 short TR(300–600 msec)와 short TE(30 msec)로, T2-weighted image(이하 T2WI)는 long TR(2000 msec)와 long TE(80–60 msec)를 이용하여 관상면, 시상면과 축면으로 단층 영상을 제작하였다. 이때 절편의 두께/캡은 5–8mm/2mm, Matrix수는 256×(320–360)으로 하였다. 자기공명영상의 분석은 Mitchell 등의 분류^{23), 28,29)}와 Gillespy 등¹⁴⁾의 분류를 이용하였다.

인공관절치환술 후 얻어진 5례의 대퇴골두 표본에 대해서는 6시간 이내에 5mm/2mm 관상면의 자기공명영상을 얻은 후 중앙 관상면을 따라 5mm 두께로 절단하였다. 각 절편에 대하여 단순 방사선 촬영후에 조직학적 관찰을 시행하였다 (Fig. 5). 또한 핵심감압술 시행한 1례에 대해 술전, 후 자기공명영상을 비교하였다(Fig. 6).

결과 및 분석

단순 방사선 소견상 정상인 경우(Stage 0-I)는 34례(20.6%), 제 2단계(Stage II)는 56례(33.9%), 제 3–4단계(Stage III, IV)는 75례(45.5%)

였다. Stage 0- I 인 34례 중 MR class A(Fig. 1) 가 27례(79.4%), class B(Fig. 2)가 2례(5.9%), class C(Fig. 3)가 2례(5.9%), 그리고 class D(Fig. 4)가 3례(8.8%)였다. Stage III, IV 75례 중 66례(88.0%)에서 MR class D였다(Table 1).

골주사 소견상 정상이나 자기공명영상에서 이상 소견을 보인 31례중 MR class A가 21례(67.7%), class B가 3례(9.7%), class C가 1례(3.2%) 그리고 class D가 6례(19.4%)로 MR class

Table 1. MRI & Radiologic Staging

MRI intensity Class	Radiologic Stage			
	0(n=18)	I (n=16)	II (n=56)	III-IV(n=75)
A(n= 57)	14	13	24	6
B(n= 12)	1	1	8	2
C(n= 3)	1	1	0	1
D(n= 93)	2	1	24	66
Total(n=165)	18	16	56	75

p<0.01 by χ^2 -test

Fig. 1. MRI class A AVN in the right hip in a patient with biopsy-proved AVN. **A)** The roentgenographic finding shows no evidence of necrosis in the right femoral head. **B)** The radionuclide bone scan shows slightly decreased photon uptake in the right femoral head. **C)** Coronal T1-weighted image (500/30 msec) shows a band of low signal intensity surrounding the lesion of high signal, which is isointense with fat. **D)** In this T2-weighted image (2000/60 msec), the lesion shows intermediate signal intensity.

Fig. 2. Asymptomatic MRI class B AVN in the right hip in a patient with core biopsy-proved AVN. A) The roentgenographic finding shows normal femoral head. B) The radionuclide bone scan shows normal trace activity in the right femoral head. C) Coronal T1-weighted image (600/30 msec) shows a low signal ring surrounding a small lesion in the right femoral head. The lesion has high signal intensity. D) The T2-weighted image (2000/60 msec) shows that the lesion is still of high signal intensity.

A인 경우가 가장 많았다(Table 2). 한병소 내에 여러 class가 혼재된 경우가 30례(18.2%)이었고 병소 전체의 MR class는 병소내에 나타난 MR class들 중 가장 높은 것으로 하였다.

Gillespy 등¹⁴⁾의 분류에 따르면 불균질성 양상(inhomogeneous pattern)이 124례(75.2%)로 가장 많았으며 균질성 양상(homogeneous pattern)이 34례(20.6%), 윤상형(ring pattern)이 7례(4.2%)였으며 환형(band pattern)은 없었다(Fig. 4).

