

흰쥐 폐장 미세혈관 구조의 Corrosion Casting에 의한 주사전자현미경적 관찰*

계명대학교 의과대학 병리학교실

권 건 영·박 관 규·장 은 숙

=Abstract=

Scanning Electron Microscopic Observations of the Pulmonary Microvascular Corrosion Casting in Rat

Kun Young Kwon, MD; Kwan Kyu Park, MD; Eun Sook Chang, MD

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

The pulmonary microvasculatures of normal rats were studied by mean of the vascular casting method. The various methods used previously to demonstrate pulmonary vasculature, concluded with unsatisfactory results. Recently scanning electron microscope(SEM) study of the vascular casts, using Mercox CL-2B as a cast media, have shown three dimensional distribution of the pulmonary vessels, bronchial vessels and alveolar capillary networks. Ten ml of the cast media was injected via inferior vena cava under the speed of 2 ml per min until the thoracic aorta was filled with injected resin. Also osmium impregnation of methyl-methacrylate vascular casts was done to get rid of charge-up phenomena. The processed vascular casts were observed with a Hitach S-520 scanning electron microscope operated at 15 KV.

The pulmonary arteries repeated branching as far as the pulmonary arterioles, and the formed rich, basket-like anastomosing capillary networks in the alveolar walls. These capillary networks were collected into the tributaries of the pulmonary veins. The pulmonary arteries usually traveled parallel with the bronchial tree, but the pulmonary veins were situated further away from the bronchial tree. On the surface of the pulmonary arterial casts were longitudinally arranged oval imprints of the endothelial nuclei. While on the surface of the venous casts were more rounded nuclear imprints and revealed marked constriction or circular striations. The alveolar capillaries revealed hexagonal or pentagonal rings of interconnecting vascular networks. In some areas, the vascular rings were fused together, composed a square network. The bronchial tree was supplied by the bronchial arteries which form the coarse capillary plexus extending as far as the terminal bronchioles. Occasionally the capillary plexus was connected with adjacent capillary networks in and around the alveolar walls. The walls of the pulmonary artery revealed only a single layer of vasa vasorum, but those of pulmonary vein were surrounded by more complicated and well developed vasa vasorum than pulmonary arterial side.

* 이 논문은 1990년도 계명대학교 윤종연구비 및 동산의료원 조사연구비로 이루어졌음.

서 론

폐장의 미세혈관계를 연구함에 있어서 여러가지 시료제작 방법을 이용하여 광학현미경적 또는 전자 현미경적 관찰을 통한 형태학적 연구가 진행되어 왔으나 최근 corrosion casting법을 이용한 주사전자현미경적 관찰을 함으로서 폐장의 미세혈관계의 정상구조의 관찰은 물론이고 지금까지 규명되지 못한 각종 폐질환의 기전을 정확히 이해하는데 있어서도 중요한 형태학적 자료를 제공 받을수 있게 되었다^{1~4)}.

심장 및 폐장의 각 혈관계에 관하여 이미 보고된 각종 연구에 있어서 다양한 방법들이 동물실험을 통하여 시도 되어왔다. Parke⁵⁾는 dye주입법을 이용하여 상행대동맥과 폐동맥간이 관상동맥, 기관지동맥 및 심막대동맥에서 분지된 혈관에 의해 혈액을 공급받음을 보여주었고, Sabin 등⁶⁾은 silicon rubber를 주입하여 가토의 폐동맥벽은 좌우 관상동맥과 ligamentum arteriosum 및 종격동을 담당하는 동맥혈관들에 의해 영양을 공급받음을 밝혔다. 그리고 대동맥의 vasa vasorum에 대한 연구로는 X-ray 현미경적 관찰^{11,12)}, 연속절편을 실시하여 광학현미경적 관찰^{13,14)}, India ink 주입법¹⁵⁾등 여러가지 방법을 통하여 많은 보고가 되어왔다. 그러나 폐장의 폐동맥에서 폐포모세혈관에 이르는 각혈관들의 구조적 특징이나 폐동맥과 폐정맥의 분포상의 차이점 그리고 폐동맥과 폐정맥벽에 위치한 vasa vasorum의 형태학적 특징등에 관한 관찰과 함께 이를 미세혈관계를 관찰하기위한 시료제작 방법에 관해서는 아직 많은 연구가 되어있지 않는 실정이다¹⁶⁾.

Corrosion casting법은 미세혈관구조를 연구하는데 있어서 중요한 도구로서 3차원적 관점에서 혈관의 분지형태, 동맥과 정맥의 차이점, 모세혈관의 특이한 모양 및 크기측정, 새로 생성된 혈관의 발달정도를 알아보는데 있어서 널리 사용되고 있고 각종 폐질환 특히 간질성 폐섬유증의 기전을 규명하는 과정에서 혈관의 구조적 변화를 관찰하는데도 유용하게 시도되고 있다²¹. Corrosion cast의 재료인 methacrylate는 Murakami¹⁷⁾에 의해 처음으로 개발되어 주사전자현미경적 연구에 사용되었고 그후 methacrylate injection medium(Mercox, Oken Shyōji, Tokyo, Japan)으로 상품화 되므로서 모세혈관을 포함하는 미세혈관계를 연구하는데 있어서 corrosion casting의 주입

제로 널리 사용하게 되었다^{17~20)}.

따라서 저자는 폐장의 미세혈관계의 자세한 구조를 관찰하고 각종 폐질환 연구에 있어서 혈관계에 관한 기초적 자료를 얻고자 methacrylate 주입제 즉 Mercox CL-2B를 사용하여 폐장에 vascular casting을 실시한 후 주사전자현미경적 관찰을 실시 하였다.

재료 및 방법

실험동물은 체중 200g내지 300g정도의 Sprague-Dawley종 흰쥐 10마리를 사용하여 복강내로 Nembutol 0.15ml를 주사하여 마취시킨 후 흉강 및 복강을 연다음 heparin 0.3ml를 좌심실로 투여하였다. 하대정맥으로 catheter를 통하여 생리식염수를 주입하고 흉부대동맥을 절단하였으며 생리식염수를 분당 4ml속도로 관류하여 혈액을 완전히 제거한 다음 0.5% glutaraldehyde와 0.5% paraformaldehyde를 혼합한 고정액으로 20분간 혈관을 관류하여 혈관벽을 고정시켰다. Plastic제제인 Mercox CL-2B(Dainippon Ink and Chemicals, Tokyo) 10ml에 MA catalyst 0.3gm을 섞어서 분당 2ml속도로 하대정맥으로 주입하여 폐장내 혈관을 채운후 여분의 Mercox cast는 흉부대동맥을 통해 빠져나오도록 하였다(Fig. 1). Mercox CL-2B로 폐장내 혈관주입을 마친후 하대정맥 및 흉부대동맥을 결찰하고 상온에서 2시간이상 방치하여 Mercox cast를 경화시켰다. 경화된 폐장진체를 흰쥐로부터 떼어낸 후 면도칼로 세절하고 20% NaOH(60°C) 용액을 사용하여 12시간이상 항온수조내에서 방치하여 폐장조직을 완전히 용해시켜 세거한 후 중류수로 세척하였다. 혈관구조만 남은 cast를 공기중에서 완전히 말린다음 osmium원액을 사용하여 vascular cast시료에 침투시키고 metal stub에 시료를 고정시킨후 Eiko회사제 IB-3형 ion coater로 Pt-Pd를 사용하여 층착 한 다음 Hitachi S-520형 주사전자현미경으로 가속전압 15KV, working distance 15내지 30mm로 하여 폐장의 미세혈관구조를 관찰하였다.

