

혈관부착장골이식술을 이용한 특발성대퇴골두괴사의 재생술에 대한 예보

계명대학교 의과대학 정형외과학교실

강창수 · 손승원 · 송광순 · 강철형

= Abstract =

Revitalization of Osteonecrosis of the Femoral head by Vascular Pedicled Iliac Bone Grafting — A Preliminary Report —

Chang Soo Kang, M.D., Sung Won Sohn, M.D., Kwang Soon Song, M.D. and
Cheol Hyung Kang, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, DongSan Medical Center, Keimyung University
Taegu, Korea

Idiopathic osteonecrosis of the femoral head is an important and unresolved problem in orthopaedic surgery. Generally the progressive collapse of the femoral head and ultimate osteoarthritis of the hip will ensue requiring joint replacement. But longterm results of total hip joint replacement surgery are unfavorable especially in young patients. Therefore, if alternatives to the total joint replacement are to be effective, they must be applied especially in young patients with osteonecrosis of the femoral head.

Recently we attempted the vascular-pedicled iliac bone graft (VPIBG), using the deep circumflex iliac vessel as a vascular pedicle, in 13 hips of 10 patients with idiopathic osteonecrosis of the femoral head and followed up 9-19 months after operation. Aims of this procedure are to decompress the femoral head hence allowing better circulation, to revitalize the dead head by insertion of live bleeding bone and to give a mechanical support preventing further collapse of the femoral head.

Though more follow up studies are required, the preliminary results seen during 9-19 months after surgery are encouraging enough to be reported.

Key Words: Osteonecrosis, Femoral head, Revitalization, Vascular pedicled iliac bone graft, Deep circumflex iliac vessel.

서 론

대퇴골두괴사는 여러가지 원인으로 대퇴골두에 골괴사가 발생하여, 치유되지 않고 계속 진행될 경우 이차적으로 대퇴골두가 붕괴(collapse)되고, 골관절염이 속발되는 질환이다.

대퇴골두괴사는 그 원인에 따라 크게 두 가지로 구분될 수 있는데, 첫째는 대퇴경부골절이나 고관절탈구후에 오는 외상성(post-traumatic) 대퇴골두괴사이고, 둘째는 원인이 확실치 않은 특발성(Idiopathic), 또는 원발성(primary) 대퇴골두괴사이다.

그중 특발성대퇴골두괴사는 1962년 Mankin, Brower가 5례의 특발성대퇴골두괴사환자를 보고 하면서 문헌에서 총 22례를 찾을 수 있었다고 할 정도로 그 보고빈도가 적었으나^{1,2)}, 최근에는 보고빈도가 증가하고 있어서³⁾ 그 중요성 역시 강조되어지고 있다. 이 질환의 병인이 아직 확실치 못하고 가설단계에 있듯이, 치료방법 또한 많은 방법들이 제시되어 왔으나 괴사된 대퇴골두를 재생시키고, 대퇴골두의 붕괴(collapse)를 방지한다는 관점에서 볼 때 아직은 확실한 방법이 드문 형편이다. 특히 젊은 연령층에서 이 질환이 발생하여 고관절전대치술을 시행할 때 합병증으로 수차의 재수술을 필요로

하는 경우가 많으므로^{18, 19)}, 괴사된 대퇴골두를 재생 시키거나 진행적인 대퇴골두붕괴를 방지할 수 있는

수술방법이 더욱 절실히 요구되는 시점이라 하겠다 (Fig. 1-B).

이에 대해 본 정형외과학교실에서는 심장골회선 동맥 (Deep circumflex iliac artery)을 이용한 혈관 부착장골편 (vascular pedicled iliac bone block)을 괴

Fig. 1-A. The schema of the vascular pedicled iliac bone graft (VPIBG). Purposes: 1) to revitalize the necrotized femoral head, 2) to give a supportive (strut) effect, 3) to decompress the marrow pressure of the femoral head.

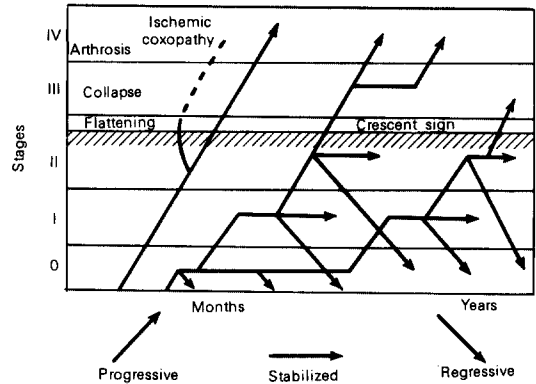


Fig. 1-B. Possibilities in the evolution of osteonecrosis of the femoral head²²⁾.

Table 1. Staging of idiopathic osteonecrosis of femoral head by Ficat et Arlet

	Radiologic	Clinical
Stage 0	Normal	Normal
Stage 1	Normal	Dull pain in groin
Stage 2	Increased radiodensity	Dull pain in groin
Stage 3	Subchondral radiolucency, sequestrum formation, mild flattening of femoral head	Increased pain & decreased range of motion
Stage 4	Severe flattening of femoral head, diminution of joint space osteophytes	Increased pain & decreased range of motion

Fig. 2-A

Fig. 2-B

Fig. 2. Case 1. A preoperative A-P roentgenogram (2-A) and the schema of VPIBG (2-B) in the right hip. A radiodense area is noted in the right femoral head (Stage 2).

사된 대퇴골두 부분을 소파해내고, 대퇴골 경부 및 두부에 삽입하여, 혈액공급이 풍부한 골편에 의한 대퇴골두의 재생 (revitalization)을 돕고, 동시에 체중부하부위와 대퇴골경부의 골간단부축을 연결하는 버팀효과(strut effect)와 골수압의 감압효과를 얻도록 하였다 (Fig. 1-A).

총 17명의 환자 23 Hips에서 혈관부착장골이식술

(vascular pedicled iliac bone graft)을 시행하였으며 그중 9~19개월간 추적되어 결과를 예측할수 있었던 10명의 환자 13 Hips에서는 좋은 결과를 얻었기에 문헌고찰과 함께 일차예보하여, 향후 더 많은 예수와 장기간의 추후관찰을 하여 재차 보고 하고자 한다.

Fig. 3-A

Fig. 3-B

Fig. 3. Case 1. A preoperative A-P (3-A) roentgenogram and the schema of VPIBG (3-B) in the left hip. The left femoral head is partially collapsed and shows mottled areas of increased radiodensities but relatively well preserved joint space (Stage 3).

Fig. 4-A

Fig. 4-B

Fig. 4. Case 1. The variable views of left hip arthrogram show the partially collapsed femoral head but relatively well preserved joint space (4-A). Deep circumflex iliac artery (DCIA) is well visualized in the preoperative angiogram (4-B).

