

대퇴골두 과사의 자기공명영상

계명대학교 동산의료원 정형외과학교실

강창수 · 송광순 · 강철형 · 이승하

=Abstract=

MRI of Osteonecrosis of the Femoral Head

C.S. Kang M.D., K.S. Song M.D., C.H. Kang M.D. and S.H. Lee M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, School of Medicine, Keimyung University, Daegu, Korea

Early diagnosis of osteonecrosis of the femoral head is very important because it leads to early treatment and a better chance of saving the femoral head. The conventional X-ray, bone scan, SPECT and Magnetic resonance imaging (MRI) can detect early AVN. Radionuclide bone imaging has been utilized to diagnose osteonecrosis at an early stage, however, poor sensitivity, poor specificity and a lack of anatomic detail have been reported.

Mitchell et al reported that MRI is the most sensitive imaging technique for early diagnosis of avascular necrosis. MRI is therefore of value in evaluating osteonecrosis of the femoral head, especially as it provides high sensitivity and excellent anatomic detail.

In our studies, MRI of 71 hips of 40 patients who visited the Keimyung University Dong San Hospital were analyzed and compared with conventional radiographs and technetium diphosphonate bone scans.

The results are as follows:

1. Of the 40 patients with osteonecrosis of the femoral head, 37 cases were male, 3 cases were female, 9 cases were unilateral and 31 cases had bilateral hip involvement.
2. Nine of thirteen (69 %) stage 0 lesions of modified Ficat & Arlet were Class A and four (31 %) were Class B. Classes C and D were not found.
3. Six of sixteen (38 %) stage II were Class A, five (31 %) were Class D.
4. Only six of thirty-six (17 %) lesions in stage III-IV were Class A, while twenty-six (72 %) were Class D.
5. The MRI was useful in determining the extent, volume and detailed anatomic location of femoral head necrosis. This information leads to early surgical treatment and prevents progression of femoral head collapse and saves the femoral head.
6. Because of the risk factor in patients with a unilateral nontraumatic osteonecrosis of the hip, the MRI may be useful in detecting an early stage of osteonecrosis of the femoral head on the opposite side.

Key Words:Osteonecrosis, Femur, MRI

*이논문은 1990년 계명대학교 을종 연구비 및 동산의료원 조사연구비로 이루어 졌음.
*본 논문의 요지는 제 34차 대한정형외과 추계 학술대회에서 전시 및 구연한 논문임.

서 론

성인 대퇴골두괴사는 1926년 Freund가 양측 고관절에 발생한 예를 발표한 이후, 아직도 그 발생기전이 명확히 규명되어 있지 않다. 일단 발병하여 진행되면 골두가 붕괴되고 결국 퇴행성 관절병변으로 발전하게 된다. 그러나 초기에 치료를 시행하면 골두를 재생시킬 가능성이 많다^{16, 19, 20, 35)}. 그러므로 대퇴골두괴사의 조기진단은 대퇴골두를 보존하는데 중요한 요소가 된다.

조기진단 방법으로는 단순방사선검사이외의 동위원소골주사, SPECT 및 MRI(자기공명영상) 등이 있다. 동위원소골주사는 단순방사선 검사로 인지하기 힘든 초기단계를 진단하는데에 이용되지만^{5, 13, 14, 22, 23)} 낮은 감수성과 낮은 특이성, 해부학적 묘사가 부족 하다는 점등이 단점으로 지적되고 있다^{11, 13, 28, 29)}.

1984년 Easton과 Thickman의 보고는 자기공명영상이 다른 검사보다 훨씬 더 효과적이라고 하였고^{15, 37)} 1986년 Mitchell의 보고에서는 높은 감수성과 해부학적 묘사의 우수성 때문에 대퇴골두괴사의 조기진단에 가장 감수성 있는 영상 기술이라고 하였다²⁹⁾.

이에 저자들은 단순방사선검사, 동위원소골주사 및 자기공명영상을 이용하여 골두괴사 단계에 따른 영상을 비교 검토를 하였다.