성 적

폐혈관계(pulmonary vasculature)

폐분 부위에는 짧은 혈관들이 분포하며 이들은 폐동맥과 폐정맥으로 구성되고 이들사이에 빈 공간으로 남아있는 부위가 관찰되는데 이곳에 기관지가 위치하며 이들과 함께 기관지동맥이 분지를 내면서

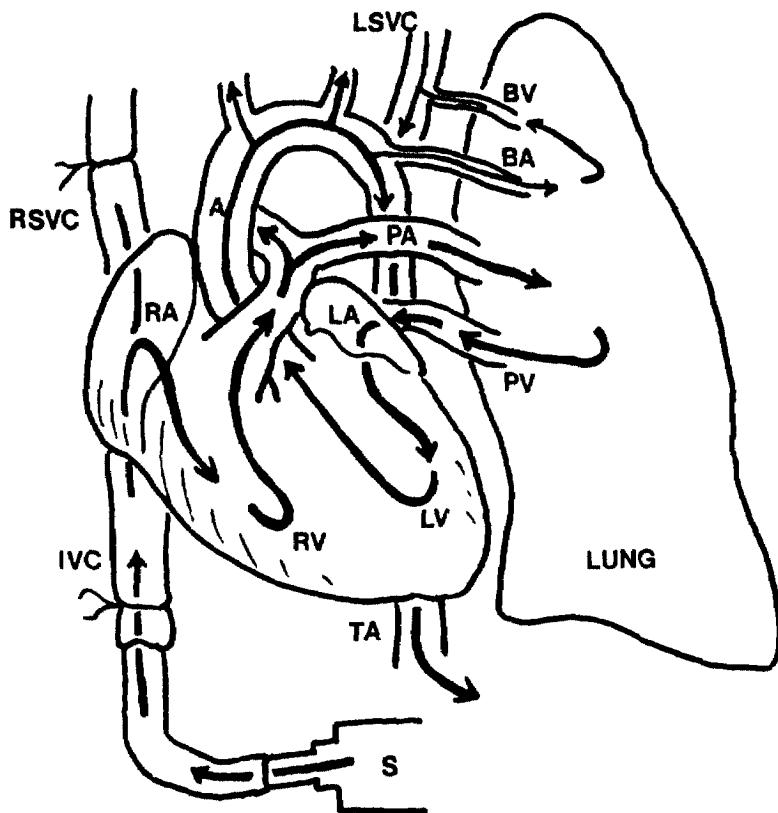


Fig 1. Schematic drawing to show the vascular casting procedure. PA, PV: pulmonary artery and vein; BA, BV: bronchial artery and vein; RA, RV: right auricle and ventricle; LA, LV: left auricle and ventricle; A, TA: aorta and thoracic aorta; RSVC, LSVC: right and left superior vena cava; IVC: inferior vena cava; S: syringe.

기관지 주위를 분포하고 있음을 볼 수 있다(Fig 2,3,4). 폐동맥은 주폐동맥간(main pulmonary trunk)으로부터 시작되면서 그 직경은 기관지동맥과 비슷하나 분지가 계속 될수록 급격하게 가늘어짐을 볼 수 있다. 일반적으로 폐동맥은 기관지혈관초(bronchovascular sheath)내에서 기관지와 평행하게 주행하는데 비하여 폐정맥은 소엽간격막에 위치하며 기관지로 부터 떨어져 분포하고 폐문에 가까워지면 기관지혈관초내로 주행함을 볼 수 있다(Fig 3). 또한 폐동맥은 분지를 계속하면서 소기도와 가까이서 주행하고 그 직경은 계속 가늘어져 폐장의 실질부분의 혈관계를 형성한다. 폐동맥 cast의 표면에는 혈관내피세포 핵을 나타내주는 수직배열의 난원형 혼적을 보여주는데 비하여 폐정맥 cast의 표면에는 보다 등근핵의 혼적을 보여주고 뚜렷하게 잘룩한 흙 또는 원형의 주름을 볼 수 있다(Fig 5,6). 폐동맥은 분지를 거듭하여 직경 20μm미만의 세동맥에 이르면서 더욱 분지가 이루어

어져 수많은 모세혈관을 이루며 이들은 호흡세기관지, 폐포관 및 폐포낭이 위치한 지역에서 풍부하게 바구니모양의 교통망(basket-shaped anastomosing network)을 형성하고 있다(Fig 7). 폐세정맥은 폐포모세혈관으로부터 시작하고 폐포가 위치한 부위에서 관찰된다.

폐포모세혈관계(alveolar capillaries)

폐포모세혈관은 짧고 원형의 원통형관으로 이루어진 크기가 다양한 육각형망으로 구성되어 있고 어떤 부위에서는 오각형 또는 사각형망을 보여 주며 폐포모세혈관 cast의 표면에서 혈관 내피세포 핵을 나타내는 얇은 혼적을 볼 수 있다(Fig 7,8). 또한 이들 폐포모세혈관들은 일부에서 폐세정맥으로 합류됨을 관찰할 수 있다(Fig 9). 그리고 능막하 부위에서는 모세혈관들이 폐포모세혈관들과는 다른 형태를 보여주는데 이들은 세동맥에서 분지되며 복잡한 혈관망을

이루고 흔히 모세혈관들은 그 끝이 막힌채 난원형의 첨단부를 이루고 있다(Fig 10).

기관지 혈관계(bronchial vasculature)

기관지 및 기관세지에 영양을 공급하는 기관지동맥은 폐문근처에서 시작하여 기관지혈관초내로 주행하면서 평면상으로 분지를 내고 이를 혈관들은 분지를 계속 하면서 서로 연결하여 모세혈관총을 만들어 기관지와 기관세지등 크고 작은 기도에 혈액을 공급하고 종말세기관지까지 모세혈관망이 연장됨을 볼 수 있다(Fig 11,12). 이들 모세혈관은 또한 맥관혈관계(vasa vasorum)를 형성하면서 폐동맥과 폐정맥 벽에서 관찰된다. 그리고 종말세기관지에서 모세혈관총을 이루는 기관지세동맥 및 모세혈관들은 주위의 폐동맥에서 분지된 혈관으로부터도 유래되며 기관지세정맥과 함께 호흡세기관지 및 폐포관에 위치한 폐모세혈관망과 교통함을 관찰할 수 있다(Fig 13). 한편 기관지세정맥과 기관지정맥은 기관지벽에 인접하여 볼 수 있고 폐문부위에도 관찰되며 기관지정맥은 폐정맥과 형태학적으로 유사하고 부분적으로 서로 연결됨을 관찰 할 수 있다.