연구대상

1984년 1월부터 1985년 5월까지 본원에서 혈관부착장골이식술(vascular pedicled iliac bone graft)을 받았던 17명의 대퇴골두괴사 환자를 연구대상으로 하였다.

총 17명 31 Hips 중, 23 Hips에서 혈관부착장골이식술을 받았으며 그중 9~19개월 추적되어 결과를 어느정도 예견할 수 있었던 10명의 환자 13 Hips에서 예비적 결론을 얻었다(Table 3).

본원 증례에서는 Ficat et Arlet의 방법에 의한 Stage 분류방식을 사용하였다(Table 1)²²⁾.

혈관부착장골이식술(vascular pedicled iliac bone graft)의 시기

1. 수술전 혈관조영술(preoperative angiography)

수술전에 미리 혈관조영술을 시행하여 심장굴회선동맥(deep circumflex iliac artery)의 주행과 분지를 잘 파악한후 수술을 시행하는 것을 원칙으로 하였다. 그러나 심장굴 회선동맥은 비교적 혈관기형적고, 수술시 서혜부인대 직상방의 외장골동맥(external iliac artery)에서 쉽게 확인 할 수 있고, 여기에서 외측방으로 비교적 용이하게 박리할 수 있으므로 23례중 5례에서는 혈관조영술 없이 심장굴

회선동맥의 주분지를 확인, 박리할 수 있었다.

심장굴회선동맥의 상행분지(ascending branch)는 상당한 개인차(individual variation)가 있을 수 있으므로 수술시 혼돈하지 않도록 유의해야 한다(Fig. 5)⁶⁰⁾.

2. 수술시기^{26, 41, 60)}

피부절개는 Smith-Peterson씨의 iliofemoral incision과 Salter씨 무명절골술때 사용되는 피부절개를 병용한 것으로 비스듬한 T-모양을 이루게 된다. 우선 서혜부인대를 따라 전상장골극을 지나 장골까지 피부절개를 가한후 서혜부인대 직상방을 박리하여 외장골동맥에서 외측으로 기시하는 심장굴회선동맥을 확인한다. 대개 이부위의 내측으로는 하복벽동맥(inferior epigastric artery)을 확인할 수 있다. 일단 심장굴회선동맥이 확인되면 동행하는 정맥과 함께 외상방으로 박리하여, 전상방장골극부근까지는 혈관을 주위조직과 분리하여 이동가능하도록 하며, 그 이후부터는 장골익으로가는 분지의 손상을 막기위해, 장골익으로부터 약 0.5cm의 근육을 붙여둔채 박리한다. 그후 필요한 만큼의 장골익외면을 골막하박리하여 심장굴회선동맥을 부착한채 En bloc resection해낸다.

이때 골편채취는 전상방장골극에서 약 2.5cm 후방에서 시작하여 필요한만큼 더 후방으로 절개채취하게된다. 정확한 시기후에는 채취된 골편에서 실시한 동맥성의 출혈을 관찰할 수 있다(Fig. 6-A).

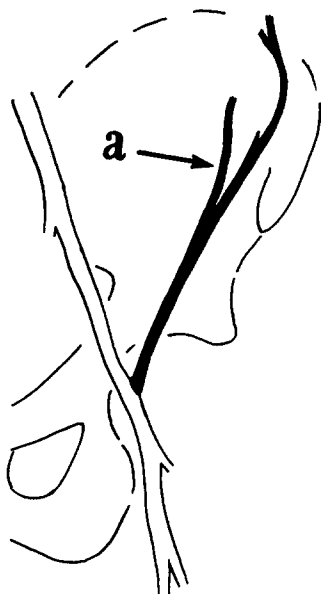


Fig. 5-A

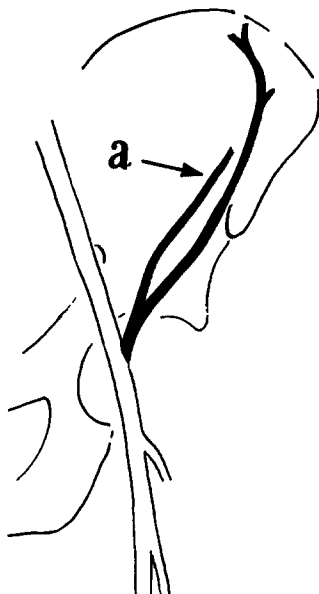


Fig. 5-B

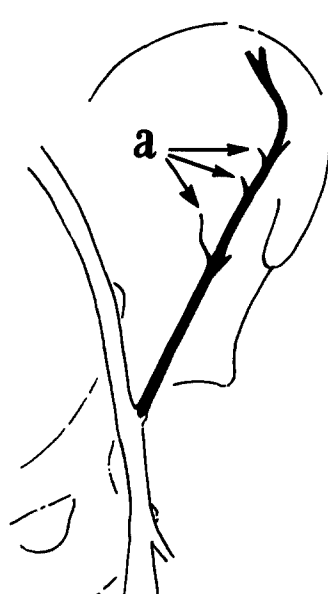


Fig. 5-C

Fig. 5. The variations in the origin of the ascending branch of DCIA (Deep Circumflex Iliac Artery). 5-A (62 %), 5-B (16 %), 5-C (22 %).

그후 Smith-Peterson 씨 방법으로 고관절을 노출시키고 고관절막에 T-자 모양의 절개를 가한후, 대퇴골경부의 전상방에 직사각형의 창을 내고 이를 통하여 대퇴골두의 피사된 골조직을 소파해내며, 나머지 부분에 대해서는 필요에 따라 multiple drilling을 실시한다. 이때 창외의 골간부쪽에 있는 골수에서 신선한 동맥성출혈을 관찰할 수 있다. 소파한 공동과 대퇴골경부에 낸 창의 크기에 맞추어 혈관부착장골편을 다듬어 삽입하며, 필요에 따라 해면골 이식을 추가한다. 이때 심장골회선동맥은 대퇴직근의 전방을 지나게되며, 혈관부착장골편은 외고정이 필요없을 정도로 가능한 꼭 맞게 삽입 되어야 한다.

3. 수술후 치료

수술후, 이식된 혈관부착장골편으로 가는 심장골회선동맥이 긴장되지 않도록 하기위해 수술을 시행한쪽의 고관절을 굴곡 30°, 내회전 15° 위치에서 침상안정시켰으며, 약 2주후부터 점진적인 고관절운동을 시작하여 수술전 운동범위를 다시 얻도록 노력하였다.