대퇴골두 표본 5개중 MR class D가 4례였고 나

머지 1례는 class A였다(Table 3). 조직학적으로

Table 2. Correlation of MR imaging and radionuclide studies

Class	MR intensity		Bone Scan	
	Negative	Positive		
A(n=57)	21	36		
B(n=12)	3	9		
C(n= 3)	1	2		
C(n=93)	6	87		

Table 3. Osteonecrotic Femoral Head Specimens Evaluated by MRI

No. of case	Etiology	Radiologic stage	MRI class	MRI pattern
1	alcoholic	III	A	inhomogeneous
2	alcoholic	III	D	inhomogeneous
3	alcoholic	III	D	inhomogeneous
4	steroid	IV	D	inhomogeneous
5	idiopathic	II	D	inhomogeneous

Fig. 3. MRI class C AVN of the right hip in a 25-year-old man with a core biopsy-proved lesion. **A)** AP radiography of the right hip. The right femoral head shows stage IV necrosis with a loss of normal femoral head sphericity and narrowing of joint space. **B)** The radionuclide bone scan show increased isotope uptake in the right femoral head. **C)** Coronal T1WI (500/30 msec) shows decreased signal intensity at the weight bearing portion of the right femoral head. **D)** There are multiple areas of high signal intensity surrounds by low-intensity rim in the T2WI

Fig. 4. A 33-year-old alcoholic man with right hip pain. **A)** AP roentgenogram showing Ficat stage III involvement in the right hip. **B)** The radionuclide bone scan shows increased uptake of the nuclide. **C)** Midcoronal MRI (TR/TE=500/30 msec) showing homogeneous signal loss in the epiphysis. **D)** Midcoronal MRI (TR/TE=2000/60 msec) shows low-signal intensity at the weight bearing area of the right femoral head. The MRI class was D.

광학 현미경상 (1) 정상 골조직과 골수, (2) 괴사 골조직과 골수, (3) 비후된 골소주, (4) 간엽성 조직, (5) 섬유조직, (6) 무정형성 괴사물, (7) 관절연골, (8) 관절하 골절 등으로 보이는데 자기공명영상상 저음영의 띠는 비후된 골소주, 간엽성 조직, 섬유성 조직 및 무정형성 괴사물로 구성되며 띠안쪽의 고신호 강도부위는 주로 괴사 골로 이루어져 있었다(Fig. 5).

핵심 감압술 시행한 1례는 술전 MR class C와 D가 혼합되어 골두 전체의 75%를 차지하였으나

술후 1년째 MRI상 많은 부분이 MR class C로 변하였고 범위도 50%로 축소되었다(Fig. 6).

고 찰

비외상성 대퇴골두괴사의 발생기전은 명확히 규명되어 있지 않지만 일단 발병하면 골두의 봉괴와 고관절의 퇴행성 골관절염을 초래하게 된다. 따라서 대퇴골두 괴사의 조기 진단은 골두 보존을 위한 치료에 있어서 필수적이다^{10,13,14,15)}. 조

Fig. 5. Alcohol-induced AVN of the femoral head in a 41-year-old man. **A)** AP roentgenogram of the right hip shows collapsed femoral head (Ficat stage III). **B)** Radionuclide bone scan, anterior view. Increased uptake in the right femoral head, neck and intertrochanteric region. **C)** MR image (TR/TE=500/30 msec, TR/TE=2000/60 msec, right and left, respectively) demonstrates class A of the right femoral head. A low-signal-intensity ring (solid black arrows) surrounds areas of high-signal-intensity.

기전단방법으로서 최근 대부분의 보고에서 자기 공명영상이 다른 방사선적 검사들보다 조기 진단율이 높고 가장 감수성이 높다(80–100%)고 알려져 있으며 100%의 특이성, 90%이상의 정확도가 보고되었다^{1,2,5,6,7,14,17,18,24,26,27,30,31}.

Stage 0–I인 경우 class A와 B는 29례(85.3%)이고 stage III–IV인 경우 class D가 66례(88.0%)를 나타내고 있어 조기 병변 일수록 class A나 B를 보이고 괴사가 진행될 수록 class C나 D를 나타내며 이는 방사선 소견과 자기공명영상의 class 사이에 유의한 관련성($p<0.01$)이 있음을

알 수 있었다. Stage 0–I(34례)인 경우 대부분이 반대쪽 고관절에 증상이 있어서 내원한 후 골주사나 자기공명영상으로 우연히 발견된 경우이다. 단순방사선 소견이 정상으로 나타난 경우에 골주사 소견상 양성인 경우는 3례에 불과하였고, 자기공명영상에서는 모두 병변을 찾을 수 있었다. 골주사 소견상 정상인 31례중 class A가 21례(67.7%)로 가장 많았으며 나머지 class는 10례(32.3%)를 차지하였다. 이는 조기 병변의 발견에 있어서 자기공명영상을 시행하는 것이 중요하다고 사료되었다.