대상 및 방법

1989년 11월부터 1990년 5월까지 계명의 대동산의료원에 내원하였던 대퇴골두괴사환자 40명(남자 37례, 여자 3례) 71고관절에 대하여 단순방사선검사, 동위원소골주사 및 자기공명영상을 시행하였다. 연령분포는 17세에서 69세(평균 45.5세)이며 대퇴골두괴사가 양측성인 경우가 인공관절치환술을 시행한 2례를 포함하여 33례이며 편측성 경우는 7례이었다. 원인별로는 뚜렷한 위험인자를 발견할 수 없는 경우가 가장 많은 19명이었고 steroid복용한 병력이 있는 경우가 8명, 10년이상 지속적인 음주력이 있는 경우가 11명, 외상성인 경우가 (고관절 골절-탈구) 2명이었다(Table 1).

단계(Stage) 분류방법은 Mitchell등이 수정한 Ficat와 Arlet의 분류법을 사용하였다. 이때 전환자에서 단순방사선촬영후 2주이내에 골주사

검사와 자기공명영상을 시행하여 이를 토대로 단계(stage)를 분류하였다.^{17, 19, 30)} 즉 제 0단계: 단순방사선소견과 골주사영상에서는 정상이고, 자기공명영상에서는 비정상적인 것, 제 1단계: 방사선소견상 정상이며 골주사영상에서는 비정상인 것, 제 2단계: 방사선소견상 연골하부골이나 피질골 골절의 징후없이 골경화상과 낭성투과음영상이 나타나는 것. 제 3단계: 방사선 소견상 연골하골의 골절로 인하여 선상 투과음영(Crescent sign)이 나타나는 것. 제 4단계: 대퇴골두의 험몰변형이 있는 것. 제 5단계: 골두변형과 골성관절염을 동반한 것으로 분류하였다.

골주사영상은 Tc 99-m methylene diphosphonate 주사후 골반의 전면상, 후면상과 사면상을 촬영하여 대퇴골두에 있어서의 photon uptake의 감소 혹은 증가여부를 관찰하였다.

자기공명영상은 초전도체(superconductive) 2.0 Tesla Gold-Star spectro-20000을 사용하여 각 고관절을 관상면, 시상면과 축면으로 단층 영상을 제작하였으며 각 절편(slice)은 5-6mm 두께로 자르고 각 절편 사이를 1-2mm 간격을 두고 256X (256~360) matrix로 촬영하였다. T1-weighted image는 short TR (300-600msec)와 short TE (30msec)로, T2-weighted image는 long TR (2000msec)와 long TE (80-60msec)를 이용하여 영상을 제작하였다. T1과 T2-weighted image에서 Mitchell등은 central signal intensity에 기초를 두고 대퇴골두괴사를 4급(class)로 분류하였다.^{25, 30, 31)} 이에 따라 저자들도 T1-weighted image에서 고강도이고 T2-weighted image에서 저강도 내지는 중간강도를 보여 지방과 동일강도를 나타내는 것을 Class A로(Fig. 1), T1, T2-weighted image 모두에서 고강도를 보여 아급성이나 만성출혈의 소견과 유사한 것을 Class B로(Fig. 2), T1-weighted image에서 저강도이고 T2-weighted image에서 고강도를 보여 fluid와 유사한 강도를 나타내는 것을 Class C로, 골이나 섬유조직과 유사하게 T1, T2-weighted image에서 저강도를 나타내는 것을 Class D로 분류하였다(Fig. 3, 4, 5, Table 2).