편측성인 경우나, 양측성이라도 수술치 않은쪽이 경한 경우(Ficat Stage 0, 1)에는 수술후 약 4주부터 수술측의 비체중부하 보행연습을 시작하였고, 양

측 모두 심한 상태(Ficat Stage 3, 4)인 경우에는 정도에 따라 약 3~6개월후부터 부분체중부하 보행연습을 시작하였으며, 방사선 소견에 따라 약 6~12개월 후에 목발사용없이 보행시켰다.

증 례

증 례 1(Fig. 2, 3, 4, 6, 7)

남자 29세 환자로 약 1년전부터 좌측 고관절부위에 동통이 있었고 점차 운동제한이 심해지면서, 약 2개월 전부터 우측고관절에도 동통이 나타나 내원하였다. 내원하기 약 20개월 전에 교통사고로 인한 두부손상으로 corticosteroid를 약 3주간 사용한 과거력이 있었다.

수술전 방사선소견상 우측 대퇴골두에는 붕괴(collapse)없이 부분적인 경화상이 나타나 있어서 stage 2에 해당되었으며(Fig. 2), 좌측 대퇴골두에는 전반적인 경화상과 대퇴골두붕괴가 있었으나(Fig. 3), 좌측 고관절조영술에서 관절강은 잘 유지되어 있었고 부분적인 골두붕괴가 있으나, 대퇴골두가 비교적 구형을 잘 유지하고 있어서(Fig. 4-A) Stage 3에 해당되었다.

수술전 혈관조영술(Fig. 4-B)을 시행한바 Ascending branch가 상당히 내측에서 기시하고 있었다

Fig. 6-A

Fig. 6-B

Fig. 6. Case 1. The vascular pedicled bone block shows profuse bleedings (6-A). Eight weeks postoperatively, The DCIA is well functioning as a feeding artery of the grafted bone block (6-B).

(Fig. 5-B)^{*)}.

그후 좌측고관절에 혈관부착 장골이식술을 시행하였으며(Fig. 6-A), 술후 8주에 시행한 혈관조영술에서 심장굴회선동맥이 대퇴골경부 및 두부로 향하고 있었고 충분한 혈액을 공급하고 있음을 보여 주

었다(Fig. 6-B).

수술후 12개월에 동통없이 보행가능하였으며, 수술후 19개월에 추적된 방사선 소견상 대퇴골두 경화상이 감소되어 골두재생의 소견이 분명하였으며, 진행적인 대퇴골두붕괴(collapse)는 전혀없고 관절

Fig. 7-A

Fig. 7-B

Fig. 7. Case 1. Nineteen months after operation, A-P (7-A) and frog lateral (7-B) views of the left hip show revitalization of the femoral head without further necrosis and collapse. The joint space is relatively well preserved.

Fig. 8-A

Fig. 8-B

Fig. 8. Case 2. Preoperative A-P (8-A) and frog lateral roentgenograms of a 28 years old male patient show subchondral radiolucency and sequestrum formation but the femoral head sphericity is relatively well maintained (Ficat stage 4).

강은 잘 유지되었다(Fig. 7).

우측고관절에 대해서는 Sugioka osteotomy를 시행하였다.

증 례 2(Fig. 8, 9)

남자 28세 환자로 내원하기 약 2년전부터 좌측

Fig. 9-A

Fig. 9-B

Fig. 9. Case 2. A-P (9-A) and frog lateral (9-B) roentgenograms of the left hip of the same patient shown in Fig. 9, 11 month after VPIBG procedures. Radiopacities are reduced without further collapse of the femoral head.

Fig. 10-A

Fig. 10-B

Fig. 10. Case 3. The preoperative angiogram of the right hip (10-A) and preoperative A-P view of the left hip (10-B). The deep circumflex iliac artery (arrow) is well visualized and the right femoral head shows Ficat stage 2 changes(10-A). The left femoral head is collapsed with increased radiodensity but the joint space is relatively well maintained(10-B).

고관절에 동통이 나타났으며 점차 동통이 심해지고 운동제한이 심해져서 내원하였다. 수술전 방사선 소견상 대퇴골두의 전상부에 sequestrum형성이 있고 경미한 대퇴골두붕괴와 osteophytes가 보여서 Stage 4의 초기단계에 해당되었다(Fig. 8). 그러나 대퇴골두의 구형이 비교적 잘 유지되어 있고 관절강

협소가 심하지 않을 뿐 아니라 젊은 연령층이어서 고관절성형술보다는 혈관부착 장골이식술을 시행하였다. 술후 11개월에 추적된 방사선소견상(Fig. 9) 진행된 대퇴골두붕괴가 없고 대퇴골두경화상이 감소되어 재생(revitalization)과정중에 있음을 알수 있었다.

Fig. 11-A

Fig. 11-B

Fig. 11. Case 3. A-P roentgenogram of the right (11-A), and the left (11-B) hips, 12 months and 11 months after VPIBG procedures respectively. Roentgenograms of both hip show reduced radiopacities, of femoral heads without further collapse.

Fig. 12-A

Fig. 12-B

Fig. 12. Case 4. Preoperative A-P views of the both hips in a 45 years old male patient. The right femoral head shows a wide area of increased radiodensity without collapse (stage 2), but the left femoral head shows no radiological changes.

증례 3(Fig. 10, 11)

남자 53세 환자로 약 20개월 전부터 좌측 고관절 부위에 심한 동통이 있었고 약 1개월전부터 우측 고관절부위와, 서혜부에도 동통이 나타나 내원하였다.

수술전 방사선소견상 우측 대퇴골두는 전반적으로 골경화상을 보이면서 중앙에는 음영이 감소된 부

분이 보였으며, crescent sign이나 대퇴골두붕괴는 없어서 Stage 2에 해당되었다. 좌측 대퇴골두는 상당한 붕괴와 함께 골경화상을 보이고 있었으나 관절강협소는 심하지 않았다(Fig. 10). 양측 모두 혈관부착 장골이식술을 시행하였으며, 우측 12개월, 좌측 11개월 추적중의 방사선소견상 진행적인 대퇴골두붕괴 없이 골경화상이 감소되고 있었다(Fig. 11).

증례 4(Fig. 12, 13, 14, 15, 16)

Fig. 13-A

Fig. 13-B

Fig. 13-C

Fig. 13. Case 4. Simple A-P roentgenogram (13-A) and radioisotope scans (13-B, C) of the right hip in the same patient shown in Fig. 12. A wide area of reduced photon activity is noted in the radioisotope scan (13-B, C).

Fig. 14-A

Fig. 14-B

Fig. 14. Case 4. A-P (14-A) and frog lateral (14-B) roentgenogram of the right hip 9 months after VPI BG procedures. Neither collapses of the femoral head nor signs of progressive necrosis are seen.