Fig. 5. D) Within 6 hours of surgical removal, MR image (T1WI, T2WI right and left, respectively) was performed. E) Specimen radiograph shows subchondral fracture (white arrow) and cystic change. F) Cut surface of right femoral head : Large cystic lesion with surrounding sclerosis.

Gillespy 등¹⁴⁾의 분류는 75.2%에서 불균질성 양상으로 나타났으며 단순 방사선 소견 및 MR class와는 특이한 연관성을 찾을 수 없었다. 한병소내에 여러 class가 혼재하는 경우가 18.2%에서 있었으며 골단부로 갈수록 MR class가 높게 나타났다. 이러한 경우 병변이 골단부에서 국소적으로 시작하여 점차 범위가 넓게 진행된 것인지, 아니면 전체가 동시에 생긴 병소이지만 병변의 진행 속도의 차이가 있는 것인지는 알 수 없었다. 즉 병변의 범위가 처음부터 결정되는지 혹은 병의 진행과 함께 범위가 넓어지는 지는 알 수 없었으며 이에 대하여 많은 연구가 있어야 될 것으로

사료되었다.

대퇴골두괴사의 병변이 양측성으로 이환된 경우는 72명으로 75.8%의 높은 이환율을 보였고 이는 다른 보고들과(50–80%) 유사하였다. 그러므로 편측성 비외상성 대퇴골두괴사 환자와 대퇴골두괴사의 위험 인자를 가진 환자——외상성 대퇴경부골절, 외상성 고관절탈구, 스테로이드 복용력이 있는 환자, 혈색소병증, 잠수병, 전신성 흥반증, 장기 음주, 쿠싱병 등——에서는 비록 단순 방사선 소견상 이상이 없고 그 증상이 없어도 조기 진단을 위해 자기공명영상을 시행하는 것이 좋다고 사료되었다^{1,2,4,14,17,20)}.

Fig. 5. E. area 1) Photomicrograph of articular cartilage and subchondral area. (hematoxylin and eosin : $\times 40$)
 area 2) Photomicrograph of subchondral fracture area.
 area 3) Photomicrograph of low-signal band is composed of thickened trabecular bone, mesenchymal and fibrous tissue.
 area 4) Photomicrograph demonstrates the necrotic bone and marrow located within the low-signal intensity ring.

비외상성 대퇴골두괴사에 있어서 초기에 괴사가 일으키는 유발 원인은 잘 규명되어 있지 않지만 괴사와 복구과정이 단일 병소내에서 여러 가지 단계로 나타나는 특징이 있다. 복구조직은 괴사골과 신생골사이에서 시작되며 신생골이 괴사골 소주위에 침착하여 경화성 변연을 형성한다. 경화성 변연의 안(괴사의 중심)쪽으로 섬유화, 염증소견 및 골흡수가 점차로 확산된다. 이로 인하여 골수내압이 증가되며 이것은 더욱 더 조직판류장애를 일으키고 생골과 괴사골 사이의 기계적 장애가 결국 연골하 골절을 일으키는 것으로 이해되고 있다^{10, 25, 29, 32)}.

대퇴골두괴사의 초기에서는 골아세포와 골수세포의 허혈상태이다. 점차 괴사물(necrotic debris)이 골소주간내로 축적되며 간엽세포와 모세혈관

의 증식이 일어난다. 증식된 간엽세포와 모세혈관은 괴사된 부위로 침투해 가며 괴사골의 표면에서 간엽세포는 골아세포로 분화된다. 이 골아세포가 괴사된 골표면에서 신생골을 생성함으로서 점차 골소주가 비후되며 이때 과골세포의 활동은 복원된 해면골에 대해 재형성(remodeling)을 일으키게 된다. 이 기간 동안 정상적인 골소주의 소실과 함께 체중부하를 이겨내지 못하여 골두함몰이 일어나는 것으로 알려져 있다^{19, 22)}.

조직검사를 시행한 검체 5례에 대한 자기공명영상소견과 조직학적 관찰에서 자기공명영상상 저음영의 띠는 복구 조직을 나타내며, 조직학적으로는 비후된 골소주, 간엽성 조직, 섬유성 조직 및, 무정형성(amorphous) 괴사물로 구성되어 있다. 복구조직의 영상변화는 세포조성에 따라서

Fig. 6. A 63-year-old man with osteonecrosis associated old right hip dislocation. **A)** The roentgenographic findings shows diffuse sclerosis. **B)** Follow-up roentgenogram 1 year after core decompression. **C)** Baseline coronal MR image of the right hip showing a large, fibrous lesion (75% involvement). **D)** Follow up coronal MR image 1 year after surgery shows that the area of fibrous-like signal has become fluid like. And the size of lesion decreased.

