

대퇴골두의 비외상성 무혈성 괴사

영남대학교 의과대학 정형외과학교실

김 세 동

Non-traumatic Avascular Necrosis of the Femoral Head

Se Dong Kim

Department of Orthopedic Surgery
College of Medicine, Yeungnam University, Taegu, Korea

Abstract

Avascular necrosis of the femoral head is a debilitating disease that leads to destruction of the hip joint in patients who are in the third, fourth, or fifth decade of life.

The total societal cost is so high because these patients are generally young, hold jobs, and have a considerable life expectancy. Therefore, we have to delay or eliminate the need for total hip replacement as possible as we can.

The purpose of this review is to provide a current perspective of avascular necrosis of the femoral head.

Key Words: Non-traumatic avascular necrosis of the femoral head

서 론

대퇴골두의 무혈성 괴사는 주로 장년층의 남자에 침범하여 결국 고관절의 파괴로 이어지는 난치병의 하나이다. 우리나라에서의 유병률은 잘 알려져 있지 않으나, 미국의 경우에는 해마다 약 10,000~20,000명의 신환이 발생하는 것으로 추정하고 있다(Mankin, 1992).

대퇴골두의 무혈성괴사로 인한 이차성 고관절염에 대한 치료는 고관절 전치환술이 흔히 이용되고 있는데, 우리나라에서 고관절 전치환술의 가장 많은 원인

으로 생각된다(Coventry 등, 1974; Jacobs, 1978). 그러나 대퇴골두 무혈성괴사에 대한 고관절 전치환술의 결과가 다른 질환의 고관절 전치환술에 비해서 다소 나쁜 것으로 알려져 있다(Chandler 등 1981; Cabanela 등, 1990; Brinker 등, 1994). 이러한 조기실패의 원인은 여러 가지가 있을 것이나, 젊은 나이, 비만, 스테로이드 사용에 따른 대사장애와 진행되는 전신질환등이 관계한다고 한다(Dorr 등, 1983; Cornell 등, 1985). 더욱이 골괴사가 대퇴골두에 한정되지 않고 대퇴거(calcar femorale)에 침범될 수 있으므로 이것이 대퇴삽입물간(femoral stem)

의 고정에 불리하게 작용할 수 있을 것이다. 최근에 볼 수 있는 고관절 전치환술의 눈부신 발전과 이에 따른 젊은 환자의 조기 실패 비율의 감소에도 불구하고 대퇴골두 무혈성괴사에 대한 인공관절 치환술은 가능하면 피해야 한다는 것은 여전히 설득력이 있다. 이러한 환자들로 인한 사회적 비용이 엄청난데, 그것은 이 환자들이 젊고, 직업을 갖고 있으며, 재수술의 가능성이 높기 때문이다. 따라서 대퇴골두를 유지하는 치료가 인공관절치환술보다는 우선적으로 고려해야 할 방법이라 하겠다. 원인과 병인이 불명확한 상태이며 대퇴골두 무혈성괴사의 진단과 치료에 대해서도 아직도 상당한 논쟁과 다른 의견이 있다. 근래의 연구성과를 토대로 하여 대퇴골두 무혈성괴사의 전체적인 조망을 시도해 보고자 한다.

원 인

많은 연구가 진행되어 왔지만 아직도 이 질환의 정확한 발병원인과 발생기전에 대해서는 밝혀지지 않고 있으며, 다만 여러 가지 요인들이 복합되어 나타나는 장애로 간주되고 있다 (Mont와 Hungerford, 1995). 대퇴골두 무혈성괴사와 연관된 질환은 별표와 같다 (표1).

Table. 1 Clinical conditions associated with avascular necrosis

Use of corticosteroids	Gaucher disease
For systemic lupus erythematosus	Mycloproliferative disorders
For rheumatoid arthritis	Coagulation deficiencies
After renal transplantation	Trauma
For asthma	Chronic pancreatitis
Use of alcohol	Caisson disease
Sickle-cell and other anemias	Radiation

발생기전

발생기전도 여러 가지 가설이 제기되어 있는데, 대표적인 것은 지방전색증 (Jones, 1965, 1978, 1989), 지방세포의 비대 (Wang 등, 1977, 1978), 골수내 고혈압 (Hungerford, 1978), 골조송증 또는 미세골절 (Laurent, 1973) 등이다. 이 질환에 대한 여러 원인들에 비해서, 병리소견은 비교적 유사하다. 초기 췌기모양의 전외측 연골하 골경색은 정상