결 과

단순방사선 소견상 정상인 경우(stage 0-I)는 19례, 제 2단계(stage II)는 16례, 제 3-4단

Table 1. Case analysis

Case	Age/Sex	Duration of pain		X-ray		Scan		MRI-stage	
		Rt	Lt	Rt	Lt	Rt	Lt	Rt	Lt
1.	61/M	-	1yr	0	IV	-	+	B	D
2.	54/M	4-5m	-	V	I	+	+	D	B
3.	49/M	-	1yr	0	II	-	+	A	D
4.	58/M	6m	-	III	I	+	+	D	B
5.	22/M	-	3yr	0	IV	-	+	A	C
6.	52/M	-	3m	0	II	-	+	A	D
7.	22/M	4yr	-	V	IV	+	+	D	D
8.	54/M	-	2m	0	III	-	+	B	D
9.	57/M	-	2m	0	IV	-	+	A	D
10.	69/M	-	2m	II	THR	+	-	B	THR
11.	21/M	4yr	-	V	0	+	-	A	N
12.	47/M	7m	-	III	0	+	-	D	A
13.	60/F	7yr	-	V	0	+	-	D	A
14.	56/M	-	13m	II	III	+	+	D	D
15.	59/M	-	1yr	III	IV	+	+	B	D
16.	44/M	3m	4m	III	III	+	+	A	A
17.	52/M	-	2yr	II	IV	+	+	B	D
18.	48/M	4m	4m	II	II	+	+	B	D
19.	43/M	-	3m	II	IV	+	+	A	D
20.	42/M	6m	-	III	0	+	-	D	B
21.	36/F	-	5yr	II	IV	+	+	A	D
22.	63/M	-	3,4m	I	II	+	+	A	B
23.	41/M	5yr	5yr	III	THR	+	-	C	THR
24.	51/M	7m	3m	III	0	+	-	D	*
25.	35/M	6m	6m	III	IV	+	+	B	D
26.	21/M	-	5m	0	IV	-	+	N	D
27.	17/M	4m	-	V	0	+	-	A	N
28.	52/M	10day	-	II	II	+	+	A	A
29.	51/M	10day	3m	III	III	+	+	A	A
30.	34/M	1m	-	II	0	+	-	D	A
31.	33/M	1yr	-	III	0	+	-	D	N
32.	62/F	7m	-	III	I	+	+	D	B
33.	39/M	-	1m	0	II	-	+	A	C
34.	30/M	6m	-	III	0	+	-	D	N
35.	52/M	5m	5m	III	III	+	+	A	D
36.	52/M	1yr	-	IV	II	+	+	D	A
37.	56/M	-	2m	0	IV	-	+	A	D
38.	44/M	-	1m	0	0	-	-	N	A
39.	43/M	6m	-	III	I	+	+	D	B
40.	36/M	-	10m	I	IV	+	+	A	D

- : no pain or normal radionuclide scan

+ : positive radionuclide scan

*: abnormal MRI: subcortical pit of femoral head but no evidence of avascular necrosis

THR: Total Hip Replacement

N: Normal

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

계(stage III, IV)는 36례였다. 제 0-1단계의 48%, 제 2단계의 26%가 Class A (isointensity with fat)였다. 제 3-4단계의 26%는 Class A였고, 84%는 Class D (similar to bone or firous tissue)였다.

단순방사선 소견과 골 주사소견이 모두 정상이나 자기공명영상에서 이상이 나타나는 Modified Ficat & Arlet stage 0가 13례 였으며 그 중, MRI분류 Class A가 9례(69%), Class B가 4례(31%)이고 Class C, D는 없었다. Stage I

은 6례로 Class A가 2례(33%), Class B가 4례(67%)였다. Stage II는 16례로 Class A가 6례(38%), Class B가 4례(25%), Class C가 1례(6%), Class D가 5례(31%)였다. Stage III-IV는 36례로 그 중 Class A가 6례(17%), Class B가 2례(6%), Class C가 2례(6%), Class D가 26례(72%)였다. 자기공명영상의 Class C, D일수록 단순방사선소견상 대퇴골두의 봉괴가 더 심하고 수술소견상에도 심한 봉괴를 보였다(Fig. 3, 4, 5). MRI Class는 modified Ficat & Arlet

Fig. 2. Asymptomatic MRI class B AVN in the left hip in a patient with biopsy-proved AVN. A) The roentgenographic finding shows normal femoral head. B) The radionuclid bone scan shows normal trace activity in the left femoral head. C) Coronal T1-weighted image (500/30msec) shows a low-signal band surrounding a small lesion in the left femoral head. The lesion has high signal intensity. D) The T2-weighted image (2000/80msec) shows that the lesion is still of high signal intensity. Note the “double line sign” (arrow) surrounding the lesion, consisting of a low-signal band with a high-signal inner border.

stage와 연관성이 있었다(Table 3).

자기공명영상을 시행한 71고관절중 65례(92%)에서 T1, T2-weighted image image에서 저강도 가장자리 테(peripheral low density)가 병소를 에워싸고 있었다(Fig. 1).