변화된다. 즉 지방골수(fatty marrow)안에서 비후된 풀소주는 T1WI에서 중간강도 혹은 저강도로 나타나며, 풀수내가 무정형성 괴사물 및 간엽성 조직으로 차이면 저강도로 나타난다. 이는 복구

조직의 생화학적인 조성차이와도 일치하는데 복구조직의 수분함량의 변화에 기인하는 것이다. 괴사된 부위로 모세혈관과 간엽성 조직의 침투가 도달하지 못하면 고신호강도로 나타난다^{19,22,26)}. 비

록 자기공명영상상 신호 강도 차이로는 괴사부위의 생사가 확실히 구분되지는 않지만 자기공명영상은 괴사된 부위의 정확한 해부학적 위치와 침범범위를 3차원적으로 알 수 있으므로 Sugioka 절골술 및 핵심 감압술 등의 치료 방침을 계획하고 결정하는데 중요한 요소가 될 것이다^{1,2,14,22)}.

대퇴골두괴사에 있어서 골수 내압의 증가로 야기된 무혈 상태가 괴사를 일으킨다는 것에 기초로 하여 Ficat¹²⁾, Hungerford 등¹⁶⁾은 조기 병변에 대하여 감압술을 시행하여 좋은 결과를 보고하였으나 Camp와 Colwell 등⁸⁾은 좋은 결과를 얻지 못했다고 하였다. 핵심생검은 병의 진행을 방지하거나 억제될 수 있고 또한 호전되어 대퇴골두 함몰을 막아 관절을 보존하는데 의의가 있는 것으로 보고되고 있으며 일반적으로 임상적 소견은 호전되지만 방사선 소견은 대부분에서 계속 진행하는 것으로 보고하는 것도 알려져 있다²⁹⁾.

조기치료를 주장하는 이에는 대퇴골두 함몰이 오기 전에 치료를 함으로서 괴사의 진행을 막고 나아가서는 정상골수상태로의 회복이 궁극적 목표이고 자기공명영상이 예후 결정에 가장 효과적인 검사방법이라고 생각하고 있다. Kokubo 등²¹⁾은 단순 방사선상 Stage 보다도 자기공명영상상 대퇴골두의 중앙 관상면 영상에서 환형(band form)의 저신호 강도를 나타내는 것을 추후 골두함몰의 중요한 지표로 보고하였다. Chan 등⁹⁾은 자기공명영상 신호 강도의 차이보다는 괴사 범위의 크기가 골두함몰의 지표로 가장 중요하다고 보고하였다. Beltran 등⁷⁾은 조기 병변에 핵심 생검 후 장기 추적 조사한 결과, 범위가 25% 이하인 경우에서 대퇴골두의 함몰(collaps)로 진행된 예가 없었다고 보고함으로 자기공명영상을 이용한 침범된 범위의 측정이 예후에 중요한 요소로 작용한다는 것을 강조하였다.

또한 자기공명영상은 술후 괴사범위의 변화, 신호강도의 변화, 주위 골수의 변화를 관찰하는데 유익하다고 보고되고 있다⁷⁾. 일반적으로 핵심 생검술은 조기 병변의 경우 시행하는 것으로 알려져 있지만 본 연구에서는 술전 자기공명영상상 MR class C와 D가 혼재되었으며 괴사범위가 전체 골두의 75%를 차지한 예에서 핵심 생검을 시

행하였고, 술후 1년째 추시 자기공명영상상 많은 부분이 MR class C로 변하였고 범위도 50%로 축소되었다(Fig. 7). 그러나 이는 좀더 많은례와 장기 추시를 하여야 될 것으로 사료되며 이에 대해 앞으로 더 많은 연구가 필요할 것이다.