Fig. 15-A

Fig. 15-B

Fig. 15-C

Fig. 15-D

Fig. 15. Case 4. The left hip of the same patient is asymptomatic clinically and shows no radiological changes (15-A). But the radioisotope bone scan shows questionable cold area in the superolateral femoral head (15-B, C), and the intraosseous venogram shows massive diaphyseal reflux (15-D).

Fig. 16-A

Fig. 16-B

Fig. 16. Case 4. A-P (16-A) and lateral (16-B) roentgenograms of the left hip 4 month after anterior decompression, multiple drilling and strut bone graft.

남자 45세 환자로 약 3개월 전부터 우측 서혜부에 경미한 동통이 있어서 내원하였으며 좌측에는 증상이 없었다.

수술전 방사선소견상 우측 대퇴골두에는 골경화상이 보였으나 좌측에는 방사선적 이상은 없었다(Fig. 12). 수술전에 골주사를 실시하였는데 우측대퇴골두에 선명한 cold area가 나타났고 좌측에도 유사한 소견을 보였다(Fig. 13-B, C, 15-B, C).

수술시 좌측대퇴골의 골수압(bone marrow pressure)을 측정해보니 45cmH₂O(약 34mmHg)로서 비교적 높은 편이었으며 이어서 실시한 골내정맥조영술(intraosseous venogram)에서는 심한 diaphyseal reflux를 보였다(Fig. 15-D). Stage 2에 해당되었던 우측 대퇴골두에 대해서는 혈관부착 장골이식술을, Stage 0에 해당되었던 좌측 대퇴골두에 대해서는 대퇴골경부의 전상방에 직사각형의 창을 내고 피사부를 소파한후 나머지부분에 대해 multiple drilling을 한 후에 free iliac bone block을 삽입하였다(Fig. 16).

우측 9개월, 좌측 4개월의 추적관찰중 대퇴골두의 피사진행소견이나 붕괴현상은 전혀 나타나지 않아 골두가 재생과정중에 있는 것으로 사료된다(Fig. 14, 16).

임상적으로 환자는 동통이 소실되고 안정감을 갖고 체중부하중에 있다.

증례 5(Fig. 17, 18, 19)

남자 66세 환자로 내원하기 약 18개월 전부터 우

측고관절동통과, 운동제한이 있었고 약 1개월 전부터 좌측 서혜부에 경미한 동통이 나타나 내원하였다. 약 2년전 교통사고로 인한 두부손상으로 타병원에서 2개월간 입원치료한 과거력이 있었다.

우측은 Stage 3, 좌측은 Stage 2에 해당되었으며, 수술전 골주사소견에서 우측 대퇴골두에는 방사성동위원소흡수가 증가되어 있었고 좌측대퇴골두에는 cold area가 나타나 있었다(Fig. 17-A, 17-B). 양측 대퇴골두 모두에 혈관부착장골이식술을 시행하였으며(Fig. 18-B), 수술후 우측 9개월, 좌측 3개월의 추적관찰중 진행적인 대퇴골두 붕괴나 피사의 소견은 보이지 않았다(Fig. 19).

증례 6(Fig. 20, 21, 22)

남자 66세 환자로 약 2년전부터 좌측 고관절부위에 동통이 나타나고 점차 운동제한이 있었으며, 약 3개월 전부터 우측에도 경한 동통이 나타나 내원하였다. 수술전 방사선 소견상 좌측 대퇴골두에 광범위의 반점상의(mottled) 골경화상이 나타나 있었고 외측부에 약간의 붕괴가 있었으나 우측에는 특별한 방사선적소견이 없었다(Fig. 20). 수술전 골주사소견상 좌측대퇴골두에는 방사성동위원소 흡수가 증가되어 있었으나 우측대퇴골두에는 감소되어 cold area가 나타나 있었으며(Fig. 21-B), 수술시 우측대퇴골의 골내 정맥조영술에서는 Diaphyseal reflux가 보였다(Fig. 21-A).

우측대퇴골두에 대해서는 대퇴골경부의 전상방에

Fig. 17-A

Fig. 17-B

Fig. 17. Case 5. A radioisotope scan of a 66 years old male patient. Increased photon activities are noted in right hip 6 months after VPIBG procedure and decreased radioisotope uptake in the superolateral aspect of the left femoral head (The left hip is a preoperative state). Anterior view (17-A) and left anterior oblique view (17-B).

창을 내고 이를 통하여, curettage, multiple drilling
을 시행하고 동시에 iliac bone strut graft를 추가
하였으며 (Fig. 22), 좌측에는 혈관부착 장골이식술
을 시행할 예정이다.

증 례 7 (Fig. 23, 24, 25, 26)

남자 64세 환자로 내원하기 약 1년전부터 우측
고관절에 동통이 나타났고, 점차 동통이 심해지면

Fig. 18-A

Fig. 18-B

Fig. 18. Case 5. Preoperative (18-A) and immediate (18-B) postoperative roentgenograms of left hip after VPIBG procedures.

A

B

Fig. 19. Case 5. A-P roentgenograms of the right (9 months after VPIBG procedure: 19-A) and the left (3 months after VPIBG procedure: 19-B) hips. There are no evidences of progressive necrosis in both femoral heads.

Fig. 20. Case 6. An A-P view of the pelvis in 66 years old male patient. The symptomatic right hip shows no radiological changes yet. But the left femoral head shows wide, mottled area of increased radio-densities and a faintly visualized crescent sign.

Fig. 21-A

Fig. 21-B

Fig. 21. Case 6. An intraosseous venogram (21-A) and radioisotope scans (21-B) of the same patient shown in Fig. 20. Diaphyseal refluxes are seen (21-A) and decreased photon activities in right femoral head increased photon activities in the left femoral head (21-B).

Fig. 22-A

Fig. 22-B

Fig. 22. Case 6. A schema (22-A) of anterior decompression, multiple drillings and strut bone graft in right hip of the same patient shown in Fig. 20. A biopsy specimen, obtained from the same patient, shows the junction of necrotized and viable areas of bone (22-B).

Fig. 23-A

Fig. 23-B

Fig. 23. Case 7. Preoperative A-P roentgenogram of both hips in a 64 years old male patient. **23-A:** Right hip shows the segmental collapse and sequestrum formation. **23-B:** Left hip shows no definite radiological changes.

Fig. 24-A

Fig. 24-B

Fig. 24. Case 7. Frog lateral roentgenograms in the same patient shown in Fig. 23. **24-A:** Right hip shows the segmental collapse and sequestrum formation in the superolateral portion of the femoral head (Stage 3). **24-B:** Left hip shows no definite radiological changes in plain X-ray (clinically asymptomatic hip ie, Stage 0).