고 칠

대퇴골두괴사에서 조기병변인 경우, 적절한 치료에 의해 병의 진행이 방지 되거나 억제될

Fig. 3. MRI class D AVN of the left hip in a 39-year-old male with a biopsy-proved lesion. A) Anteroposterior radiography of the left hip. The left femoral head shows Stage IV ischemic necrosis with a loss of normal femoral head sphericity but normal joint space. B) Tc-99m diphosphonate bone scan shows increased isotope accumulation in the left femoral head. C) Specimen radiograph of the left femoral head shows a subchondral radiolucent line (crescent sign) and a radiolucent area surrounded by a sclerotic rim at the center of the femoral head. D) Coronal section of the femoral head shows a subchondral fracture. E) Coronal T1-weighted image (500/300msec) shows a low-signal lesion in the left hip. F) At the T2-weighted image (2000/60msec), the lesion remains as a low-signal area with a subchondral band of high intensity, the "MRcrescent sign".

Fig. 4. MRI class D AVN of the right hip in a patient with a biopsy-proved lesion. A) Anteroposterior radiograph shows diffuse sclerosis and a subchondral crescent sign at the superior weight-bearing area on the right femoral head. B) The frog leg lateral radiograph shows subchondral crescent sign very clearly on the femoral head. C) The radiograph shows subchondral crescent sign very clearly on the femoral head. C) The coronal T2-weighted image (2000/60msec) shows low-signal intensity at the weight bearing area of the femoral head. D) Coronal section of the femoral head shows a subchondral fracture at the superior weight bearing area. The white mummified area corresponds to low signal intensity at the T2-weighted image of the MRI.

수 있다^{17, 19, 20, 21, 36)}. 그러나 조기병변의 경우 단순방사선 검사상 이상을 보이지 않으며 그 증상도 없는 경우가 많아 진단에 어려움이 많다. 단순방사선 검사상 이상소견이 나타나기 이전에 시행할 수 있는 진단방법으로는 동위원소 골주사 검사, SPECT, 자기공명영상 그리고 기능적 골수조사(Functional bone marrow study; 골수내압측정, 골수내정맥조영술등)등이 이용되고 있다^{3, 4, 5, 13, 14, 23, 27, 36)}.

골수내압 측정은 자기공명영상 보다는 약간

더 감수성이 높지만 특이성이 낮고 침습적(invasive)이라는 단점이 있다^{1, 9, 18, 38)}. 동위원소 골주사는 낮은 감수성, 특이성과 대퇴골두괴사에서 이환된 부위나 범위 위치 등을 정확히 알기 어려운 단점등이 지적되고 있다^{11, 13, 23, 28, 29, 39)}. 대퇴골두괴사의 진단에 있어 자기공명영상은 비록 비용이 고가이지만 비침습적이고 전리방사선(ionizing radiation)이 없으며 환자에게 거의 불편을 주지 않고 괴사의 위치와 범위를 정확히 평가를 할 수 있는 장점들이 보고되고 있다^{1, 6)}.

10, 21, 22, 29, 32, 34). 대부분의 보고에서 자기공명영상은 다른 방사선적 검사를 보다 조기진단율이 높고 가장 감수성이 높다(80-100%)고 보고되고 있으며, 100%의 특이성, 90% 이상의 정확

Table 2. Central MR Signal Classification

MRI Classi- fication	Signal Intensity		
	T1-Weigh- ted Images	T2-Weigh- ted Images	Analogous of
A (n=23)	High	Interme- diate	Fat
B (n=14)	High	High	Blood
C (n= 3)	Low	High	Fluid
D (n=31)	Low	Low	Fibrous
Total (n=71)			

Adapted from Mitchell et al: Magnetic resonance imaging of the ischemic hip. Clin. orthop. 244:60-771, 1989.

도를 나타내었다 6, 9, 11, 21, 22, 26, 28, 29, 30, 32, 34, 37).

본 연구 대상에서 Stage 0나 Stage I의 경우 반대쪽 고관절에 증상이 있어서 내원한 후 골주사나 자기공명영상을 검사해보니 우연히 이상이 발견된 경우였다. 단순방사선 검사와 골주사검사에서 모두 정상이나 자기공명영상에서 이상이 나타나는 경우가 Stage 0에 해당되며, 총 71고관절중 13고관절이 이런 경우에 해당되어 조기진단에서 자기공명상의 우수성을 알 수 있었다. 그 중 임상증상이 전혀 없는 경우가 12례였고, 1례에서는 좌측고관절에 가벼운 통통을 호소하여 골주사 및 자기공명영상검사를 시행하였으나 우측은 정상이었고 좌측은 골주사는 정상이나 자기공명영상에서는 Class A였다. Stage 0에 해당되는 13고관절중 MRI Class A가 9례(69%), Class B가 4례(31%)였다 (Table 4).