요 약

1. 대퇴골두괴사 환자 95명 165 고관절중 남자가 88명 여자가 7명, 편측성이 23례, 양측성이 72례이었으며 연령분포는 평균 45.5세였다.
2. Stage 0-I의 34례 중에서 골주사 소견도 정상이면서 자기공명영상의 이상 소견이 발견된 것이 31례로서 타 검사 방법보다 조기 진단에 우수함을 알 수 있었다.
3. 자기공명영상으로 괴사된 부위의 정확한 해부학적 위치와 침범범위를 3차원적으로 알 수 있고 괴사 조직의 조성에 대한 정보를 제공함으로서 술후의 괴사 범위의 변화, 신호강도의 변화, 주위 골수의 변화를 관찰하는데 유익하다고 사료된다.

REFERENCES

- 1) 강창수, 송광순, 강철형, 이승하 : 대퇴골두 괴사의 자기공명영상, 대한정형외과학회지, 25 : 1730-1740, 1990.
- 2) 김기용, 김영태, 이수호, 빈성일, 김정재, 김용정 : 특발성 대퇴골두 무혈성 괴사에서의 전산화 단층촬영 및 자기공명영상 소견, 대한고관절학회지, 2 : 21-27, 1990.
- 3) 김영민, 구경희, 윤강섭 : 특발성 대퇴골두 무혈성 괴사에 대한 형태학적 및 생역학적 연구(제1부 형태학적 분류와 치료 방법), 대한정형외과학회지, 25 : 477-486, 1990.
- 4) 유명철, 이용걸, 박승면, 안동기 : 대퇴골두의 무혈성 괴사증, 대한정형외과학회지, 24 : 1360-1367, 1989.
- 5) Bassett, L.W., Gold, R.H., Reicher, M., Bennet, L.R. and Tookey, S.M. : *Magnetic resonance imaging in the early diagnosis of ischemic necrosis of the femoral head; Preliminary result. Clin. Orthop.*, 214 : 237-248, 1987.