서 운동제한도 나타나 내원하였다. 내원시 좌측 고관절에는 증상이 없었다. 수술전 방사선 소견상 우측 대퇴골두 상외측부에 대퇴골두 붕괴 및 부골화가

가 있었으며, 좌측 대퇴골두에는 방사선적 이상이 발견되지 않았다 (Fig. 23, 24). 수술전에 골주사를 시행하였더니 좌측대퇴골두에 cold area가 보였다

Fig. 25-A

Fig. 25-B

Fig. 25-C

Fig. 25. Case 7. Radioisotope (Tc99m-MDP) scans (25-A, B) and intraosseous venogram (25-C) in the same patient shown in Fig. 23. **25-A:** Increased uptake is noted in the right femoral head except a focal area of decreased uptake. **25-B:** Decreased uptake of radioisotope in superior aspect of the left femoral head. **25-C:** Intraosseous venogram of the left hip shows poor fillings of metaphyseal veins.

Fig. 26-A

Fig. 26-B

Fig. 26. Case 7. AP views of the left hip during (26-A) and after (26-B) core biopsy (core decompression) with a trephine.

(Fig. 25-A, B). 우선 좌측대퇴골의 골수압을 측정하였던바 34 cm H₂O (25 mmHg)로서, 큰 의의는 없었으며, 골내정맥조영술에서는 Metaphyseal vein이 잘 나타나지 않아(Fig. 25-C), 유의하게 생각되었으며 확진과 치료를 위해 core biopsy를 시행하였고(Fig. 26-A), 4개월 추적후 진행되는 괴사의 소견은 없었다(Fig. 26-B). Stage 3에 해당되었던 우측대퇴

골두에 대해서는 최근 혈관부착 장골이식술을 시행하였다.

증례 분석

특발성 대퇴골두괴사 환자 17명 모두 남자였으며, 환자의 평균연령은 46.3세였다. 17례중 양측성

Table 2. Performed procedures and numbers of hips 17 patients (31 hips) with idiopathic necrosis of the femoral head

No. of hips with INFH		Performed procedures	
Stage 0	2 hips	Core biopsy.....	1
		Curettage, drilling & bone graft.....	1
1	1 hip	Curettage, drilling & bone graft.....	1
2	8 hips	VPIBG*.....	6
		Sugioka osteotomy.....	1
		Not operated yet	1
3	13 hips	VPIBG*.....	11
		Not operated yet	2
4	7 hips	VPIBG*.....	6
		Bicentric endoprosthesis	1

INFH : Idiopathic necrosis of the femoral head, VPIBG*: Vascular pedicled iliac bone graft

Table 3. Thirteen hips (10 patients) that had undergone VPIBG procedure and the preliminary results 9-19 months after surgery

VPIBG* procedure			Results of VPIBG*
Stage 0	1 hip	—	
1	1 hip	—	
2	7 hips	5 hips	VPIBG* in 10 hips: No further collapse of femoral head and evidence of radiological healing
3	6 hips	5 hips	
4	3 hips	3 hips	VPIBG* in 3 hips: 2: No further collapse and evidence of radiological healing 1: Further collapse

VPIBG*: Vascular pedicled iliac bone graft

이 14례로 약 82%였고, 편측성이 3례로 약 18%였다.

총 31 hips를 Ficat et Arlet에 의한 Stage 별로 보면 Table 2와 같다.

과거력상 약물을 사용했던 경우를 보면 교통사고로 인한 두부손상으로 Steroid를 사용한 경우가 2례, 피부습진으로 전신적 Steroid를 사용한 경우가 1례, 그의 확실치는 않지만 약 사용후의 증상으로 미루어 Steroid라고 추측되었던 경우가 3례 있었으며, 나머지 10례에서는 특별한 약물이나 질병의 과거력이 없었고, 입원당시 시행되었던 잔기능이나 신기능검사상에도 이상이 없었다.

총 31 hips 중 혈관부착 장골이식술을 시행했던 경우가 23 hips; Curettage, multiple drilling & iliac bone graft, 2 hips; Sugioka osteotomy, 1 hip; Bipolar endoprosthesis, 1 hip; 양측성인 경우에서 아직 반대측 고관절에 수술을 받지 않은 경우가 4 hips였

다(Table 2).

Stage 0에서 Core biopsy를 시행하였던 1례에서는 골괴사가 확인되었고, 4개월후의 방사선 소견상 골경화상이 나타나지 않고 있으며, Stage 0, 1에서 Curettage, multiple drilling & bone graft를 시행했던 2례에서도 대퇴골두의 골경화상이 나타나지 않고 있으나 계속적인 추후관찰이 요할 것으로 사료된다.

Stage 4에 해당되었던 환자에서 연령이 60세 이하이고 관절강이 비교적 잘 유지되었던 6 hips에서는 가능한 고관절 전치환술의 시기를 지연시키고 자신의 고관절을 사용할 수 있도록 하기 위해 혈관부착 장골이식술을 시행하였으며, 60세 이상이고 Stage 4에 해당되었던 1 hip에서는 bipolar endoprosthesis를 시행하였다. 혈관부착 장골이식술을 시행하였던 23 hips 중 9~19개월간 추적되어 결과를 예측할 수 있었던 13 hips에서 Table 3와 같은 결

Table 4. Diseases or conditions associated to the idiopathic avascular necrosis of femoral head

1. Alcoholism	9. Nephrotic syndrome
2. Steroid	10. Irradiation
3. Liver diseases	11. Blood dyscrasia
4. Dysbarism	12. Clotting disturbances
5. Idiopathic hyperlipidemia	13. Pancreatitis
6. Hyperuricemia, Gout.	14. Hemoglobinopathies
7. Gaucher's disease	15. Connective tissue disease
8. Renal transplantation	16. Arterial or venous disease

Table 5. Diagnostic methods for idiopathic avascular necrosis of femoral head

1. Roentgenography	
2. Tomography	
3. CAT Scan	
4. Radioisotope scan	99mTc-Diphosphonte 99mTc-Sulfur colloid 99mTc-Antimony colloid
5. Measurement of bone marrow pressure	
6. Intraosseous venography	
7. Core biopsy	

과를 보였다.

고 찰

특발성 대퇴골두괴사의 원인과 병인은 여러학자들에 의해 상당히 밝혀져 있지만 그 병인은 아직도 가설단계인것으로 사료된다.

일반적으로 특발성 대퇴골두괴사와 관계가 있는 것으로 알려진 질병이나 조건들을 보면 Table 4와 같다^{1, 2, 5, 7, 8, 17, 18, 23, 24, 29, 34, 35, 38, 39, 49, 50, 51, 55}.