Stage 0-I인 경우 Class C와 D가 없었고 Stage III-IV인 경우 Class D가 72%를 나타내

Fig. 5. Modified Ficat & Arlet stage V and MRI class D AVN of the left hip in a 36-year-old female with biopsy-proved lesion. A) The anteroposterior radiograph shows a loss femoral head sphericity and narrowing of the joint space and a large cystic area located at the superolateral area of the femoral head. B) The Coronal T2-weighted image (2000/80msec) shows a round high-signal intensity at the superolateral area of the femoral head. C) Coronal section of the femoral head shows a round bone cyst in the superolateral lesion, which corresponds to the simple and MR image.

Table 3. MRI & Radiologic staging

MRI intensity Class	Modified Ficat et Arlet stage			
	0 (n=13)	I (n=6)	II (n=16)	III-IV (n=36)
A (n=23)	9 (69%)	2 (33%)	6 (38%)	6 (17%)
B (n=14)	4 (31%)	4 (67%)	4 (25%)	2 (6%)
C (n= 3)	0	0	1 (6%)	2 (6%)
D (n=31)	0	0	5 (31%)	26 (72%)
Total (n=71)	13	6	16	36

Nmbers in parentheses indicate percentage of MR intensity class

Table 4. Bone scan/ MRI Classification

Scan	MRI intensity Class			
	A (n=23)	B (n=14)	C (n=3)	D (n=31)
Positive	14 (58)	10 (17%)	3 (5%)	31 (53%)
Negative	9 (13)	4 (31%)	0	0

Numbers in parentheses indicated percentage of MR Intensity class

고 있어 조기병변 일수록 Class A나 B를 보이고 괴사가 진행하고 임상적 증상이 심할수록 Class C나 D를 나타내며 이는 방사선 소견과 자기공명영상의 Class가 서로 연관이 있었고 이는 Mitchell등의 보고와 일치하였다^{14,30,31}.

정상성인의 대퇴골두는 자기공명영상에서 골수의 지방세포들에 의해 T1-weighted image에서 고강도를 나타내나^{28,38} 무혈성 괴사에서는 정상적인 고강도(high signal intensity)가 감소되는 것이다^{6,7,8,21,24,28,30,38}. 자기공명영상에서 대퇴골두괴사의 특이한(pathognomonic) 소견은, T2-weighted image에서 저강도 변연태 내부에 고강도 내측선이 나타나 이중선소견(double line sign)을 보이는 것이다(Fig. 2). 변연의 저강도테는 경화성 병변부위이고 내면의 고강도선은 Reactive, hyperemic granulation tissue인 것으로 알려져 있다^{6,12,24,30,31,34,38}. 이러한 이중선은 비외상성 무혈성 괴사환자 65-80%에서 나타난다고 보고되어 왔다^{12,24,30,31,34,38}. 그러므로 T1-weighted image는 단지 무혈성 괴사 이외의 병을 배제하는데 중요하고 T2-weighted image가 진단적인 가치가 높다³⁴.

대퇴골두괴사는 양측성이 이환율이 높으므로(50-80%), 편측성 비외상성 대퇴골두괴사환자나 대퇴골두괴사의 위험인자를 가진 환자-외상성 대퇴경부 골절, 외상성 고관절 탈구, steroid 복용력이 있는 환자, Cushing's disease, hemoglobinopathies, Caisson disease, SLE, alcohol abuse 등-에서는 비록 단순 방사선 소견상 이상이 없고 그 증상이 없어도 조기진단을 위해 자기공명영상을 시행하는 것이 좋다^{1,2,4,21,22,23}.

대퇴골두괴사의 조기병변의 치료 방법으로는 core decompression, bone graft, vascular pedicled iliac bone graft, free vascular fibular graft, electrical stimulation 및 여러가지 절골술

(varus or valgus osteotomy, Sugioka's osteotomy 등) 등이 알려져 있으며, 자기공명영상을 이용하여 대퇴골두괴사의 이환 범위와 부위를 정확히 평가하는 것은 이러한 치료의 방침을 계획하고 결정하는데 중요한 요소가 된다^{1,2,21,24}.