Table 2. Classification of avascular necrosis of femoral head

Roentgenogram	Bone scan	Pathological findings	Biopsy
Normal	Decreased uptake?		
Normal	Cold spot on femoral head	Infarction of weight-bearing portion of head	Abundant dead marrow cells, osteoblasts, osteogenic cells
Density change in femoral head	Increased uptake	Spontaneous repair of infarcted area	New bone deposited between necrotic trabeculae
Sclerosis or cysts, normal joint line, normal head contour			
Flattening (crescent sign)			
Loss of sphericity, collapse	Increased uptake	Subchondral fracture collapse, compaction and fragmentation of necrotic segment	Dead bone trabeculae and marrow cells on both sides of fracture line
Joint space narrowing, acetabular changes	Increased uptake	Osteoarthritic changes	Degenerative changes in acetabular cartilage

Table 3. Quantification of the extent of involvement by avascular necrosis

Stage	Grade	
I and II	A. mild	< 15% of head involvement as seen on radiograph or MRI
	B. moderate	15% to 30%
	C. severe	> 30%
III	A. mild	subchondral collapse (crescent) beneath < 15% of articular surface
	B. moderate	crescent beneath 15% to 30%
	C. severe	crescent beneath >30%
IV	A. mild	> 15% of surface has collapsed and depression is < 2 mm
	B. moderate	15% to 30% collapsed or > 4mm depression
	C. severe	> 30% collapsed or > 4 mm depression
V	A, B or C	average of femoral head involvement, as determined in stage IV, and estimated acetabular involvement

Table 4. The international classification of avascular necrosis of the femoral head

Stage	Characteristics
0	Bone biopsy results consistent with avascular necrosis; normal findings on all other tests
I	Positive scintiscan or magnetic resonance image, or both; lesions subdivided into medial, central, or lateral depending on location of involvement of femoral head
I A	< 15 per cent involvement of femoral head*
I B	15-30 per cent involvement of femoral head*
I C	> 30 per cent involvement of femoral head*
II	Radiographic abnormalities (mottled appearance of femoral head, osteosclerosis, cyst formation, and osteopenia); no signs of collapse of femoral head on radiographs or computerized tomography scan; positive scintiscan and magnetic resonance image; no changes in acetabulum; lesions subdivided into medial, central, or lateral depending on location of involvement of femoral head
II A	< 15 per cent involvement of femoral head*
II B	15-30 per cent involvement of femoral head*
II C	> 30 per cent involvement of femoral head*
III	Crescent sign; lesions subdivided into medial, central, or lateral depending on location of involvement of femoral head
III A	< 15 per cent crescent sign or <2-mm depression of femoral head +
III B	15-30 per cent crescent sign or 2 to 4-mm depression of femoral head+
III C	> 30 per cent crescent sign or 4-mm depression of femoral head +
IV	Articular surface flattened radiographically and joint space shows narrowing; changes in acetabulum with evidence of osteosclerosis, cyst formation, and marginal osteophytes

연골에 덮여 있으나 대부분의 경우 치유반응은 효과가 없으며 따라서 괴사골의 흡수가 일어나고 섬유조직과 육아조직으로 대체되며 결국에는 지주가 없는 연골은 붕괴되고 광범위한 관절파괴가 뒤따르게 된다.

진행시기 (staging)

Ficat와 Arlet(1980)가 표준방사선을 기초로 하여 4 진행 시기로 된 분류방법을 기술하였으며, 이것은 질환의 정도를 구분하는데 큰 도움을 주었다.

Hungerford와 Lennox(1990)는 자기공명영상을 이용하여 이 분류를 수정하였으며 stage 0를 첨가하였다(표 2).

Steinberg(1995)는 Ficat와 Arlet분류를 더욱 확대하여 6시기로 조정하고 그중 stageⅢ을 세분하였다. 이 분류는 대퇴골두의 침범정도를 나타낼 수 있으므로 임상적, 방사선학적 결과판정에 큰 도움을 줄 수 있다(표 3).