맥관혈관계(vasa vasorum)

폐동맥 및 폐정맥의 벽에는 기관지동맥 또는 종격동에 위치한 동맥으로부터 분지된 모세혈관망에 의해 둘러싸여져 있으며 폐장내에서는 맥관혈관들이 세정맥으로 모아지고 이들은 폐정맥으로 합류한다. 또한 폐동맥 및 폐정맥벽에 위치한 맥관혈관은 기관지세정맥과 기관지정맥을 거쳐서 상대정맥으로 연결된다. 폐정맥벽에 위치한 맥관혈관들은 폐동맥벽의 맥관혈관들 보다 더욱 복잡하며 잘 발달되어 있고 이들은 원형 또는 경사진채로 덩어리를 이루며 분포하고 있음을 관찰 할 수 있다(Fig 14,15).

고 칠

폐장의 미세혈관 구조를 자세히 관찰하기 위하여 최근 vascular casting법을 흔히 사용하는데 그 vascular casting의 제작과정은 먼저 생리식염수로 혈관관류를 시켜 혈관내 혈구성분을 완전히 제거하고 고정액을 주입하여 혈관벽을 고정시킨 다음 cast제제를 주입시켜 혈관강을 채우고 경화시킨 후 조직을 용해시켜 제거하므로서 완전한 혈관 cast를 얻을 수 있다^{1,3,5,7)}. 그러나 혈관 관류를 시킬 때 혈액의 회색을

초래 하여 동맥주위에 부종을 유발시킬 수도 있는데 이 경우 혈관관류 시간을 가급적 짧게하거나 dextran등을 관류용액에 혼합하는 방법을 시도하기도 한다⁴⁾. Sabin 등²²⁾은 silicone elastomer를 사용하여 고양이 폐장의 세밀한 조직을 통해 폐포구조를 광학현미경적으로 관찰하였으나 미세혈관들은 자세히 규명하지 못하였다. 이들 미세혈관들은 vascular cast를 하여 주사전자현미경적 관찰을 함으로서 폐장의 미세혈관 구조를 3차원적으로 나타낼수 있고 맥관혈관과 같은 미세혈관들도 정확하게 나타낼수 있는데¹⁵⁾ 본 실험에서 특히 기관지동맥은 물론이고 이 혈관에서 분지하여 종말세기관지에 이르기까지 영양을 공급하는 모세혈관총을 형태학적으로 나타낼수 있었으며 모세혈관총에서 기관지정맥으로 연결되는 부위도 관찰 할 수 있었다. 그러나 vascular casting법을 이용하면 혈관 구조의 형태학적 규명에는 매우 유용하나 vascular cast가 상당히 연약하여 취급 도중 잘 부서지는 경향이 많으며 인공산물이 많아 미세혈관계 전체를 모두 깨끗하게 재현하기에는 실제로 어려우며 따라서 시료제작과정에 세심한 주의가 필요하다. 본 연구에서는 vascular cast를 제작하는 과정에서 이미 보고된 실험 방법^{1,15)}과는 몇가지를 달리 하였다. 첫째 혈관관류 및 cast 제제의 주입을 하대정맥을 통해서 실시하고 흉부대동맥을 절단하므로서 혈관관류와 cast media의 주입 시간을 줄일 수 있었고 실험조작이 간편하였다. 둘째 vascular cast에 osmium 침투를 실시하였다. 예비실험에서 세밀한 vascular cast를 공기중에 말린후 바로 Pt-Pd로 증착을 실시한 군에서는 주사전자현미경적 관찰을 통해 부분적으로 charge up현상이 심하였으나 본 실험에서는 Murakami²³⁾가 제시한 osmium-hydrazine-hydrate 법을 이용하여 만들어진 vascular cast에 osmium을 침투시킴으로서 charge up현상을 상당히 줄이고 정교한 혈관 구조를 관찰 할 수 있었다. 셋째 vascular casting을 실시한 후 조직을 용해시키기 전에 면도칼로 시료를 세밀하므로서 세밀도중 vascular cast가 잘 부서지는 경향을 줄일 수 있었다.

폐동맥은 주폐동맥간에서 시작하는데 폐문부위에서는 그 직경이 기관지동맥과 비슷하나 분지가 계속될수록 폐동맥의 직경은 급격하게 가늘어짐을 볼 수 있다²⁴⁾. 대체로 폐동맥에서 예각으로 분지되는 혈관들은 폐장의 원위부로 혈액을 공급하며 직각으로 분지하는 혈관들은 폐문 주위의 모세혈관망과 연결된다¹⁶⁾. 폐동맥과 폐정맥은 다음과 같은 특징을 같

는데 첫째 폐동맥 cast의 표면에서 혈관내피세포 핵을 나타내는 깊고 타원형의 혼적을 가지는데 비하여 폐정맥 cast의 표면에는 보다 둥글고 얇은 핵의 혼적을 가지면서 원형의 잘룩한 흠 또는 주름을 가지며 둘째 폐동맥은 보통 기관지와 평행으로 주행하며 가깝게 위치하는데 비하여 폐정맥은 기관지와 거리를 두고 주행하고 셋째 폐정맥은 폐동맥보다 풍부한 맥관혈관을 가지면서 원형 또는 타원형으로 복잡하게 분포하고 있다. 맥관혈관이 폐정맥에서 보다 잘 발달된데 대한 연구로서 Ludatscher²⁵⁾는 폐정맥벽의 구조가 이처럼 특징적이고 풍부한 혈관을 갖는 이유로서 폐정맥내의 혈압이 낮은 상태에서 혈액을 좌심방으로 보내기 위해서는 혈관이 반복적인 수축 및 이완작용을 하여야 하고, 이 기능을 수행할 수 있도록 그 정맥벽이 심근으로 구성되어 있고 또한 이러한 일을 수행하는데 필요한 적절한 영양을 공급 받기 위해 맥관혈관이 잘 발달된 것으로 해석하였다.

Weibel 및 Gomez²⁶⁾는 투과전자현미경적 관찰을 통해 폐장의 광범위한 형태개측학적 연구를 실시하여 폐포모세혈관의 형태는 원형의 원통형관으로 육각형망을 구성하고 있음을 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 폐포모세혈관망이 다소 불규칙한 형태를 보여주고 있는데 즉 육각형의 모세혈관구조는 일부에서 관찰되고 나머지 부위에서는 다섯개의 혈관분지를 갖는 오각형망을 보이거나 또 어떤 부위에서는 모세혈관들이 서로 연결하여 사각형망을 이루기도 한다. 이와같이 폐포모세혈관계의 구조가 이처럼 다양한 형태를 보이는 것은 주로 폐포내압에 의해 결정되는 것으로 생각된다¹¹⁾. 폐포모세혈관망은 일반적으로 잘 발달된 상호연결되는 교통구조를 갖는데 비하여 늑막하 부위에서는 모세혈관들이 흔히 첨단부가 막힌 형태로 관찰된다. 늑막하 부위에서 모세혈관의 이러한 구조적 특징으로 인해 폐장의 다른 부위에 비하여 혈전증이 보다 잘 초래되는 이유가 된다¹¹⁾.