대퇴골두괴사를 평가하기 위해 관상면으로 촬영하는 것이 체중부하면을 가장 잘 반영할 수 있고 또한 연골하 함몰을 명확히 볼 수 있는 잇점이 있다고 보고 되었으며^{20,34} Sugioka 절골술에서의 적절한 각도는 자기공명영상의 시상면 영상(sagittal view)에 의해 결정되어야 한다고 보고되었다². 본 연구에서도 대퇴골두괴사 병변의 이해나 판단에 축면이나 시상면 영상보다는 관상면 영상이 용이 했으며 더 정확한 병변부위나 범위를 알기 위해 축면과 시상면상을 이용하였다²¹. 또한 핵심생검(core biopsy)을 시행할 경우 자기공명영상으로 골두괴사의 위치와 범위를 3차원적으로 알 수 있어서, 의도한 부위에 정확히 생검(감압)을 할 수 있었다.

결 론

1. 대퇴골두괴사 환자 40명 71고관절 중 남자가 37명 여자가 3명, 편측성이 7례 양측성이 33례였다.

2. 단순방사선소견이나 골주사소견은 정상이나 자기공명영상에서 이상이 있는 stage 0가 13례나 발견되어 대퇴골두괴사의 조기진단에 자기공명영상이 타검사방법보다 우수함을 알 수 있었다.

3. 조기병변인 stage 0-I에 해당되는 예에서는 Class C와 D가 없었고, Stage III-IV의 경우에는 Class D가 72%를 나타내고 있어, 방사선 소견과 자기공명영상의 Class가 서로 연관이 있음을 알 수 있었다.

4. 자기공명영상으로 대퇴골두괴사부위의 양과 해부학적 위치를 3차원적으로 알 수 있어서 치료 계획을 세우는데 유용하였다.

5. 편측성 비외상성 대퇴골두괴사 환자나, 대퇴골두괴사의 위험요소를 가진 환자에서는 자기공명영상을 시행하여 조기진단을 위해 노력해야 한다고 사료된다.

REFERENCES

- 1) 김기용, 김영태, 이수호, 빈성일, 김정재,

- 김용정: 특발성 대퇴골두 무혈성 괴사에서의 전산화 단층촬영 및 자기공명영상소견. 대한고관절학회지, 2:21-27, 1990.
- 2) 김영민, 구경희, 윤강섭: 특발성 대퇴골두 무혈성 괴사에 대한 형태학적 및 생역학적 연구(제1부 형태학적 분류와 치료 방법). 대한정형외과학회지, 25:477-486, 1990.
 - 3) 유명철, 김경훈, 안동기: 정상 한국인의 대퇴골두 끌수압, 대한정형외과학회지, 23: 473-480, 1988.
 - 4) 유명철, 이용걸, 박승면, 안동기: 대퇴골두의 무혈성 괴사증. 대한정형외과학회지, 24: 1360-1367, 1989.
 - 5) Alavi, A., Mc Closkey, J.R. and Steinberg, M.E.: Early detection of avascular necrosis of the femoral head by $99m$ technetium diphosphonate bone scan: A preliminary report. Clin. Orthop., 127:137-141, 1977.
 - 6) Bassett, L.W., Gold, R.H., Reicher, M., Bennett, L.R. and Tooke, S.M.: Magnetic resonance imaging in the early diagnosis of ischemic necrosis of the femoral head; Preliminary result. Clin. Orthop., 214:237-248, 1987.
 - 7) Bassett, L.W., Mirra, J.M., Cracchiolo, A. III. and Gold, R.H.: Ischemic necrosis of the femoral head: Correlation of magnetic resonance imaging and histologic sections. Clin. Orthop., 223:181-187, 1987.
 - 8) Beltran, J., Burk, J.M., Herman, L.J., Clark, R.N., Zuelzer, W.A., Freedy, M.R. and Siman, S.: Avascular necrosis of the femoral head: early MRI detection and radiological correlation. Magn. Reson. Imaging [MAK], 5(6):431-442, 1987.
 - 9) Beltran, J., Herman, L.J. and Burk, J.M.: Femoral head avascular necrosis: MR Imaging with clinical-pathologic and radionuclieotic correlation. Radiology, 166:215-220, 1988.
 - 10) 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 long-term results and preoperative MR staging. Radiology, 175:533-536, 1990.
 - 11) Camp, J.F. and Colwell, C.W.: Core decompression of the femoral head for osteonecrosis. J. Bone and Joint Surg., 68A:1313-1319, 1986.
 - 12) 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.
 - 13) Conklin, J.J., Alderson, P.O., Zizic, T.M., Hungerford, D.S., Densereaux, J.Y., Gober, A. and Wagner, H.N.: Comparison of bone scan and radiography sensitivity in the detection of steroid-induced ischemic necrosis of bone. Radiology, 147:221-226, 1983.
 - 14) D'Ambrosia, R.D., Shoji, H., Riggins, R.S., Stadalmik, R.C. and De Nardo, G.L.: Scintigraphy in the diagnosis of osteonecrosis. Clin. Orthop., 130:139-143, 1978.
 - 15) 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.
 - 16) Ficat, P.: Idiopathic bone necrosis of femoral head: Early diagnosis and treatment. Part II : Experiences in treatment. J. Bone and Joint. Surg., 52A:322-329, 1970.
 - 17) Ficat, R.P. and Arlet, J.: Ischemia and necrosis of bone. Baltimore. Williams and Wilkins, 1980.
 - 18) Genez, B.M., Wilson, M.R. and Mouk, R. W.: Early osteonecrosis of femoral head: Detection in high-risk patient with MRI. Radiology, 168:521-524, 1988.
 - 19) 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.
 - 20) Hungerford, D.S. and Zizic, T.M.: Alcoholism associated ischemic necrosis of the femoral head. Clin. Orthop., 130:144-153, 1978.
 - 21) Gillepsy, T., Genant, H.K. and Helms, C. A.: Magnetic resonance imaging of osteonecrosis. Radiol. Clin. North Am., 24:193-208, 1986.
 - 22) Jergesen, H.E., Heller, M. and Genant, H.

