

흰쥐 대퇴골두 혈관 구조의 Corrosion Casting에 의한 주사전자현미경적 관찰

계명대학교 의과대학 정형외과학교실

강 창 수·이 우 윤

계명대학교 의과대학 병리학교실*

박 관 규*

— Abstract —

Scanning Electron Microscopic Findings of the Rat Femoral Head Vascular Architecture Using a Corrosion Casting

Chang Soo Kang, M.D., Woo Yul Lee, M.D.

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

Kwan Kyu Park, M.D.*

*Department of Pathology, School of Medicine, Keimyung University, Taegu, Korea**

The purpose of our research was to study the micro-architecture of the rat femoral head prepared by the corrosion casting method in comparison with haematoxylin-eosin preparation and the transparent preparation.

Stereoscopic architecture of the microvasculature in the adult rat femoral head was well demonstrated when studied with the Scanning electron microscope (SEM) of vascular cast. The capillary network arrangement of the metaphysis and the epiphysis showed a lobular architecture. The lobules were interconnected with each other by a few capillaries. Vascular architecture of the epiphysis and the metaphysis separated at the growth plate. Several types of loop formations were demonstrated in the metaphysis faced with the growth plate as well as in the articular surface of the epiphysis. We observed various types of the loop formation. The most common one was the simple loop without collateral circulation, but complex loops with collateral circulation were also observed.

In conclusion, it is considered that these are relatively independent of lobular vascular aggregation of the epiphysis and the metaphysis; no vessels in the growth plate and various types of capillary loop formations play an important role in growth of the bone,

especially in progression of avascular necrosis.

Key Words : Femoral head, Vascular architecture, Corrosion casting method.

서 론

대퇴골두의 무혈성 괴사는 대퇴골 경부 골절후에 가장 흔히 볼 수 있으나^{2,3)} 그외에도 대퇴골두 골단 분리증, 선천성 고관절 탈구의 정복 그리고 대퇴골 경부의 화농성 또는 결핵성 감염으로 인하여 발생하고, Legg-Perthes병도 일반적으로 대퇴골두에 혈행 장애로 인한 것으로 이해되고 있다. 이러한 문제점들을 이해하는데 대퇴골두의 미세 혈액순환은 매우 중요하다^{6,17,18,19)}.

골성 혈액순환에 대한 새로운 개념이 Brookes 등¹⁾에 의해 제안되었고 Trueta 등^{13,14,15)}은 대퇴골두의 혈관 구조 분포를 연구하였다. 그러나 이러한 연구들은 실험재료의 절편을 광학현미경으로 관찰하거나 주사표본(injection preparation)으로 관찰한 것이다. 1971년 Murakami는 뼈를 포함한 여러 장기의 미세 혈액순환을 연구하기 위해서 혈관주형법(Corrosion casting technique)을 사용하여 주사전자현미경(scanning electron microscope)으로 관찰하였고 최근에는 쥐의 대퇴골두의 미세한 입체 혈관 구조를 연구하는데 혈관주형법을 이용하였다¹⁸⁾.

저자는 흰쥐 대퇴골두의 미세 혈관 구조와 입체적인 혈관 구조를 관찰하여 대퇴골두 무혈성 괴사 발생 기전을 형태학적 측면에서 이해하기 위하여 모세혈관들을 주형(vascular casting)시켜 그 구조를 주사전자현미경으로 관찰하였고 광학현미경 소견과 비교 관찰하였다.

재료 및 방법

암수 구별없이 8주이상 사육하여 건강이 양호하다고 생각되는 체중 약 250gm 정도의 Sprague-Dawley종 흰쥐 30마리를 연구 재료로 사용하여 Haematoxylin-eosin 염색, 투명표본(transparent

preparation)과 혈관주형표본(corrosion casting preparation)을 하여 비교 연구하였다. 흰쥐에 Ethyl-ether를 흡입시켜 마취시킨후 복강 및 흉강을 절개하고 heparin 0.3ml를 좌심실로 투여하였다.