Ohzono등(1992)과 Japanese Investigation Com-mittee에서는 방사선학적인 무혈성 괴사 위치의 중요성을 첨가하였으며(그림 1), 이는 이 질환의 예후와 밀접한 관계가 있다.

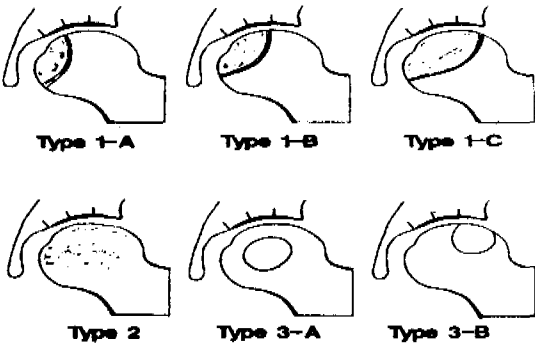


Fig. 1. Radiologic classification of avascular necrosis of femoral head.

1992년 ARCO (Association Research Circulation Osseous)에서는 위의 모든 분류들을 종합하여 새로운 국제분류체계를 제안하였으며, 지금까지 일관성 없이 사용되어 비교의 어려움과 혼란을

조래했던 분류상의 시행착오를 넘어 매우 유용하고 우수한 평가방법이 될 것으로 사료된다(표 4).

진단 방법

대퇴골두 무혈성괴사의 성공적인 치료는 치료초기의 진행시기(stage)에 밀접하게 연관되어 있으므로 치료의 모든 의논은 질환 초기의 정확한 진단으로부터 시작되어야 한다. 현재 사용되고 있는 진단 방법들은 다음과 같다.

1. 병력 및 이학적 검사

이 질환에 이환된 환자는 주로 서혜부 동통을 호소하며 때로는 동통이 슬관절이나 둔부로 방사하기도 한다. 이학적검사상 관절운동시 통증이 있으며 특히 내회전에서 심하다. 이러한 환자에서 방사선 소견이 음성일 경우라도 무혈성괴사에 대한 강한 의심을 가져야하며, 확실한 진단이 될 때까지 검사하여야 한다. 양측성 대퇴골두 무혈성 괴사는 약 50-80%로 보고되고 있다(Zizic 등 1980; Meyers, 1988).

2. 방사선적 검사

진단의 과정에서 고관절의 전후면사진과 frog-leg측면사진이 중요하다. 이 두가지 사진을 종합하면 무혈성괴사의 위치와 범위등을 알 수 있으며 병의 진행시기를 판정하는데 큰 도움이 된다.

3. 골주사 (Bone scan)

무혈성괴사를 검출하는데 technetium-99 methylene diphosphonate 골주사가 유용하다. 일반적으로 경색분절 주위의 반응은 지연영상에서 동위원소의 증가된 흡수를 나타낸다.

4. 자기공명영상 (MRI)

자기공명영상이 대퇴골두 무혈성괴사의 진단에 가장 정확하며 특히 조기진단에 있어 골주사보다 뛰어난 것으로 평가되고 있다(Genez 등, 1988; Hauzeur 등 1989). 전형적인 소견은 T1영상에서 괴사부위와 정상부위의 경계면에 신호강도가 낮은 띠를 나타내며,



Fig. 2 Magnetic resonance images.

T2영상에서 괴사부위와 정상부위 사이에 이중의 경계선이 나타나는데 괴사부위쪽 경계선은 높은 신호강도, 정상부위쪽 경계선은 낮은 신호강도로 소위 이중선(double line)을 나타내어 무혈성괴사의 진단에 매우 특이적인 소견이다(그림 2). 괴사부위의 신호강도는 질병의 시기에 따라 낮고 높은 신호강도가 다양하게 혼재되어 나타날 수 있다.

5. 골의 기능적 평가

골수압 측정, 정맥조영술, 핵심조직검사(core biopsy)등이며, 이러한 검사는 이 질환의 진단에 높은 감수성과 특이성을 가지지만 침습적이므로 제한이 따른다(Dutton 등 1982; Masuda 등 1988).

6. 조직생검

가장 결정적인 진단소견이 될 수 있으나, 너무 침습적인 방법이며 때로 표본추출에 잘못이 있을 수도 있다.