- K.: *Magnetic resonance imaging in osteonecrosis of the femoral head*. *Orthop. Clin. North Am.*, 16: 705-716, 1985.
- 23) Kirchner, P.T. and Simon, M.A.: *Current concepts review: Radioisotope evaluation of skeletal disease*. *J. Bone and Joint Surg.*, 63A: 673-681, 1981.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) Meyers, M.H., Telfer, N. and Moore, T.M.: *Determination of the vascularity of the femoral head with technetium 99m-sulphur-colloid*. *J. Bone and Joint Surg.*, 59A: 658-664, 1977.
- 28) Miller, I.L., Savory, C.G., Polly, D.W., Graham, G.D., Mc-Cabe, J.M. and Callaghan, J.J.: *Femoral head osteonecrosis-detection by magnetic resonance imaging versus single-photon emission computed tomography*. *Clin. Orthop.*, 247: 152-162, 1989.
- 29) 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*. *AJR*, 147: 67-71, 1986.
- 30) 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. Orthop.*, 244: 60-77, 1989.
- 31) Mitchell, D.G., Rao, V.M., Dalinka, M.K., Dalinka, M.K., Spritzer, C.E., Alavi, 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.
- 32) 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.
- 33) Powers, J.A.: *Magnetic resonance imaging in marrow disease*. *Clin. Orthop.*, 206: 79-85, 1986.
- 34) 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, 1990.
- 35) Springfield, D.S. and Enneking, W.J.: *Surgery for aseptic necrosis of the femoral head*. *Clin. Orthop.*, 130: 175-1978.
- 36) Steinberg, M.E.: *Early diagnosis of avascular necrosis of the femoral head*. *Instr. Course Lect*, St. Louis, C. V Mosby Co., 37: 51-57, 1988.
- 37) Thickman, D., Axel, L., Kessel, H.Y., et al.: *Magnetic resonance imaging of avascular necrosis of the femoral head*. *Skeletal Radiol.*, 15: 133-140, 1986.
- 38) 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*. *AJR*, 143: 1273-1280, 1984.
- 39) Zizic, T.M., Hungerford, D.S. and Stevens, M.B.: *Ischemic bone necrosis in systemic lupus erythematosus. I. The early diagnosis of ischemic necrosis of bone*. *Medicine*, 59: 134-142, 1980.