1. Haematoxylin-eosin 염색표본과 투명표본

좌심실 내로 0.3ml의 heparin을 투여한 다음 복부동맥으로 도판을 통하여 생리식염수를 주입하고 하대정맥을 절단하였으며 생리식염수를 분당 4ml 속도로 관류하여 혈액을 완전히 제거한 다음 0.5% glutaraldehyde와 0.5% paraformaldehyde를 혼합한 고정액으로 20분간 혈관을 관류하여 혈관벽을 고정시킨후 상품화된 흑색 잉크를 주입시켰다. 흑색 잉크로 찬 대퇴골두를 탈회 용액인 5% 질산용액(Nitric acid)으로 탈회하고 paraffin에 포매한후 15μ과 50μ 두께로 vibratome을 사용하여 절단한 후 각각 Haematoxylin-eosin 염색표본 및 투명표본(transparent preparation)을 하여 광학현미경으로 관찰하였다.

2. 혈관주형표본

Haematoxylin-eosin 염색표본과 투명표본에서 기술한 방법으로 대퇴골두의 혈관벽을 고정시킨 후 Murakami법¹⁸⁾으로 대퇴골두의 혈관주형을 시행하였다. 플라스틱 제재인 Mercox CL-2B(Dainippon Ink and Chemicals, Tokyo) 10mm에 MA 경화제 0.2gm을 섞어서 분당 2ml 속도로 복부동맥으로 주입하여 대퇴골두 혈관을 채운후 여분의 Mercox주조는 하대정맥을 통해 빠져나가도록 하였다.

Mercox CL-2B로 대퇴골두 혈관 주입을 마친후 하대정맥 및 복부대동맥을 결찰하고 실온에서 30분간 방치하여 Mercox주조를 경화시켰다. 경화된 대퇴골두 전체를 흰쥐로부터 떼어낸 후 탈회 용액인 5% 질산용액으로 탈회를 시켜 양면칼로 세절하고 20% 수산화나트륨(NaOH) 용액을 사용

하여 2시간 이상 항온수조(60°C)내에서 방치하여 대퇴골두 조직을 완전히 용해시켜 제거한 후 종류수로 세척하였다. 혈관구조만 남은 주조를 공기중에서 건조시킨 후 Osmium산 결정체를 사용하여 맥관주조 시료에 날려서 침투시키고 금속 시료대에 은이고(silver paste)를 사용하여 시료를 고정시킨후 Eiko 회사제 IB 3형 Ion coater로 Pt-Pd를 사용하여 이온 증착한 다음 Hitachi S-520형 주사전자현미경으로 가속전압 15KV로 하여 대퇴골두의 미세혈관 구조를 관찰하였다.

성 적

1. 광학현미경적 소견

- 1) H & E 염색표본 : 골단과 골간단에는 적혈구로 차여있는 많은 혈관들이 관찰되었으나 성장판을 통과하는 혈관은 관찰되지 않았다(Fig. 1).
- 2) 투명표본 : 골단의 관절표면 부위와 골간단부의 성장판 부근에서 많은 모세혈관들이 존재하고

Fig. 1. H & E stained preparation of rat femoral head. No vessels were seen in the growth plate (H & E, $\times 40$).

Fig. 2. Transparent preparation of rat femoral head (Transparent, $\times 40$).

Fig. 3. Many loop formations of the capillaries under the articular surface of the epiphysis (SEM, $\times 30$).

Fig. 4. Types of loop formations in the articular surface of the epiphysis and metaphysis facing to the growth plate. Simple loop without collateral circulation (SEM, $\times 600$).

있으며 이들은 골단보다 골간단의 상부에서 더욱 많이 관찰되어 이 부근은 흑색 잉크에 의해 거의 검게 보였다(Fig. 2). 이러한 관찰들이 미세혈관 구조를 연구하는데는 제한점이 있어 각 혈관들의 상호관계를 명확히 알 수는 없었다.

2. 주사전자현미경적 소견

1) 표면 : 계제(loop) 형성된 많은 모세혈관들이 혈관주형법으로 부식된 관절연골 아래에 돌출되어 있었다(Fig. 3). 골단의 관절 표면에서 볼 수 있는 계제 형성들은 여러가지 다른 형태를 보였는데 가장 많은 형태는 측부 혈행이 없는 단순한

계제 형성(simple loop without collateral circulation)이었으며(Fig. 4,5) 측부 혈행을 가지고 있는 복잡한 계제 형성(complex loop with collateral circulation)도 관찰되었다(Fig. 6,7). 측부 혈행이 없는 단순한 계제는 모세 동맥이 점차로 모세 정맥으로 변하였고 직경이 가는 것이 모세 동맥이고 직경이 굵은 것은 모세 정맥으로 생각되었다. 복잡한 형태의 계제는 Fig. 6과 같이 두개의 측부 분지를 가지는 것으로부터 Fig. 7과 같이 여러 측부 분지를 가지는 것까지 다양하였다. 이러한 계제들중 가장 흔한 것은 측부 혈행이 없는 단순한 계제였다.