Mercox 제제를 대동맥으로 주입하면 기관지동맥, 모세혈관 및 기관지세정맥이 차례로 차여지며 이와 함께 폐정맥과 주변의 폐포모세혈관및 폐동맥에도 cast가 차여짐을 볼수 있는데 이는 폐장의 순환계에 있어서 혈관들이 서로 연결되고 있음을 나타내 주는 소견이라고 볼 수 있다. 즉 기관지혈관계와 폐혈관계 사이에 복잡한 문합이 있음을 생각 할 수 있는데 Hayek²⁷⁾는 이러한 소견을 관찰하고 Sperr arteries에 의한 연결로 생각하였다. 본 실험 성적에서도 폐포-

모세혈관과 기관지세동맥관의 연결, 세기관지에 위치한 모세혈관총과 폐동맥 혹은 폐정맥벽에 위치한 맥관혈관과의 연결및 기관지세정맥과 폐정맥의 서로 교통하는 소견을 관찰 할 수 있었다.

기관지동맥은 폐장에 영양을 공급하는 혈관으로서 폐동맥과, 폐정맥, 기관지및 늑막에 혈액을 공급한다²⁸⁾. 일반적으로 기관지동맥은 원위대동맥궁과 하행흉부대동맥의 상부에서 시작되지만 그 시작하는 혈관의 수나 위치는 상당히 다양한 편이다. 즉 우측 기관지동맥은 특징적으로 우측 3번째 늑간동맥으로부터 시작하나 원위 대동맥궁의 아래쪽으로부터 시작되기도 한다. 좌측에서는 상, 하기관지동맥이 하행대동맥에서 위치를 달리하여 시작된다²⁹⁾. 기관지동맥은 폐동맥과는 다른 분지형태를 가지는데 기관지동맥은 평면상으로 분지하는데 비하여 폐동맥은 입체적으로 분지함이 다르다¹¹⁾. 기관지정맥은 보통 기정맥(azygos vein), 반기정맥(hemiazygos vein) 또는 좌측 무명정맥을 통하여 우측 심방으로 들어간다¹¹⁾. 일반적으로 흰쥐에서는 기관 및 기관지에 분포하는 기관지정맥이 상대정맥으로 연결되는데 비해 사람에서는 기관지의 분지가 몇번 이루어 지면서 여기에 분포하는 기관지정맥이 기정맥, 반기정맥 또는 후측 늑간정맥으로 이어지고 나머지 정맥혈관은 폐정맥으로 연결됨이 다르다¹⁵⁾.

요 약

저자는 폐장의 주요 혈관계의 형태학적 특징과 분포상의 차이점을 알아보고 미세혈관계에 대한 구조및 상호 연결 상태를 관찰하고 여기서 얻어진 성적을 토대로 각종 폐질환의 연구에 대한 기초적자료로 활용하기 위해 Sprague-Dawley종 백서 10마리를 이용하여 혈관관류를 실시하여 혈액을 제거하고 Mercox CL-2B를 사용하여 vascular casting을 실시한후 Hitachi S-520 주사전자현미경으로 관찰하여 다음과 같은 성적을 얻었다.

폐동맥은 기관지와 가까이 위치하며 평행하게 주행하였으나 폐정맥은 기관지와 거리를 두고 분포하고 있었다.

폐동맥 cast의 표면에는 혈관 내피세포의 핵을 나타내 주는 깊게 파인 수직배열의 난원형 혼적을 가지는데 비하여 폐정맥의 cast표면에는 둥글고 얕은 핵의 혼적을 보여주었고 뚜렷하게 원형의 잘룩한 흠 또는 주름을 관찰 할 수 있었다.

폐포 모세혈관은 대체로 육각형의 혈관망을 보여 주었으나 부분적으로 오각형 또는 사각형의 망상구조를 나타내었고, 놀막하 부위에서는 모세혈관이 흔히 그 침단부가 막힌 채 난원형의 형태를 보여 주었다.

폐동맥은 입체적으로 분지하는데 비하여 기관지 동맥은 평면상의 분지를 하였다.

기관지 세동맥과 여기서 분지된 모세혈관총은 폐포모세혈관과 부분적으로 연결됨을 보았다.

맥관혈관은 폐동맥에 비하여 폐정맥에서 보다 잘 발달되어 있었다.

이상의 실험 성적을 근거로하여 폐포모세혈관 및 맥관혈관을 포함한 폐장의 미세혈관들의 발생, 분포 및 상호 연결에 대해서, 그리고 실험동물과 사람에 있어서 폐혈관계의 분포상의 상이점등에 대해서는 향후 보다 깊은 연구가 이루어져야 하며 본 실험에서 나타난성적은 앞으로 각종 폐질환의 기전을 규명하는 연구에 있어서 혈관의 형태학적 변화를 알아보는데 기초적 자료가 될 것으로 사료된다.

후 기

본 실험 기간중 시료제작 과정및 사진작업에 많은 도움을 준 중앙전자현미경실 김영호, 김승필 기사에게 심심한 감사를 표하는 바이다.

참 고 문 현

- Hijiya K, Okada Y: Scanning electron microscope study of the cast of the pulmonary capillary vessels in rats. *J Electron Microsc* 1978; 27: 49-53.
- Nowell J A, Lohse CL: Injection replication of the microvasculature for SEM. *SEM*, Chicago, ITT Research Institute, 1974, pp 268-274.
- Lametschwandtner A, Lametschwandtner U, Weiger T: Scanning electron microscopy of vascular corrosion casts-technique and application. *Scanning Electron Microsc* 1984; II: 663-695.
- Schraufnagel DE, Schmid A: Microvascular casting of the lung: Vascular lavage. *Scanning Microsc* 1988; 2: 1017-1020.
- Dilly SA: Microcorrosion casting of the human respiratory acinus. *Scanning Electron Microsc* 1986; III: 1095-1101.
- Hodde KC, Nowell JA: SEM of microcorrosion casts. *Scanning Electron Microsc* 1980; II : 89-106.

- Lametschwandtner TW, Stockmayer P: Technical parameters of plastics(Mercox CL-2B and various methylmethacrylates) used in scanning electron microscopy of vascular corrosion casts. *Scanning Electron Microsc* 1986; I : 243-252.
- Nelson AC: Study of rat lung alveoli using corrosion casting and freeze fracture methods coupled with digital image analysis. *Scanning Microsc* 1987; 1: 817-822.
- Parke WW: The vasa vasorum of the ascending aorta and pulmonary trunk and their coronary extracardiac relationships. *Am Heart J* 1970; 80: 802-810.
- Sobin SS, Frasher WG, Tremer HM: Vasa vasorum of the pulmonary artery of the rabbit. *Circulation Res* 1962; 11: 257-263.
- Schlchter JG: Studies of the vascularization of the aorta: I. Vascularization of the aorta in the normal dog. *Am Heart J* 1946; 32: 770-777.
- Schlchter JG, Harris R: Vascularization of the aorta: II. Comparative study of the aortic vascularization of several species in health and disease. *Am J Med* 1949; 218: 610-615.
- Wolinsky H, Glagov S: A lamellar unit of aortic medial structure and function in mammals. *Circulation Res* 1967; 20: 99-111.
- Wolinsky H, Glagov S: Nature of species difference in the medial distribution of aortic vasorum in mammals. *Circulation Res* 1967; 20: 409-421.
- Ohtani O: Microvasculature of the rat lung as revealed by scanning electron microscopy of corrosion casts. *Scanning Electron Microsc* 1980; III: 349-356.
- Schraufnagel DE: Microvascular corrosion casting of the lung. A state of the art review. *Scanning Microsc* 1987; 1: 1733-1747.
- Murakami T: Application of the scanning electron microscope to the study of the fine distribution of the blood vessels. *Arch Histol Jpn* 1971; 32: 445-454.
- Hodde KC, Modonski A, Bakker C, et al: Scanning electron microscopy of microcorrosion casts with special attention on arterio-venous difference and application to the rat's cochlea. *SEM*, Chicago, ITT Research Institute, 1977, pp 477-484.
- Ohtani O, Murakami T: Peribiliary portal system in the rat liver as studied by the injection replica