Hnugerford는 대퇴골두괴사를 일으킬 수있는 기전을 Extrasosseous arterial derangement, Intraosseous arteriolar derangement, Intraosseous venous derangement, Extrasosseous venous derangement 그리고 Intraosseous extravascular derangement로 나누어 생각하였고 그중 Intraosseous extravascular derangement에 가장 역점을 두었다³⁴. 즉 어떤 원인으로 대퇴골내의 골수압(Bone marrow pressure)³¹이 증가될 경우 대퇴골두의 혈액순환이 감소되어 저혈성괴사(ischemic necrosis)가 온다고 설명하였으며, 이 개념에 기초를 두고 감압(decompression)이 치료에 중요하다고 하였다³⁶. 다음으로 골내세동맥이상(intraosseous arteriolar derangement)은 장기간의 Alcohol이나 Steroid의 사용으로 인한 지방전색에 의해 intraosseous arteriole의 폐쇄가 오고 점차

대퇴골두에 골괴사가 진행된다는 가설이며 그외 sickle cell disease때 보는 대퇴골두괴사는 Intraosseous venous derangement로 설명하였다^{14, 35}.

최근 Kenzora J.E.는 단순히 어떤 한가지 원인으로 대퇴골두괴사를 설명할 수 없고, 전신 질환이나 이상으로 골세포의 이상이 나타나고, 여기에 Steroid사용이나 다른 원인이 겹칠때 골세포는 비가역적손상을 받아 골괴사가 나타나게 된다는 accumulative cell stress에 의한 sick cell theory를 주장하였다³⁸.

특발성 대퇴골두괴사의 진단에는 Table 5와 같은 여러가지 방법들이 사용되고 있다^{19, 38, 40, 42, 44, 48}.

가능한 조기발견하여 병의 진행을 막는 것이 중요하므로 임상적으로 의심되는 경우 골주사, 골수압측정, 골내정맥조영술, core biopsy등을 조기에 시행하여 확진함이 중요하다고 하겠다^{22, 36}.

특히 뚜렷한 임상증상과 방사선 소견이 편측에만 있는 경우 반대측에도 골괴사가 이미 진행되고 있는 경우가 있으므로 더욱 조기진단방법이 중요하다고 하겠다⁴².

Core biopsy는 진단뿐 아니라 감압(decompression)에 의한 치료효과도 얻을 수 있으므로 Stage 0, 1에서 좋은 치료적 진단방법이라 생각된다^{22, 36}. 그러나 Stage 2에서는 core biopsy의 효과가 약간 떨어지며, 이미 대퇴골두 붕괴가 시작된 Stage 3,4

Table 6. Treatment of idiopathic avascular necrosis of femoral head

1. Decompression: Core biopsy
Multiple drilling
2. Bone graft: Tibial cortical
Fibular
Iliac crest
Osteochondral
Muscle pedicle bone graft
Free vascularized fibular graft
Vascular pedicled iliac bone graft
3. Osteotomies
4. Hip arthroplasties Endoprosthesis
Surface replacement
Total hip replacement
5. Pulsed electromagnetic fields (PEMFs)

Table 7. Attempts to revitalize the dead head in aseptic necrosis of the femoral head

1. Multiple drilling with or without bone grafting
2. Muscle pedicle bone graft
3. Implantation of open flow artery into the femoral head in animal
4. Core decompression
5. Free vascularized fibular graft
6. Vascular pedicled iliac bone graft

에서는 그 진행을 방지하지 못한다고 보고되어 있다³⁰⁾.

그외의 여러가지 치료방법들을 보면 Table 6와 같다^{4, 8, 10, 20, 21, 22, 23, 24, 36, 43, 45, 47, 52, 53, 54)}.

피사된 대퇴골두를 재생시키려는 시도들을 보면 Table 7과 같이 대단히 다양하다^{3, 4, 12, 20, 25, 26, 48, 49)}.

그중 혈관부착 장골이식술은 Judet의 free vascular fibular graft 보다 수술시간이 단축될 수 있고 수술수기가 비교적 간편하며³⁰⁾, decompression, revitalization & strut effect를 얻을 수 있을 뿐 아니라, 강한 비골의 피질골에 비해 장골의 골편이 대퇴골두의 골질과 유사하므로 좋은 방법으로 사료된다. 또 전위성 대퇴골 경부골절시 시행되고 있는 근육경골이식술(muscle pedicle bone graft)보다, 혈관부착 장골이식술이 혈관개선을 돕는데 있어서 좀더 확실한 방법으로 사료된다.

특발성 대퇴골두괴사의 진행과정은 Fig. 1-B와 같은 가능성이 있을 것으로 생각되며²²⁾, 그 진행과정을 중지시키거나, 피사된 대퇴골두를 재생시킨다는 관점에서 혈관부착 장골이식술을 시행하였다³⁰⁾.

이미 대퇴골두 붕괴가 진행되었다 하더라도 젊은 환자이고 관절장이 어느정도 유지되어 있는경우 피

사된 대퇴골두가 진행적인 붕괴없이 재생될 수 있다면 인공대퇴골두나 인공고관절보다 훨씬 나으리라 고 사료된다^{15, 22, 26, 30)}.

결 론

Stage 2, 3, 4에 해당되었던 특발성 대퇴골두 피사환자 17명 23hips에 대해 혈관부착장골이식술을 시행하였으며, 그중 9~19개월간 추적되어 결과를 예측할 수 있었던 10명의 환자 13hips에서 좋은 결과를 얻었기에 수기소개와 함께 일차적으로 예보하는 바이다.

1. 총 17명의 환자가 모두 남자였으며, 양측성이 14례(약 82%), 편측성이 3례(약 18%)였으며 환자의 평균연령은 46.3세였다. 그러므로 만약 임상적 및 방사선소견상 뚜렷한 대퇴골두괴사가 편측으로 있는 경우 반대측 고관절에도 조기진단 방법을 시행하여 질병의 진전을 조기에 방지하는 것이 중요하다고 하겠다.

2. Stage 2, 3에서 혈관부착 장골이식술을 받고 9~19개월간 추적되었던 10hips에서는 치유되는 소견을 보이거나, 대퇴골두붕괴의 진행이 없었고, 동

통소실이나 운동제한 감소 등의 임상적 호전을 보였다.

3. Stage 4에 해당되어 혈관부착 장골이식술을 받고 9~17개월 추적되었던 3hips 중 2hips에서는 진행적인 대퇴골두괴사나 대퇴골두 붕괴가 전혀 없었고, 대퇴골두경화상이 점차 감소하였으며, 삽입된 장골편과 대퇴골두가 점차 융합되어 괴사된 대퇴골두의 치유과정을 볼 수 있었다. 그러나 나머지 1 hip에서는 대퇴골두 붕괴가 진행되고 있었다.