Fig. 5. Simple loop without collateral circulation (SEM, $\times 1000$).

Fig. 6. Complex loop with collateral circulation (SEM, $\times 700$).

Fig. 7. Complex loop with collateral circulation (SEM, $\times 350$).

Fig. 8. Epiphysis. Net work arrangement of the epiphyseal capillary shows a lobular architecture (SEM, $\times 80$).

Fig. 9. Epiphysis. Epiphyseal capillaries around a large vessel (SEM, $\times 200$).

Fig. 10. Metaphysis. A lobular arrangement of the metaphyseal capillary which is interconnected by a few capillaries (SEM, $\times 80$).

Fig. 11. Each lobular vascular aggregation was interconnected by a few capillaries (arrow) (SEM, $\times 100$).

Fig. 12. Some buna ending capillaries were observed at the periphery of the metaphyseal lobular aggregation (SEM, $\times 130$).

2) 절단면 : 골단 및 골간단의 혈관 구조 및 분포를 알 수 있고 골간단의 상부에 있는 골단의 혈관 구조는 성장판(growth plate)에 의해 분리되어 따로 득립되었다(Fig. 13).

(가) 골단 : 골단의 모세혈관은 큰 혈관을 중심(Fig. 9)으로 소엽 구조(lobular architecture)로 배열되어 있고 계체 형성은 거의 관절면에 수직으로 이루어졌다(Fig. 8).

(나) 골간단 : 골간단의 모세혈관 배열 또한 소엽 구조를 보여주고(Fig. 10) 각 소엽 구조 사이에 직경이 더 가는 소수의 모세혈관들에 의해 연

Fig. 13. Metaphysis (M) and epiphysis (E) are separated at the growth plate (arrow) (SEM, $\times 35$).

결되었다(Fig. 11). 소엽 응집의 주변부에서는 모세혈관의 끝이 불완전한 말단(blind end)으로 형성되어 있었다(Fig. 12).

(다) 성장판 : 골간단의 모세혈관 계제는 성장판을 향하여 있었고 혈관 주형시에 골단이 성장판으로부터 분리되어 떨어져 나갔는데 이는 성장판 내에는 혈관 구조가 없기 때문인 것으로 생각된다(Fig. 11).

고 찰

대퇴골두에 대한 혈관 공급의 중요성은 수많은 임상적 그리고 실험적 연구에서 자세히 증명되어 왔다^{3,13,14,17,19)}. 성인 대퇴골두의 혈관 분포는 정상 고관절과 병적상태 고관절에서 혈액순환 연구의 한분야로 널리 알려져 왔다¹⁴⁾. 대퇴골두의 혈관 구조를 자세히 규명하는 것은 Legg-Perthe's disease를 포함한 대퇴골두의 무혈성 괴사를 이해하는데 필수적이다^{8,13,14,17,18)}.

Crock⁵⁾은 대퇴골두와 경부에 대한 동맥혈관 공급의 해부학적 구조를 제안하였고, Howe 등⁸⁾은 비구, 전자부 그리고 대퇴경부에 대한 동맥혈관 공급의 해부학적 구조를 관찰하여 이러한 동맥혈관의 손상이 대퇴골두의 무혈성 괴사 발생율을 높인다고 설명하였다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 뼈의 말초에 있는 혈관들을 해부학적으로 관찰한 것이다. Trueta와 Harrison¹³⁾은 성인의 정상 대퇴골두 내의 골단과 골간단의 미세혈액 순환을 연구하였고, 성장기 동안 형성된 혈관 구조는 거의 노년기까지 평생 동안 유지된다고 하였다.