- scanning electron microscope method. SEM II, AMF O'Hare, SEM Inc, 1978, pp 241-244.
20. Ohtani O: The peribiliary portal system in the rabbit liver. *Arch Histol Jpn* 1979; 42: 153-167.
 21. Gannon BJ: Vascular casting, In Hayat MA(ed): *Principles and Techniques of Scanning Electron Microscopy, Biological Applications*, New York, Van Nostrand-Reinhold, 1978, pp 170-193.
 22. Sabin SS, Tremer HM, Fung YC: The morphometric basis of the sheet flow concept of the pulmonary alveolar microvasculature in the cat. *Circulation Res* 1970; 26: 397-414.
 23. Murakami T: Osmium impregnation of methylmethacrylate vascular casts for SEM. *Arch Histol Jpn* 1973; 36: 119-124.
 24. Sobonya RE: Normal anatomy and development of the lung, in Baum GL, Wolinsky (ed): *Textbook of Pulmonary Disease, ed4*. Boston, Toronto, Little, Brown and Co, 1989, pp 8-10.
 25. Ludatscher RM: Fine structure of the muscular wall of rat pulmonary veins. *Ibid* 1968; 103: 345-357.
 26. Weibel ER, Gomez DM: Architecture of the human lung. Use of quantitative methods establishes fundamental relations between size and number of lung structures. *Science* 1962; 137: 577-585.
 27. Hayek HV: *The Human Lung*. NY, Pub Co, 1960, pp 288.
 28. Deffenbach ME, Charan NB, Lakshminarayan S, et al: The bronchial circulation: Small, but vital attribute of the lung. *Am Rev Respir Dis* 1987; 135: 463-468.

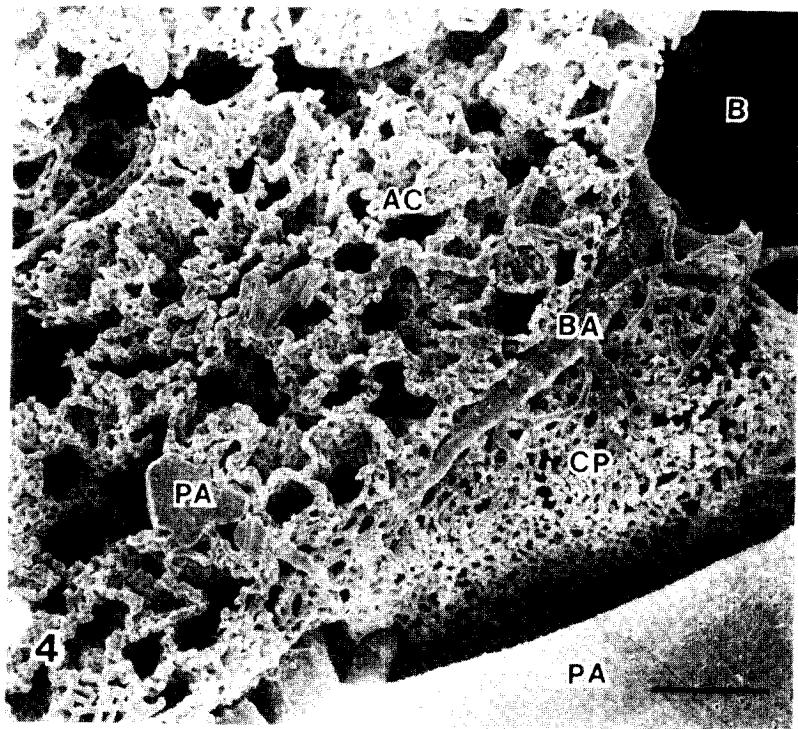
LEGENDS

- Fig 2. A scanning electron micrograph of methacrylate cast of normal rat pulmonary vasculature. Noted are pulmonary artery (PA), pulmonary vein (PV), bronchial tree (B) and its branches (arrows) and alveolar capillary networks (AC). Open arrows: pulmonary pleural junction. Bar=700 μ m
- Fig 3. Hilar portion of the pulmonary vasculatures. Bronchial tree (B) is located between the pulmonary artery (PA) and pulmonary vein (PV). Vv: vasa vasorum. Bar=400 μ m
- Fig 4. Bronchial artery (BA) repeats its branching and anastomosing to form coarse capillary plexus (CP). B: bronchial tree, PA: pulmonary artery, AC: alveolar capillaries. Bar=120 μ m
- Fig 5. A pulmonary arterial cast having longitudinally arranged deep oval imprints (arrow heads) of the endothelial nuclei. PA: pulmonary artery, CP: capillary plexus, Vv: vasa vasorum. Bar=30 μ m Inset: A pulmonary arteriole cast showing also deep oval imprints (arrows) of endothelial nuclei. Bar=30 μ m
- Fig 6. A pulmonary venous cast having shallow nuclear imprints (arrows) and prominent constrictions of circular striations (arrow heads). PV: pulmonary vein. Bar=200 μ m
- Fig 7. A pulmonary arteriole (Pa) giving off many capillaries to form basket-shaped anastomosing capillary networks of interalveolar septa. AC: alveolar capillaries. Bar=60 μ m
- Fig 8. Higher magnification of Fig 7. showing the network of alveolar capillaries (AC). *: square network of vascular ring, Arrow: shallow nuclear imprint. Bar=10 μ m
- Fig 9. The alveolar capillary networks (AC) are collected into the tributaries of the pulmonary vein (PV). *: tributaries of pulmonary vein. Bar=40 μ m
- Fig 10. At the subpleural part of the lung, many capillaries are observed as being obstructed channels (arrow heads). Pv: pulmonary venule, PC: pleural capillaries, large arrows: pulmonary pleural junction. Bar=75 μ m Inset: Higher magnification of pleural free surface (*). Noted are obstructed capillary tips (small arrows). Bar=20 μ m
- Fig 11. A part of bronchial tree (B) and surrounding alveolar capillary networks (AC) were seen. The bronchial tree was supplied by the bronchial artery which forms the coarse capillary plexus(CP) extending as far as the terminal bronchiole(tB). PA: pulmonary artery. Bar=150 μ m
- Fig 12. Higher magnification of a part of Fig 11. Capillary plexus (CP) of the bronchial tree converging into the tributaries (arrow heads) of the pulmonary vein (PV). PA: pulmonary artery, B: bronchial tree. Bar=80 μ m
- Fig 13. Capillary plexus of the terminal bronchiole. Arrow heads indicate the junction sites between the bronchial arteriole (Ba) and alveolar capillary network (AC) supplied by the pulmonary artery. Bar=20 μ m
- Fig 14. Vasa vasorum (Vv) of a pulmonary artery. Note that only a single layer of capillary network. PA: pulmonary artery. Bar=150 μ m
- Fig 15. Vasa vasorum (Vv) of a pulmonary vein. These capillaries are complicated and much more developed than pulmonary artery as seen in Fig 14. PV: pulmonary vein. Bar=150 μ m