7. 컴퓨터 단층촬영

값이 비싸며, 방사선에 노출되는 부담이 있으나, 질환의 진행시기를 구분하는데 도움을 줄 수 있다(Magid 등, 1985; Meyers, 1988).

이러한 모든 방법을 이용하여 정확한 진단을 하여

Table 5. Criteria for the diagnosis of avascular necrosis of the femoral head

Specific criteria
Collapse of femoral head
Subchondral radiolucent line
Anterolateral sequestrum
Bone scan showing a photopenic region surrounded by area of increased activity
Double band on T2-weighted magnetic resonance image
Bone-biopsy specimen showing empty lacunae involving multiple adjacent trabeculae
Non-specific criteria
Collapse of femoral head with narrowing of joint space
Mottled cystic and osteosclerotic pattern in femoral head
Increased activity on bone scan
Changes on magnetic resonance image showing bone-marrow edema or fibrosis
Painful range of motion of hip with normal radiographic findings
History of alcohol or corticosteroid use
Non-specific but abnormal bone-biopsy findings showing bone-marrow edema and fibrosis

야 하며, 특히 방사선적 검사의 특징적인 소견, 자기 공명영상 T2 강조영상에서 보이는 double line, 골 주사의 흡수감소, 조직검사의 영상소견등이 중요하며, 이중 적어도 한 개 이상의 소견이 있어야 이 질환의 진단이 성립될 수 있다(표 5).

치 료

이 질환의 자연경과는 아직 확실하지 않으나, 대부분의 연구는 Stage I 혹은 II의 증상을 가진 경우 치료하지 않으면 2년내에 약 85%이상에서 불량한 결과를 나타내는 것으로 보고하고 있다. (Coste 등, 1965; Musso 등, 1986; Bradway 등, 1993)

치료는 크게 비수술적 방법과 수술적방법으로 대별할 수 있으며, 대퇴골두의 보존을 기준으로 할 때에는 원래의 관절을 유지하는 방법과 인공관절 치환 성형술로 나눌 수 있다.

치료 방법을 결정하는데 있어 가장 중요한 것은 질병의 진행시기이다. 즉 골두의 함몰이 심하지 않은 시기까지는 원래의 관절을 유지할 방법을 시도할 수 있으나, 함몰이 심하고 관절 파괴와 퇴행성변화가 있는 경우에는 인공관절 치환 성형술이외에는 선택의 여지가 거의 없다. 따라서 원래의 관절을 유지하기 위해서는 조기진단이 중요하다. 우리나라의 경우에는 한의원, 약국에서 시간과 돈을 허비하거나 병원에 와서도 척추 디스크등의 다른 질환으로 잘못 진단되어 치료가 늦어지는 경우가 많음은 안타까운 일이다.

비수술적 방법

1. 관찰 또는 보호된 체중부하

대부분의 연구는 비수술적방법은 불량한 결과를 보고하고 있다. 보호된 체중부하가 굳이 허용된다면 type-A병변이며, 이 병변의 유병율은 약 12%, 약 9%에서 골두붕괴를 보인다고 한다(Ohzono 등, 1991, 1992).

2. 약물치료

초기의 대퇴골두 무혈성 괴사에 대하여 Hyder-

gine, naftidrofuryl, vincamine, stanozolol 등의 약물치료가 시도되고 있으나 아직은 실험의 단계인 것으로 보인다. (Arlet 등, 1990; Mazieres, 1993)

3. 전기자극

실험적으로 전기자극은 골교체속도를 변화시킬 뿐만 아니라 골형성과 혈관신생을 촉진시키는 것을 보여 주었다. 그러나 현재까지의 연구결과는 전기자극이 실용화되기까지는 더 많은 연구가 필요한 것을 나타내고 있다(Aaron 등, 1989; Bassett 등, 1989).

수술적 치료 방법

1. 핵심감압술 (Core decompression)

1964년 Ficat와 Arlet가 핵심감압술의 대퇴골두 무혈성괴사에 대한 치료효과를 인지한 이후 이 치료방법의 효과에 대한 많은 논란이 있어왔다. Solomon(1981)은 핵심감압술이 이 질환의 치료에 주된 흐름이 되었다고 주장하였으나, Camp와 Colwell(1986)은 핵심감압술이 별로 효과적인 방법이 못되며 상대적으로 이환율이 높다고 하였다. Bozic 등(1999)은 핵심감압술이 stage-I 혹은 stage II A 경화성 질환에는 효과적이며 안전한 방법이지만, 낭종성질환에는 매우 제한적인 역할밖에 못한다고 하였다. 핵심감압술은 stage I 혹은 II의 비교적 경도내지 중등도 크기 병변에 적용될 수 있으며, 보다 큰 병변에는 제한적으로 사용되어야 할 것으로 보인다.