Tucker¹⁷⁾는 대퇴골두의 혈액 공급과 관계있는 혈관을 3개군(nutrient artery, retinacular or capsular arteries and foveolar artery)으로 분류하여 대퇴골두의 무혈성 괴사를 일으키는 고관절 병변과 혈관 병변의 위치와의 관계를 연구하였다. Wollcott²⁰⁾는 소아에서 원형 인대 혈관(ligamentum teres vessels)은 대퇴골두 내로 들어가지 못하는 폐쇄 혈액 순환으로 성장하는 대퇴골두에 영양 공급을 할 수 없다고 결론을 내렸다. Sevitt¹⁰⁾와 Thompson¹¹⁾은 대퇴골두를 여러 평면으로 절편하

여 관찰한 후, 원형 인대 혈관은 대부분의 골두에서 중요하지 않지만, 때로는 원형 인대 혈관의 혈액 공급으로 하부와(subfoveal area)가 생존하여 골두 괴사후에 혈관 재생의 근원이 되기 때문에 중요할 수 있다고 결론을 내렸다.

다른 학자들은^{13,14,18,19)} 소아에서 골두내로 들어가는 원형 인대 혈관이 대퇴골두의 골화중심 영양 공급의 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 성인에서도 여전히 중요하다고 주장하였다. 따라서 아직도 대퇴골두에 대한 원형 인대 혈관의 중요성은 논의의 여지가 있는 것으로 생각된다. 본 실험에서는 H & E 염색 및 투명표본 조직에서 골단과 골간단 및 성장판에서의 혈관의 분포와 주행 관계를 관찰해 보고자 하였으나 대부분의 혈관이 획절단되었기 때문에 이를 관찰하지 못하였고, 단지 성장판에는 혈관이 존재하지 않는다는 것을 확인하였다. 또한 주사전자현미경 상에서도 원형 인대로부터 골두내로 들어가는 혈관은 증명할 수 없었는데, 이는 원형 인대 혈관이 존재하지 않아서 주형이 되지 않았거나 혈관이 있더라도 주형시 부식되었을 가능성이 있는 것으로 사료된다.

Trueta^{13,14)}에 의해서 대퇴골두의 미세혈액 순환에 대한 좀더 광범한 연구는 미세혈관 조영술(micro angiography)과 표본 절편에 의해 관찰되었다. 여기에서 Trueta는 골두를 공급하는 혈관을 담당 영역에 따라 골단 동맥을 내측과 외측 골단 동맥(medial, lateral epiphyseal artery)으로 골간단 동맥을 상골간단과 하골간단 동맥(superior, inferior metaphyseal artery)으로 구별했다. 1960년 Trueta^{12,15,16)}는 성장판 주위의 정상 혈관 공급과 실험적으로 골단 또는 골간단 혈류를 억제하여 골단 연골(epiphyseal cartilage)의 변화와 골단 연골에 압박과 팽창의 효과 등을 연구하여 골형성(osteogenesis)에서 혈관 신생(vascularization)의 중요성을 관찰하였다.

1991년 Uchida¹⁸⁾는 흰쥐 대퇴골두를 혈관주형법을 이용하여 주사전자현미경으로 관찰하여 초미세 혈관 구조를 잘 증명하였다. Uchida가 연구한 흰쥐 대퇴골두의 초미세 혈관 구조에서 (가) 머리핀 모양의 계제(hair pin-like loop) (나) 소상의 팽창된 계제(loop with focal dilat-

tion) (다) 측부 분지를 가지는 머리핀 모양의 계제(hair pin-like collateral branch) (라) 사구체 형태의 계제(glomerulus-like loop)인 네가지 유형의 계제 형성을 성장판에 인접한 골간단과 관절 연골 하방의 골단에서 관찰하였다. 골단과 골간단의 모세혈관이 소엽 구조로 배열되었으며 성장판에 의해서 골단과 골간단이 완전히 분리되며 성장판 내에는 혈관이 없으며 배출 정맥으로 생각되는 직경이 100μ 되는 큰 혈관만이 성장판을 뚫고 지나가는 것을 관찰하였다.

본 실험에서는 성장판에 인접한 골간단과 관절 연골 하방의 골단에서만 혈관들의 계제 형성을 관찰하였고, 성장판에 인접한 골단에서는 계제 형성을 관찰하지 못했다. 계제 형성은 측부 혈행이 없는 단순한 계제 형성으로부터 많은 측부 혈행을 가지고 있는 복잡한 계제 형성까지 다양하게 관찰되었다. 각 계제는 서로 다른 직경을 가진 두개의 혈관들로 이루어졌는데 큰 직경을 가진 혈관은 모세정맥이고 작은 혈관은 모세 동맥인 것으로 사료된다. 또한 골단에서 모세혈관들이 큰 혈관을 중심으로 소엽 구조로 배열되었고, 골간단에서는 성장판에 수직으로 모세혈관들이 배열되어 소엽 구조를 형성하여 각 소엽들은 몇개의 모세혈관에 의해 교통되고 있었다. 골간단의 소엽 용접의 주변부에서는 모세혈관의 끝이 불완전한 말단(blind end)으로 형성되어 있는 것이 관찰되었다.