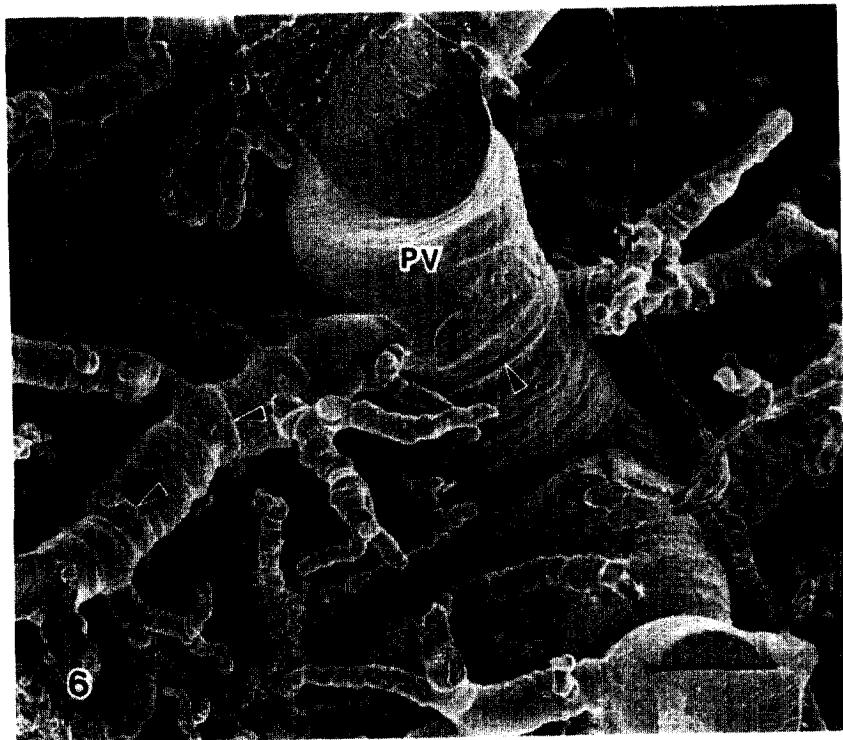
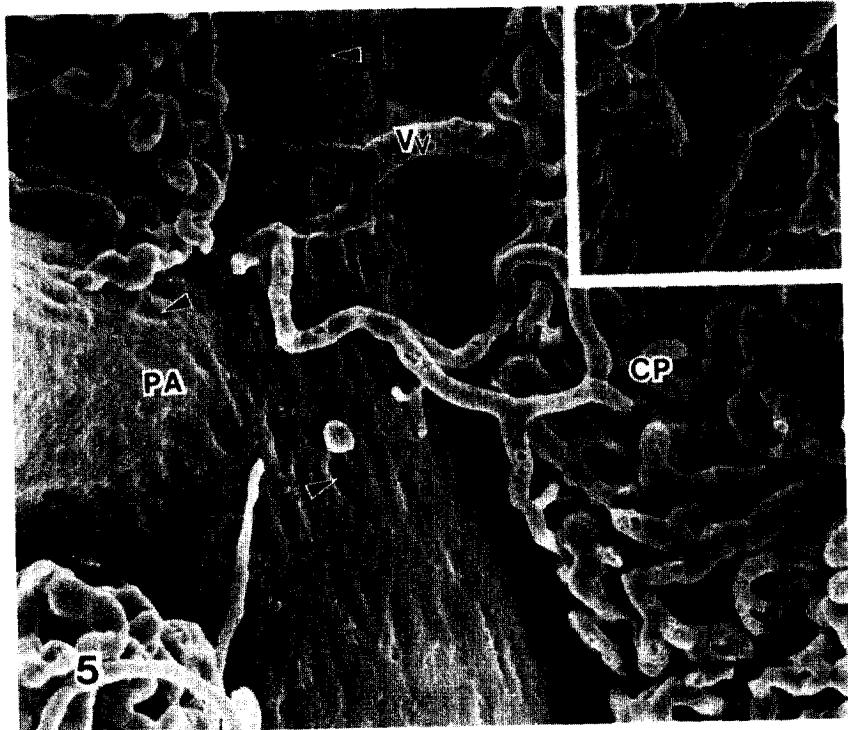
〈권 건영 논문 사진 부도 Ⅰ〉



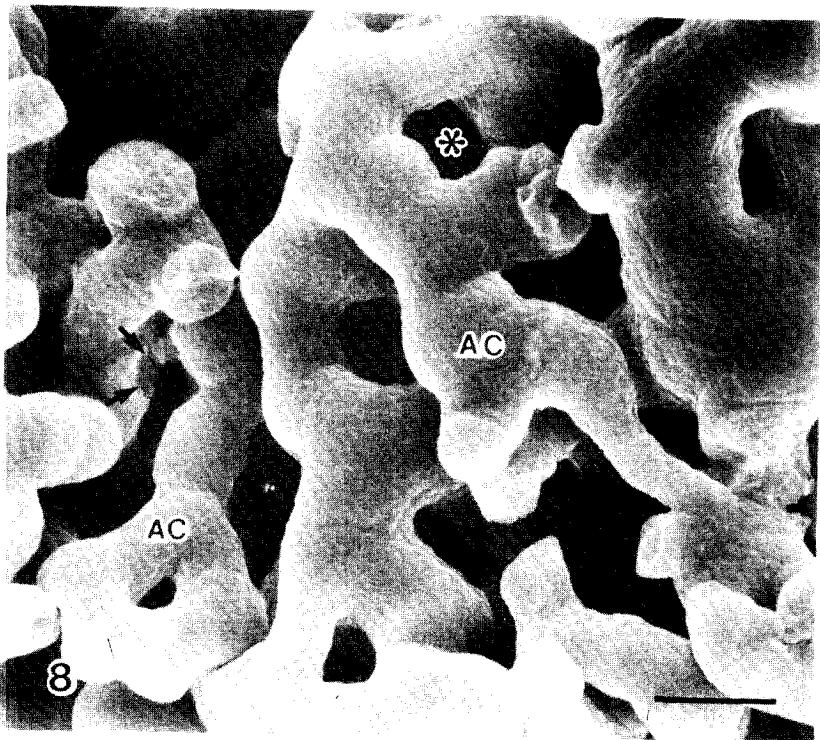
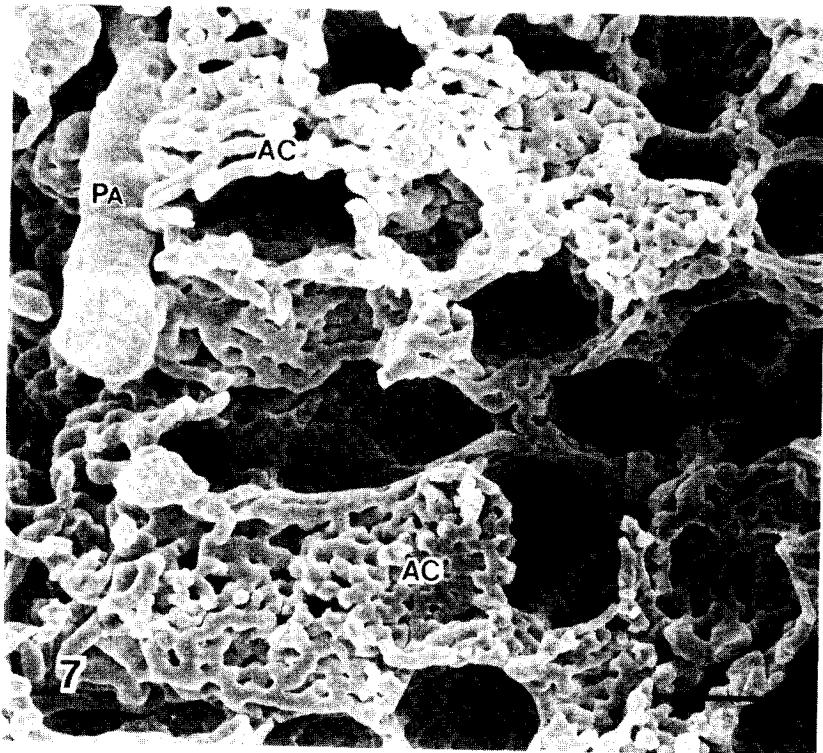
〈권 건영 논문 사진 부도 II〉