4. 향후 전례에 대하여 장기간 추후관찰하고 새로운 증례를 추가하여 혈관부착 장골이식술의 효과에 대한 확실한 결론을 재차 보고하고자 한다.

REFERENCES

- 1) 김성기 · 이도영 · 이한구 : 특발성 무혈성 대퇴골두괴사의 임상례 및 원인적 고찰, 대한정형외과학회지 제 9권, 제 1호: 60-60, 1974.
- 2) 김영민 · 장진관 : 성인 대퇴골두의 특발성 무혈성괴사, 대한정형외과학회지 제 10권, 제 2호: 156-166, 1975.
- 3) 김재욱 · 강세윤 · 이창주 · 장익열 : 근육경 골이식술에 의한 대퇴경부 전위골절 치험례, 대한정형외과학회지 제 13권, 제 4호: 673- 678, 1978.
- 4) 유명철 · 강신혁 · 김봉진 · 전봉석 · 강순모 : 미세혈관 수술기를 이용한 혈관부착 비골이식술, 대한정형외과학회지 제 17권, 제 3호: 403-413, 1982.
- 5) 유명철 · 전기철 · 안승준 : 한국 잠수부의 잠수병 골변화에 대한 역학적 고찰, 대한정형외과학회지 제 17권, 제 1호: 77-89, 1982.
- 6) Bassett, F.H., III, Wilson, J.W., Allen, B. L., JR. and Azuma, H.: Normal vascular anatomy of the head of the femur in puppies with emphasis on the inferior retinacular vessels. *J. Bone and Joint Surg.* 51-A: 1139-1153, Sept., 1969.
- 7) Boettcher, W.G., Bonfiglio Michael, Hamilton, H.N., Sheets, R.F. and Smith Koert: Non-traumatic necrosis of the femoral head. Part I- relation of altered hemostasis to etiology. *J. Bone and Joint Surg.*, 52-A: 312-321, March 1970.
- 8) Boettcher, W.G., Bonfiglio Michael, and Smith Koert: Non-traumatic necrosis of the femoral head. Part II-experiences in treatment. *J. Bone and Joint Surg.*, 52-A: 322-329, March 1970.
- 9) Bonfiglio Michael: Aseptic necrosis of the femoral head in dogs. *Surg., Gynec. and Obst.*, 98: 591-599, 1954.
- 10) Bonfiglio, M. and Bardenstein, M.B.: Treatment by bone grafting of aseptic necrosis of the femoral head and non-union of the femoral neck (Phemister technique), *J. Bone and Joint Surg.*, 40A: 1329, 1958.
- 11) Bonfiglio, M. and Voke, E.M.: Aseptic necrosis of the femoral head and non-union of the femoral head, *J. Bone and Joint Surg.*, 50A: 48, 1968.
- 12) Boyd, R.J. and Ault, L.L.: An experimental study of vascular implantation into the femoral head. *Surg., Synec., and Obstet.*, 121: 473-477, 1965.
- 13) Brown, T.D., Way, M.E. and Ferguson, A.B.: Mechanical characteristics of bone in femoral capital aseptic necrosis. *Clin. Orthop.* 156:240-247, 1981.
- 14) Calan guccio, R.A. and Anderson, W.E., III: Post-fracture avascular necrosis of the femoral head; correlation of experimental and clinical studies. *Clin. Orthop.* 152: 49-84, 1980.
- 15) Chandler, H.P., Reineck, F.T., Wixon, R. L. and McCarthy, J.C.: Total hip replacement in patients younger than thirty years old. A five-year follow-up study. *J. Bone and Joint Surg.*, 63A, No. 9, PP. 1426-1434, 1981.
- 16) Chung Stanley, M.K. and Ralston, E.A.: Necrosis of the femoral head associated with sickle cell anemia and it's genetic variants. *J. Bone and Joint Surg.*, 51-A: 33-58, 1969.
- 17) Cruess, R.L.: Experience with steroid-induced avascular necrosis of the shoulder and etiologic considerations regarding osteonecrosis of the hip, *Clin. Orthop.* 130: 86, 1978.
- 18) Cruess, R.L., Ross, D. and Crenshaw, E.: The etiology of steroid-induced avascular necrosis of bone, *Clin. Orthop.* 113: 178, 1975.
- 19) D'Ambrosia, R.D., Hiromu Shoji, Riggins, R. S., Stadalnik, R.C., DeNardo, G.L.: Scintigraphy in the diagnosis of osteonecrosis. *Clin. Orthop.* 130: 139-143, 1978.
- 20) Eftekhar, N.S., Schink-Ascani, M.M., Mitchell,