Uchida¹⁸⁾에 의하면 계제가 좀 더 복잡한 사구체 형태를 가지므로서 연골의 영양 섭취가 더 효과적으로 되는데, 이는 성장기간 동안에 사구체 모양의 복잡한 계제가 발달되고 나이가 들면서 감소되어 성인에서는 단순한 모양의 계제를 가져 연골의 영양 섭취 효과가 적어져 골성장 및 대퇴골두의 무혈성 괴사 발생에 영향을 끼칠 것으로 추정된다고 하였다. 이런 사실은 본 실험의 흰쥐 대퇴골두에서도 볼 수 있었는데, 대부분의 계제는 측부 혈행이 없는 단순한 모양의 계제들이었고 가끔 측부 혈행이 있는 복잡한 계제들도 관찰되었다. 대퇴골두는 투명표본에서 관찰한 바와 같이 외측부로부터 들어오는 동맥에 의해 영양을 받고 있고 이런 동맥들은 관절 표면과 성장판에

대해 수직으로 분지들을 낸다. 또한 Uchida¹⁸⁾는 소엽들은 직경이 $20-65\mu$ 인 모세혈관에 의해 서로 연결되어 있으나, 골두내에서 소엽들의 교통은 큰 의의는 없고 또한 각 소엽들은 비교적 독립적이어서 이런 사실들이 대퇴골두의 무혈성 괴사와 관련이 있을 것이라고 제안하였다.

또 하나의 중요한 사실은 성장판을 지나가는 혈관 구조인데 Harris⁷⁾와 Lewis⁹⁾는 골단 연골은 무혈성 조직이고 골단 연골판에 접근하는 혈관들은 주머니 모양으로 팽창되어서 성장판을 뚫고 지나가지 않는다고 하였다. Crock⁴⁾은 사람의 원위부 대퇴골 골단과 근위부 경골 골단의 혈관 분포를 연구하여 골단동맥은 연골내에서 지누소이드 모세혈관(sinusoidal capillaries)을 형성하므로 성장판을 가로지르지 못하고, 성장판이 폐쇄되면서 혈관들 사이에서 교차(anastomoses)가 일어난다고 설명하였다.

Uchida¹⁸⁾는 쥐 대퇴골두의 골단에서부터 성장판을 가로질러서 골간단과 연결되는 직경이 큰 하나의 혈관을 관찰하여 배출정맥(drainage vein)으로 생각하였다. 그러나 본 실험에서는 혈관주형법으로 골단이 분리되어 나갔기 때문에 배출정맥은 잘 관찰할 수 없었다. 골단이 분리된 이유는 성장판을 지나는 혈관이 존재하지 않아서 혈관 주형시 부식되었거나 혹은 혈관이 존재하더라도 수가 극히 적고 이를 혈관에 플라스틱 재재인 Mercox 주조가 주입되지 않아서 분리되었을 것이라고 추정해 보는데 이에 관한 것은 추후 더 연구해 볼 필요가 있으리라고 사료된다.

요 약

대퇴골두내의 초미세 혈관 구조들을 잘 이해함으로서 무혈성 괴사를 일으키는 대퇴골두 병변들을 이해하는데 중요할 것으로 사료되어 기본적으로 사람의 대퇴골두의 혈액 순환과 유사한 흰쥐 30마리의 대퇴골두를 실험 재료로 사용하여 대퇴골두내의 모세혈관들을 주형시켜 입체적인 혈관구조(stereoscopic vasculature)를 주사전자현미경으로 관찰하였다. 또한 대퇴골두를 H & E 염색 표본과 투명표본으로 비교 관찰하였다.