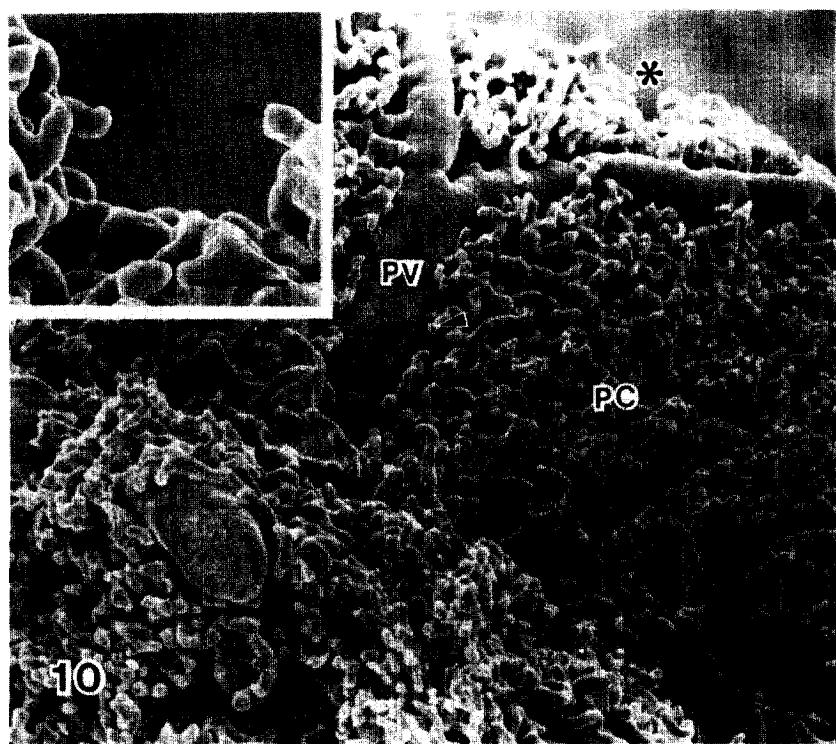
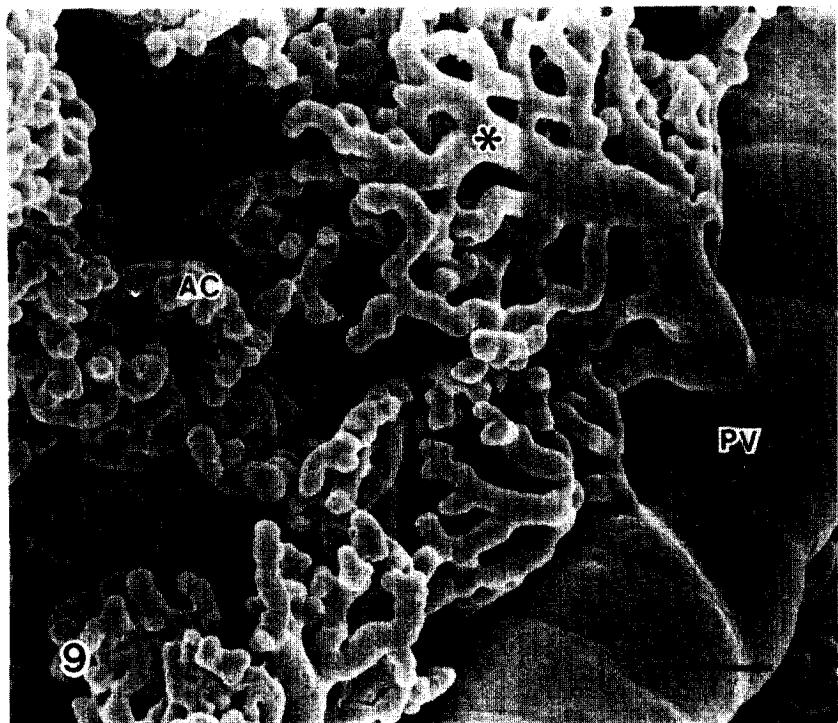
〈권 건영 논문 사진 부도 III〉