2. 핵심감압술과 전기 자극

Steinberg 등(1992)은 이 질환의 치료에 골이식술과 핵심감압술에다 직류전기자극을 추가하여 치료하였는데 핵심감압술 단독으로 치료한 예보다 더 좋은 임상적 방사선적 결과를 얻었다고 한다.

3. 절골술

대퇴골두 무혈성괴사의 치료에서 절골술의 사용 목적은 주체중부하 영역으로부터 괴사부위를 이동시켜 건강한 골로 지지되는 관절연골에 체중부하가 될

Table 6. Recommended treatment based on radiographic and clinical findings

Radiographic Evidence of Collapse of Femoral Head	Criteria								
	Involvement of Femoral Head (Per cent)	Location of Lesion	Radiographic Changes	Age (Yrs.)	Level of Activity	General Health	Use of Corticosteroids	Systemic Lupus Erythematosus	Method of Treatment
None	< 15	Type A	Osteosclerotic	≤50	Active	Good	None	Absent	Core decompression or electrical stimulation, or both
Mild	15-30	Type B					Intermittent or < 20mg prednisone/day		Osteotomy, vascularized or non vascularized bone graft
Severe	>30	Type C	Cyst formation	>50	Inactive	Poor	Continuous or ≥ 20 mg prednisone/	Present	Total hip replacement

수 있도록 하는 것이다. Sugioka(1982)에 의한 회전절골술은 극적인 절골술로 그 치료성적에 대해서는 매우 상반된 연구결과들이 있다. Sugioka 등(1992)은 약 78%의 성공률을 보고하고 있으나, Masuda(1988)의 69%, Sugano(1992)의 50%, Dean 등(1993)의 17% 성적도 보고되어 있다. 이러한 상반된 결과는 이 수술이 갖는 수기상의 어려움때문인 것으로 보이며, 인종적 차이에 따른 해부학적 구조 분제나 사회문화적인 배경은 무시할 만한 것으로 판단된다. 내반절골술과 외반절골술도 이 질환의 치료에 효과적인 방법의 하나이지만, 절골술이 갖는 한계로 인하여 수술적용에는 제한이 있을 것으로 사료된다. 적절한 환자의 선택, 정확한 수술수기등으로 효과적인 치료방법의 하나가 될 수 있으며, 이상적인 적용은 stageⅢ의 다소 작은 병변이다.

4. 비혈관부착 골이식술

피질골 골이식술은 이 질환의 치료에 오랫동안 사용되어 왔으며, 주된 기능은 구조적 지지로써, 대표적인 방법은 Plemister(1949), Bonfiglio 등(1958)의 cortical strut graft이다. 그러나 장기추시결과에 따른 치료결과와 성적은 불량하다. 보다 복잡한 비혈관성 골이식술은 대퇴경부에 피질골 창을 내어 이식골을 삽입하는 방법이 있으며, 치료성적은 다양하다. 그 외에도 소위 "trapdoor" 방법, 골연골동종이식도 시도

되고 있는데, 이러한 모든 골이식술은 stageⅡ, 초기 stageⅢ또는 핵심삽입술로 실패한 경우에 적용할 수 있을 것이다(Meyers 등, 1978; Ganz와 Buchler, 1983).

5. 혈관 부착 골이식술

대퇴골두 무혈성괴사의 치료로서 혈관부착 골이식술은 재혈관화를 촉진하고 괴사의 진행을 막는 데 목적이 있으며, 비혈관부착 골이식술에 비해 비교적 빠른 치유를 보인다. 수술수기에는 다양한 방법이 있으나, 공통적으로 이식공여부의 이혈원과 혈관의 개통유지가 난점으로 지적되고 있다(Urbaniak, 1987; Yoo 등, 1992; Iwata 등, 1993). 특히 장시간의 수술시간, 많은 수술인원, 술기의 탁월성이 필요하므로, 매우 제한된 적응증을 가진다. 따라서 이 방법은 심한 stageⅡ병변, 심한 초기 stageⅢ병변등에 적용이 될 것이다.