실험 성적을 종합하여 볼때 대퇴골두내의 모세혈관들을 초미형태학적으로 관찰함으로서 대퇴골두 무혈성 괴사 발생 기전을 형태학적 측면에서 이해할 수 있었고, 대퇴골두의 무혈성 괴사 진행 및 골성장에 영향을 미칠 것으로 사료되는 구조들은 첫째 절단면의 골단과 골간단에서 모세혈관들은 독립적인 소엽 웅집을 하고 있었고 각 소엽 간에는 교통 혈관의 수가 매우 적었고 둘째 골단과 골간단의 표면에는 단순한 형태의 계제로부터 복잡한 형태의 계제 형성이 되어 있었고 대퇴골두가 성장이 됨에 따라 복잡한 계제는 감소하고 단순한 형태의 계제가 증가하여 관절 연골의 영양 섭취가 감소될 것으로 추정하며 셋째는 성장판 내에는 혈관 구조가 없어서 골간단으로부터 골단이 쉽게 분리되는 것 등이다.

REFERENCES

- 1) Brookes, M., et al.: *A new concept of capillary circulation in bone cortex.* *Lancet*, 1: 1078-1081, 1961.
- 2) Catto, M.: *The histological appearances of late segmental collapse of the femoral head after transcervical fracture.* *J. Bone and Joint Surg.*, 47-B : 777-791, 1965.
- 3) Catto, M.: *A histological study of avascular necrosis of the femoral head after transcervical fracture.* *J. Bone and Joint Surg.*, 47-B : 749-776, 1965.
- 4) Crock, H.V.: *The arterial supply and venous drainage of the bones of the human knee joint.* *Anat. Rec.*, 44 : 199-218, 1962.
- 5) Crock, H.V.: *A revision of the anatomy of the arteries supplying the upper end of the human femur.* *J. Anat.*, 99 : 77-88, 1965.
- 6) Freeman, M.A.R. and England, T.P.S.: *Experimental infarction of the immature canine femoral head.* *Proc. Roy. Soc. Med.*, 62 : 431-433, 1969.
- 7) Harris, H.A.: *The vascular supply of the bone with special reference to the epiphyseal cartilage.* *J. Anat.*, 64 : 3-4, 1929.
- 8) Howe, W.W., Lacey, T. Jr. and Schwartz, R.P.: *A study of the gross anatomy of the arteries supplying portion of the femur and the acetabulum.* *J. Bone and Joint Surg.*, 32-A : 856-866, 1950.
- 9) Lewis, O.J.: *The blood supply of developing long bones with special reference to the metaphyses.* *J. Bone and Joint Surg.*, 38-B : 928-933, 1956.
- 10) Sevitt, S.: *Avascular necrosis and revascularization of the femoral head after intracapsular fractures.* *J. Bone and Joint Surg.*, 46-B : 270, 1964.
- 11) Sevitt, S. and Thompson, R.G.: *The distribution and anastomoses of arteries supplying the head and neck of the femur.* *J. Bone and Joint Surg.*, 47-B : 560-573, 1965.
- 12) Trias, A.: *Effect of persistent pressure on the articular cartilage. An experimental study.* *J. Bone and Joint Surg.*, 43-B : 376, 1961.
- 13) Trueta, J. and Harrison, M.M.: *The normal vascular anatomy of the femoral head in adult man.* *J. Bone and Joint Surg.*, 35-B : 442-461, 1953.
- 14) Trueta, J.: *The normal vascular anatomy of the human femoral head during growth.* *J. Bone and Joint Surg.*, 39-B : 358-394, 1957.
- 15) Trueta, J. and Morgan, J. D.: *The vascular contribution to osteogenesis. I. Studies by the injection method.* *J. Bone and Joint Surg.*, 42-B : 97-109, 1960.
- 16) Trueta, J. and Trias, A.: *The vascular contribution to osteogenesis. IV. The effect of pressure upon the epiphyseal cartilage of the rabbit.* *J. Bone and Joint Surg.*, 45-B : 800-813, 1961.
- 17) Tucker, F.R.: *Arterial supply at the femoral head and its clinical importance.* *J. Bone and Joint Surg.*, 31-B : 82-93, 1949.
- 18) Uchida, K.: *Stereoscopic vascular architecture of the adult rat femoral head.* *J. Jpn. Orthop. Assoc.*, 66 : 514-524, 1992.
- 19) Wertheimer, L.G. and Loper, F.: *Arterial supply of the femoral head. A combined angiographic and histological study.* *J. Bone and Joint Surg.*, 53-B : 554-556, 1971.
- 20) Wolcott, W.E.: *The evolution of the circulation in the developing femoral head and neck. An anatomic study.* *Surg. Gynec. Obstet.*, 77 : 61-68, 1943.