- S.N. and Bassett, C.A.L.: *Osteonecrosis of the femoral head treated by pedicled edelectromagnetic fields (PEMFs): a preliminary report. The Hip*, P. 306 St. Louis, 1983. The C.V. Mosby Company.
- 21) Enneking, W.F.: *The choice of surgical procedure in idiopathic aseptic necrosis. The hip*, St. Louis, 1979, The C.V. Mosby Co.
 - 22) Ficat, R.P.: *Treatment of avascular necrosis of the femoral head. The Hip*, P. 279, St. Louis 1983, The C.V. Mosby Co.
 - 23) Fisher, D.E. and Bickel, W.H.: *Corticosteroid-induced avascular necrosis: a clinical study of seventy-seven patients*, *J. Bone and Joint Surg.* 53-A: 859, 1971.
 - 24) Fisher, D.E.: *The role of fat embolism in the etiology of corticosteroid-induced avascular necrosis: clinical and experimental results*, *Clin. Orthop.* 130: 68, 1978.
 - 25) Frankel, C.J. and Derian, P.S.: *The introduction of supcapital femoral circulation by means of an autogenous muscle pedicle. Surg., Gynec. and Obstet.*, 115: 473-477, 1962.
 - 26) Ganz, R. and Buchler, U.: *Overview of attempts to revitalize the dead head in aseptic necrosis of the femoral head; osteotomy and revascularization. The Hip*, PP. 296-305, St. Louis, 1979, The C.V. Mosby Co.
 - 27) Glimcher, M.J. and Kenzora, J.E.: *The biology of osteonecrosis of the human femoral head and its clinical implications. Part I. tissue biology*, *Clin. Orthop.* 138: 284, 1979.
 - 28) Glimcher, M.J. and Kenzora, J.E.: *The biology of osteonecrosis of the human femoral head and its clinical implications. Part II. the pathological changes in the femoral head as an organ and in the hip joint*, *Clin. Orthop.* 139: 283, 1979.
 - 29) Glimcher, M.J. and Kenzora, J.E.: *The biology of osteonecrosis of the human femoral head and its clinical implication. Part III. discussion of the etiology and genesis of the pathological sequelae: comments on treatment*, *Clin. Orthop.* 140: 273, 1979.
 - 30) Gustilo, R.B. and Burnham, W.H.: *Long-term results of total hip arthroplasty in young patients. The Hip*, P. 27, St. Louis, 1982. The C.V. Mosby Co.
 - 31) Harrington, K.D. and Murray, W.R.: *Avascular necrosis of bone after renal transplantation. J. Bone and Joint Surg.*, 53-A: 203-215, No. 2, 1971.
 - 32) Hedley, A.K.: *Prosthetic replacement in osteonecrosis of the hip. Instructional course lectures, Part IV*, St. Louis. Vol 32, 1983.
 - 33) Hungerford, D.S. and Zizic, T.M.: *Pathogenesis of ischemic necrosis of the femoral head. The Hip*, PP. 249-278, St. Louis, 1983, The C.V. Mosby Co.
 - 34) Hungerford, D.S. and Zizic, T.M.: *Alcoholism associated is chemic necrosis of the femoral head*, *Clin. Orthop.* 130: 144, 1978.
 - 35) Hungerford, D.S.: *Pathogenesis of ischemic necrosis of the femoral head. Part II, Instructional course lectures*, St. Louis, Vol. 32, P252, 1983. The C.V. Mosby Co.
 - 36) Hungerford, D.S.: *Bone marrow pressure, venography, and core decompression in ischemic necrosis of the femoral head. The Hip*, P218, St. Louis, 1979, The C.V. Mosby Co.
 - 37) Jacobs, B.: *Epidemiology of traumatic and nontraumatic osteonecrosis*, *Clin. Orthop.* 130: 51, 1978.
 - 38) Kenzora, J.E.: *Ischemic necrosis of the femoral head. Instructional course lectures, Part I*, P. 242, St. Louis. Vol. 32, 1983. The C.V. Mosby Co.
 - 39) Kenzora, J.E. and Sledge, C.B.: *Hip arthroplasty and the renal transplant patient. The Hip*, P. 35, 1975, St. Louis, Missouri, The C.V. Mosby Co.
 - 40) Kirchner, P.T. and Simon, M.A.: *Radioisotopic evaluation of skeletal disease. J. Bone and Joint Surg.*, 63-A: 673-681, No. 4, 1981.
 - 41) Leung, P.C. and Chow, Y.Y.N.: *Reconstruction of proximal femoral defects with a vascular pedicled graft. J. Bone and Joint Surg.*, 66-A: 32-37, No. 1, 1984.
 - 42) Marcus, N.D., Enneking, W.F. and Massami, R.A.: *The silent hip in idiopathic aseptic necrosis*, *J. Bone and Surg.*, 55-A: 1351, 1973.
 - 43) Merle d'Aubigne, R.M., Postel, M., Mazabraud, A., Massias, P. and Geuguén, J.: *Idiopathic necrosis of the femoral head in adults. J.*

- Bone and Joint Surg.*, 47-B: 612-633, Nov. 1965.
- 44) Meyers, M.H.: Avascular necrosis of the femoral head; Diagnostic technique, reliability and relevance. *The Hip*, P 263, 1983. St. Louis, C.V. Mosby Co.
 - 45) Meyers, M.H.: Surgical treatment of osteonecrosis of the femoral head. Instructional course lectures, Paet III St. Louis. Vol. 32: 260, 1983. The C.B. Mosby Co.
 - 46) Meyers, M.H., Telfer, N. and Moore, T. M.: Determination of the vascularity of the femoral head with technetium-99m sulphur colloid. Diagnosis and prognostic significance. *J.B.J.S.* 59A: 658, 1977.
 - 47) Meyers, M.H.: The treatment of osteonecrosis of the hip with fresh osteochondral allografts and with the muscle pedicle graft technique. *Clin. Orth.* 130: 202, 1978.
 - 48) Meyer, M.H., Harvey, J.P. and Moore, T.M.: Treatment of displaced subcapital and transcervical fractures of femoral neck by muscle-pedicle-bone graft and internal fixation. *J. Bone and Joint Surg.*, 55-A: 257-274, No. 2, 1973.
 - 49) Meyer, M.H., Harvey, J.P. and Moore, T.M.: Follow up notes on articles previously published in the journal; Displaced fracture of the femoral neck treated with a muscle-pedicle graft. *J. Bone and Joint Surg.*, 57-A: 718-720, No. 5, 1975.
 - 50) Ohta, Y. and Matsunaga, H.: Bone lesions in divers, *J. Bone and Joint Surg.* 56-B: 3, 1974.
 - 51) Patterson, R.J., Bickel, W.H. and Dahlin, D. C.: Idiopathic avascular necrosis of the head of the femur. a study of fifty-two cases. *J. Bone and Joint Surg.*, 46-A: 267-282, Morch 1964.
 - 52) Springfield, D.S. and Enneking, W.J.: Surgery for aseptic necrosis of the femoral head. *Clin. Orthop.* 130: 175, 1978.
 - 53) Sugioka, Y.: Transtrochanteric-anterior rotational osteotomy of the femoral head in the treatment of osteonecrosis affecting the hip. *Clin. Orth.* 130: 191, 1978.
 - 54) Sugioka, Y.: Transtrochanteric rotational osteotomy of the femoral head. *The Hip*, PP3-23, 1980. St. Louis, The C.V. Mosby Co.
 - 55) Smyth, C.J. and Leidholt, J.D.: Steroid arthropathy of the hip. *Clin. Orthop.*, 90: 50-56, 1973.
 - 56) Taylor, G.I., Townsend, P. and Corlett, R.: Superiority of the deep circumflex iliac vessels as the supply for free groin flaps; experimental work. *Plast. and Reconstr. Surg.* 64: 595-604, No. 5, 1979.
 - 57) Turner, J.H.: Post-traumatic avascular necrosis of the femoral head predicted by preoperative technetium 99m antimony colloid scan. *J. Bone and Joint Surg.*, 65-A: 786-796, No.2, 1982.
 - 58) Wang, G.J. and Moga, D.B. et al.: Cortisone induced changes and its response to lipid clearing agents. *Clin. Orthop.* 130: 81, 1978.
 - 59) Wang, G.J., Sweet, D.E., Reger, S.I. and Thompson, R.C.: Fat cell changes as a mechanism of avascular necrosis of the femoral head in cortisone-treated rabbits, *J. Bone and Joint Surg.*, 59A: 729, 1977.
 - 60) Wertheimer, L.G. and Fernandes Lopes, S.D. L.: Arterial supply of the femoral head. *J. Bone and Joint Surg.* 53-A: 54-556, No. 3, 1971.
 - 61) Wilkes, C.H. and Visscher, M.B.: Some physiological aspects of bone marrow pressure, *J. Bone and Joint Surg.*, 57A: 49, 1975.