6. 기 타

말기 stageⅢ, stageⅣ에는 인공고관절 전치환술이 일반적인 치료방법이며, 때로 반치환술이나 양극성 반치환술이 시도되고 있으나 치료결과는 만족스럽지 못하다(Scott 등, 1987; Krackow 등, 1993). 이상의 여러 치료방법을 종합해보면, 대퇴골두 무혈성괴사에 대한 치료의 일반지침을 세울 수 있을 것이

며(표 6) 이를 환자의 나이, 직업, 재정상태, 병의 진행시기, 병변의 위치와 크기등을 고려하여 사용한다면 비교적 양호한 치료성적을 거둘 수 있을 것이다.

요 약

대퇴골두 무혈성괴사에 대해서는 수 많은 연구가 광범위하게 진행되어왔으나 아직 병인과 최선의 치료방법은 모르고 있는 실정이다. 앞으로 더 많은 연구와 분석이 이루어져서 새로운 정보가 추가된다면 이 질환으로 인한 유병율과 이환율을 줄일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

Aaron RK, Lennox D, Bunce GE, Ebert T: The conservative treatment of osteonecrosis of the femoral head. A comparison of core decompression pulsing electromagnetic fields. *Clin Orthop* 249: 209-218, 1989.

Arlet J, Maxieres B, Thiechert, M, Vallieres G: The effect of i.v. injection of naftidrofuryl (praxilene). In Arlet J, Maxieres B: Intramedullary pressure in patients with osteonecrosis of the femoral head. Bone circulation and bone necrosis. Berlin. Springer, 1990, pp. 405-406.

Bassett CAL, Schink-Ascani M, Lewis SM: Effects of pulsed electromagnetic fields on Steinberg ratings of femoral head osteonecrosis. *Clin Orthop* 246: 172-185, 1989.

Bonfiglio M, Bardenstein MB: Treatment by bone grafting of aseptic necrosis of the femoral head and nonunion of the femoral neck(Phemister technique). *J Bone Joint Surg* 40-A: 1329-1346. Dec. 1958.

Bozic K J; Zurakowski D, T S Thornhill: Survivorship analysis of hips treated with core decompression for nontraumatic osteonecrosis of the femoral head. *Bone and Joint Surg* 81-A: 200-209, 1999.

Bradway JK, Morrey BF: The natural history of the silent hip in bilateral arumatic osteon-

ccrosis. *J Arthroplasty* 8: 383-378, 1993.

Camp FF, Colwell CWJr: Core decompression of the femoral head for osteonecrosis. *J Bone and Joint Surg* 68-A: 1313-1319, 1986.

Cornell CN, Salvati EA, Pellicci PM: Long-term follow-up of total hip replacement in patients with osteonecrosis. *Orthop Clin North America* 16: 757-769, 1985.

Ciste F, Merle d'Aubigne R, Postel M, Massias P, Guegen J, Grellat P: Evolution de l'osteonccrose primitive de la tete femorale (O.N.P) et perspectives therapeutiques. *Presse Med* 73: 263-267, 1965.

Coventry MT, Cabancla ME: Transtrochanteric anterior rotational osteotomy for avascular necrosis of the femoral head. Longterm results. *J Bone and Joint Surg* 75-B(4): 597-601, 1993.

Dorr LD, Takei GK, Conaty JP: Total hip arthroplasties in patients less than fortyfive years old. *J Bone and Joint Surg* 65-A: 474-479, 1983.

Dutton RO, Amstutz HC, Thomas BJ, Hedley AK: Tharies surface replacement for osteonecrosis of the femoral head. *J Bone and Joint Surg* 64-A: 1225-1237, 1982.

Ganz R, and Buchler U: Overview of attempts to revitalize the dead head in aseptic necrosis of the femoral head-osteotomy and revascularization. In *The Hip: Proceedings of the Eleventh Open Scientific Meeting of The Hip Society*. C. V. Mosby, St. Louis, 1983, pp. 296-305.

Genez BM, Wilson MR, Houk RW, Weiland FL, Unger HR, Shields NN, Rugh KS: Early osteonecrosis of the femoral head: detection in high-risk patients with MR imaging. *Radiology* 168: 521-524, 1988.