- 6) Beltran, J., Herman, L.J. and Burk, J.M.: *Femoral head avascular necrosis: MR imaging with clinicopathologic and radionuclieotic correlation*. Radiology, 166 : 215-220, 1988.
- 7) Beltran, J., Knight, C.T., Zuelzer, W.A., Morgan, J.P., Shwendeman, L.J., Chandnani, V.P., Mosure, J.C. and Shaffer, P.B.: *Core decompression for avascular necrosis of the femoral head: Correlation between longterm results and preoperative MR staging*. Radiology, 175 : 533-536, 1990.
- 8) Camp, J.F. and Colwell, C.W.: *Core decompression of the femoral head for osteonecrosis*. J. Bone and Joint Surg., 68A : 1313-1319, 1986.
- 9) Chan, T.W., Dalinka, M.K., Steinberg, M.E. and Kressel, H.Y.: *MRI appearance of femoral head osteonecrosis following core decompression and bone grafting*. Skeletal Radiology, 20 : 103-107, 1991.
- 10) Coleman, B.G., Kressel, H.Y., Dalinka, M.K., Sheibler, M.L., Burk, D.L. and Cohen, E.K.: *Radiographically negative avascular necrosis: Detection with MR imaging*. Radiology, 168 : 525-528, 1988.
- 11) Easton, E., Zuger, J., Sallman, R. and Floyd, M.: *Superiority of magnetic resonance imaging in the detection of avascular necrosis of the femoral head*. Presented at the Annual Meeting of the Society of Magnetic Resonance in Medicine. New York, August., 1984.
- 12) Ficat, R.P.: *Idiopathic bone necrosis of the femoral head: Early diagnosis and treatment*. J. Bone and Joint Surg., 67-B : 3-9, 1985.
- 13) Ficat, R.P. and Arlet, J.: *Ischemia and necrosis of bone*. Baltimore. Williams and Wilkins, 1980.
- 14) Gillepsy, T., Genant, H.K. and Helms, C.A.: *Magnetic resonance imaging of osteonecrosis*. Radiol. Clin. North Am., 24 : 193-208, 1986.
- 15) Hungerford, D.S.: *Bone marrow pressure, venography, and core decompression in ischemic necrosis of the femoral head*. The Hip, pp 218-237, St. Louis, C.V. Mosby Co., 1979.
- 16) Hungerford, D.S. and Zizic, T.M.: *Pathogenesis of ischemic necrosis of the femoral head*. In: Hungerford, DS, ed. The hip: Proceedings of the Eleventh Open Scientific Meeting of The Hip Society. pp 249-262 St. Louis, Toronto, The C.V. Mosby, 1983.
- 17) Jergesen, H.E., Heller, M. and Genant, H.K.: *Magnetic resonance imaging in osteonecrosis of the femoral head*. Clin. Orthop. North Am., 16 : 705-716, 1985.
- 18) Jergesen, H.E., Heller, M. and Genant, H.K.: *Signal variability in magnetic resonance imaging of femoral head osteonecrosis*. Clin. Orthop., 253 : 137-149, 1990.
- 19) Jergesen, H.E., Lang, P., Moseley, M. and Genant, H.K.: *Histologic correlation in magnetic resonance imaging of femoral head osteonecrosis*. Clin. Orthop., 253 : 150-163, 1990.
- 20) Kirchner, P.T. and Simon, M.A.: *Current concepts review: Radioisotope evaluation of skeletal disease*. J. Bone and Joint Surg., 63A : 673-681, 1981.
- 21) Kokubo, T.K., Takatori, Y., Nonomiya, S., Nakamura, T. and Kamogawa, M.: *Magnetic resonance imaging and scintigraphy of avascular necrosis of the femoral head*. Clin. Orthop., 277 : 54-60, 1992.
- 22) Lang, P., Jergesen, H.E., Moseley, M.E., Blook, J.E., Chafetz, N.I. and Genant, H.K.: *Avascular necrosis of the femoral head: High-field strength MR imaging with histologic correlation*. Radiology, 169 : 517-524, 1988.
- 23) Lee, C.K., Hansen, H.T. and Weiss, A.B.: *The "silent hip" of idiopathic ischemic necrosis of the femoral head in adults*. J. Bone and Joint Surg., 62A : 795-800, 1980.
- 24) Matthaei, D., Frahm, J., Hasse, A., et al.: *Chemical shift-selective magnetic resonance imaging of avascular necrosis of the femoral head*. Lancet, 1 : 370-371, 1985.
- 25) Michelsen, : *Pressure relationships in the bone marrow vascular bed*. Acta Physiol. Scand. 71 : 16-29, 1967.
- 26) Miller, I.L., Savory, C.G., Polly, D.W., Graham, G.D., Mc-Cabe, J.M. and Collaghan, J.J.: *Femoral head osteonecrosis-detection by magnetic resonance imaging versus single-photon emission computed tomography*. Clin. Orthop., 274 : 152-162, 1989.
- 27) Mitchell, M.D., Kundel, H.L., Steinberg, M.E., Kressel, H.Y., Alavi, A. and Axel, L.: *Avascular necrosis of the hip: Comparison of MR, CT. and Scintigraphy*. A.J.R., 147 : 67-71, 1986.
- 28) Mitchell, D.G., Steinberg, M.E., Dalinka, M.K., Ros, V.M., Fallon, M. and Kressel, H.Y.: *Magnetic resonance imaging of the ischemic hip*. Clin. Or-

thop., 244 : 60-77, 1989.

- 29) Mitchell, D.G., Rao, V.M., Dalinka, M.K., Spritzer, C.E., Alave, A., Steinberg, M.E., Eallon, M. and Koressel, H.Y.: *Femoral head avascular necrosis: correlation of MR imaging, radiologic staging, radionuclide imaging, and clinical finding*. *Radiology*, 162 : 709-715, 1987.
- 30) Moon, K.L., Genant, H.K., Helms, C.A., Chafetz, N.I., Crooks, L.E. and Kaufman, L.: *Musculoskeletal applications of nuclear magnetic resonance*. *Radiology*, 147 : 161-171, 1983.
- 31) Speer, K.P., Spritzer, C.E., Harrelson, J.M., and Nunley, J.A.: *Magnetic resonance imaging of the femoral head after acute intracapsular fracture of the femoral neck*. *J. Bone and Joint Surg.*, 72A : 98-103, 1978.
- 32) Tchickman, D., Axel, L., Kessel, H.Y., et al.: *Magnetic resonance imaging of avascular necrosis of the femoral head*. *Skeletal Radiol.*, 15 : 133-140, 1986.
- 33) Totty, W.G., Murphy, W.A., Ganz, W.I., Kumar, B., Daum, W.J. and Siegel, B.A.: *Magnetic resonance imaging of the normal and ischemic femoral head*. *A.J.R.*, 143 : 1273-1280, 1984.
- 34) Wilkes, C.H. and Visscher, M.B.: *Some physiological aspects of bone marrow pressure*. *J. Bone and Joint Surg.*, 57A : 49-56, 1975.