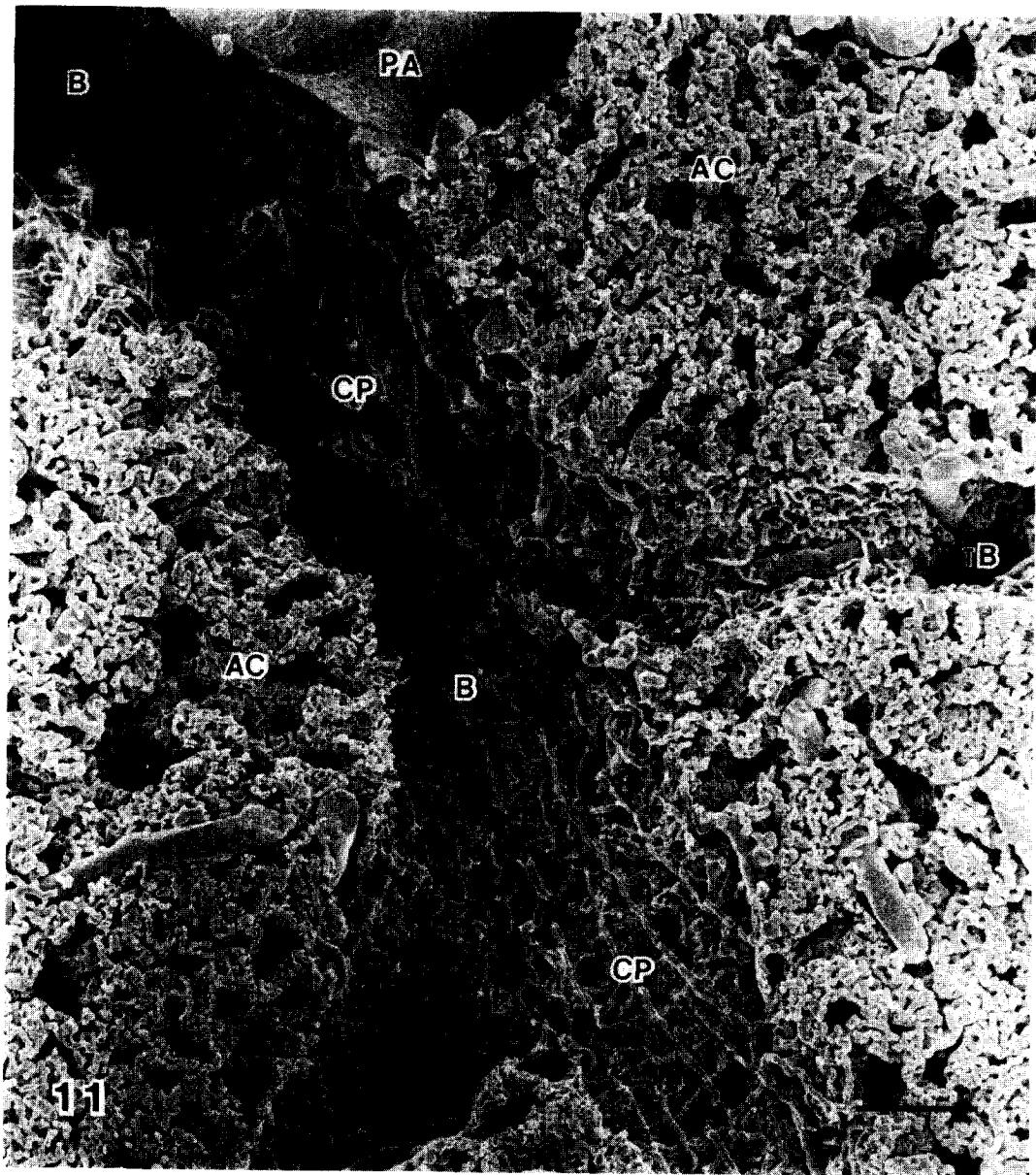
〈권 건영 논문 사진 부도 IV〉



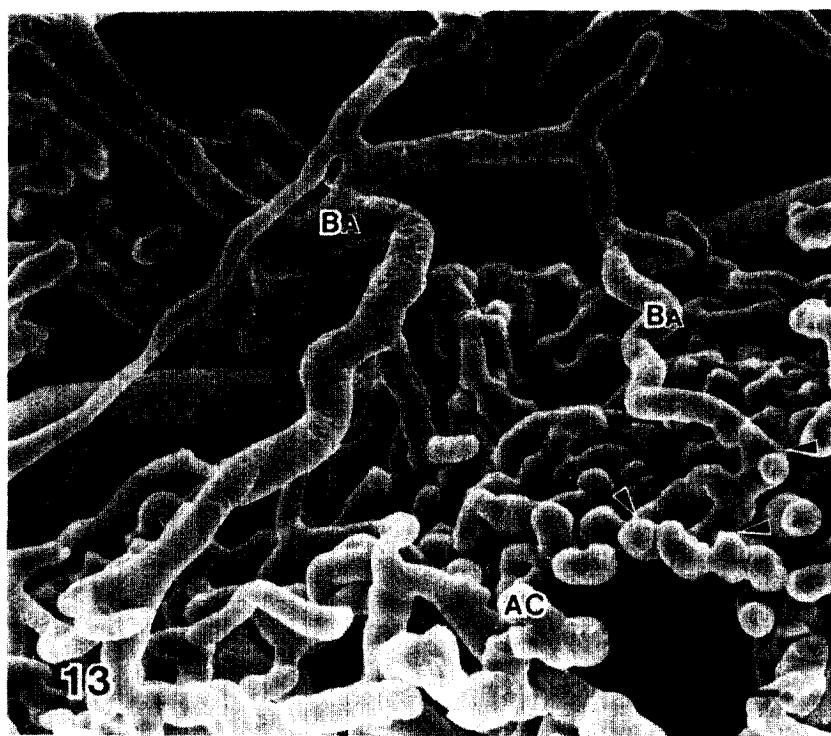
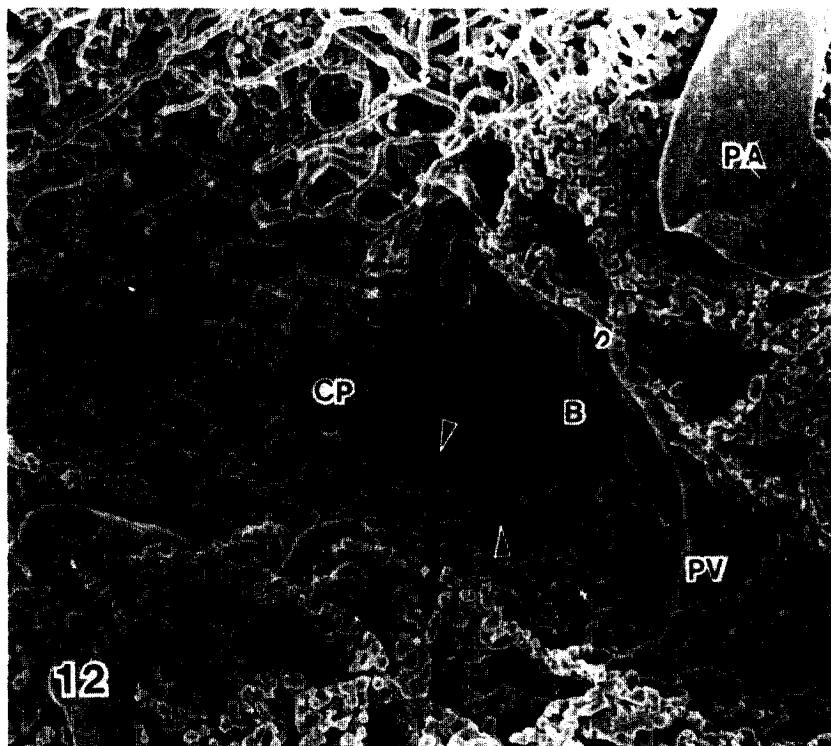
〈권 건영 논문 사진 부도 V〉



〈권 건영 논문 사진 부도 VI〉



〈권 건영 논문 사진 부도 VII〉



〈권 건영 논문 사진 부도 VIII〉