Hauzeur JP, Pasteels JL, Schoutens A, Hinsenkamp M, Appelboom T, Chochrad I, Perlmutter N: The diagnostic value of magnetic resonance imaging in nontraumatic osteonecrosis of the femoral head. *J Bone and Joint Surg* 71-A: 641-649, 1989.

Jacobs B: Epidemiology of traumatic and

- nontraumatic osteonecrosis. *Clin Orthop* 130: 51-67, 1978.
- Jergesen HE, Khan S: The natural history of untreated hips with nontraumatic osteonecrosis. A minimum 5 year follow-up (abstract). *ARCO Proc*, 5: 56, 1994.
- Magid D, Fishman EK, Scott WW, Jr., Brooker AF, Arnold WP, Lennox DW, Siegelman SS: Femoral head avascular necrosis: CT assessment with multiplanar reconstruction. *Radiology* 157: 751-756, 1985.
- Mankin HJ: Nontraumatic necrosis of bone (osteonecrosis). *New Engl J Med* 326: 1473-1479, 1992.
- Mazieres B: Conservative non-invasive treatment of osteonecrosis of the femoral head. In Schoutens A, Arlet J, Gardeniers JWM, Hughes SPF: Bone circulation and vascularization in normal and pathologic conditions. Plenum Press, New York, 1993, pp. 323-329.
- Meyers MH: The treatment of osteonecrosis of the hip with fresh osteochondral allografts and with the muscle pedicle graft technique. *Clin Orthop* 130: 202-209, 1978.
- Meyers MH: Osteonecrosis of the femoral head. Pathogenesis and longterm results. *Clin Orthop* 231: 51-61, 1988.
- Musso ES, Mitchell SN, Schink-Ascani M, Bassett CAL: Results of conservative management of osteonecrosis of the femoral head. A retrospective review. *Clin Orthop* 207: 209-215, 1986.
- Ohzono K, Saito M, Sugano N, Takaoka K, Ono K: The fate of nontraumatic avascular necrosis of the femoral head. A radiologic classification to formulate prognosis. *Clin Orthop* 277: 73-78, 1992.
- Ohzono K, Saito M, Takaoka K, Ono, K, Saito S, Nishina T, Kadowaki T: Natural history of nontraumatic avascular necrosis of the femoral head. *J Bone and Joint Surg* 73-B(1): 68-72, 1991.
- Phemister DB: Treatment of the necrotic head of the femur in adults. *J Bone and Joint Surg* 31-A: 55-66, 1949.
- Solomon I: Idiopathic necrosis of the femoral head: pathogenesis and treatment. *Canadian J Surg* 24: 573-578, 1981.
- Steinberg ME, Hayken GD, Steinberg DR: A quantitative system for staging avascular necrosis. *J Bone and Joint Surg* 77-B(1): 34-41, 1995.
- Steinberg ME, Brighton CT, Hayken GD, Tooze SE, Steinberg DR: Early results in the treatment of avascular necrosis of the femoral head with electrical stimulation. *Orthop Clin North America* 15: 163-175, 1984.
- Sugano N, Takaoka K, Ohzono K, Matsui M, Saito S: Rotational osteotomy for nontraumatic avascular necrosis of the femoral head. *J Bone and Joint Surg* 74-B(5): 734-739, 1992.
- Sugioka Y, Hotokebuchi T, Tsutsui H: Transtrochanteric anterior rotational osteotomy for idiopathic and steroidinduced necrosis of the femoral head. Indications and long-term results. *Clin Orthop* 277: 111-120, 1992.
- Sugioka Y, Katsuki I, Hotokebuchi T: Transtrochanteric rotational osteotomy of the femoral head for the treatment of osteonecrosis. Followup statistics. *Clin Orthop* 169: 115-126, 1982.
- Zizic TM, Hungerford DS, Stevens MB: Ischemic bone necrosis in systemic lupus erythematosus. II. The early diagnosis of ischemic necrosis of bone. *Medicine* 59: 134-142, 1980.
- Zizic TM, Mont MA, Hungerford DS: The predictive value of hemodynamic studies in preclinical ischemic necrosis of bone. *J Rheumatol* 16: 1559-1564, 1989.