한국전자현미경학회지 제 29 권 제 1 호 1999
Korean J. Electron Microscopy 29(1), 83~94(1999)

흰쥐 수지동맥의 미세구조에 관한 연구

김 백 윤,* 신 근 남
전남대학교 의과대학 해부학교실

Fine Structure of Digital Arteries in Rat

Baik Yoon Kim* and Keun Nam Shin
Department of Anatomy, Chonnam University Medical School
(Received February 8, 1999)

ABSTRACT

The ultrastructure of small arterioles and capillaries in the lumbrical muscles of rat digits were studied by electron microscopy and following results were obtained.

1. The diameter of small arterioles of rat digits were 12~20 μm, and it was relatively smaller than human (30~35 μm).
2. All the endothelial cells of small arterioles and capillaries in the lumbrical muscles of rat digits were continuous type, and they had typical morphological characteristics of continuous endothelial cells; numerous cytoplasmic pinocytic vesicles and many tight junctions between the endothelial cells.
3. In the small arterioles subendothelial layers were irregularly spaced beneath the basal lamina, and membrane to membrane contacts were found between the endothelial cells and smooth muscle cells.
4. Pericytes were often found nearby capillary endothelium, and their cytoplasmic processes surrounded part of endothelial cells. They were enclosed by basal lamina.
5. Smooth muscle cells in tunica media of small arterioles were only one layered, that is, they were terminal arterioles. Sarcoplasm of smooth muscle cell was divided to 2 areas; homogeneous or filamentous area and non-homogeneous perinuclear area.
6. The tunica adventitia contained fibroblasts with extremely attenuated cytoplasmic processes and collagen fibirls.

Key words : Arteriole, Capillary, Lumbrical muscle

* Correspondence should be addressed to Dr. Baik Yoon Kim, Department of Anatomy, Chonnam University Medical School, Kwangju, 501-190 Korea. Ph : (062) 220-4200, FAX : (062) 228-5834, E-mail : bykim@ orion.chonnam.ac.kr
Copyright © 1999 Korean Society of Electron Microscopy

서 론

동맥은 크기에 따라 가장 큰 직경의 대동맥과 이것의 큰 가지들을 포함하는 탄력동맥(elastic arteries), 중간 직경 또는 큰 직경의 근육형 동맥(muscular arteries), 가장 작은 직경을 갖는 소동맥(arterioles), 다음은 모세혈관으로 나눠진다. 이러한 동맥들의 벽은 일반적으로 내피세포로 구성되어 있는 내막(tunica intima), 평활근세포가 동심원적으로 층을 이루는 중막(tunica media), 가장 바깥의 아교섬유와 탄력섬유들로 구성되어 있는 외막(tunica adventitia)의 세 층으로 구성되어 있다(Ross, 1995; Gartner, 1997).

한편 모세혈관은 내피세포의 구조 및 기저판의 존재 유무에 따라 다음의 세가지 유형으로 나누어진다(Rhodin, 1962; Majno, 1965; Simon, 1965; Hammerson, 1966).

(1) 연속모세혈관(continuous or somatic capillary : Palade, 1953; Pease, 1955; Buck, 1958, 1959; Keech, 1960; Pease & Paule, 1960),

(2) 격막이 있는 유창모세혈관(fenestrated capillary with diaphragm : Hall, 1953; Yamada, 1955; Pease, 1955, 1956; Parker, 1958; Rhodin, 1962),

(3) 격막이 없는 유창모세혈관(fenestrated capillary without diaphragm : Fawcett, 1955; Hampton, 1958; Weiss, 1961).

동맥에 대한 많은 형태학적 및 기능적 연구들은 대부분 탄력동맥이나 근육형 동맥에 집중되어 있으며 미세혈관에 관하여는 장기 위주로 보고되었다(Buck, 1958, 1959; Keech, 1960; Pease & Paule, 1960; Rhodin, 1962, Bader, 1965; Albert & Nayak, 1976; Kim & Choi, 1994). 최근에는 미세혈관 수술이 발전함에 따라 수지의 재접합수술이 성행하고 있고, 따라서 수·족부 소동맥과 모세혈관의 미세구조에 관한 연구도 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

이에 저자는 흰쥐의 수지내 충양근에 있는 소동맥 및 모세혈관을 대상으로, 특히 내피세포를 중심으로 미세구조를 관찰하여 보고하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에서는 전남대학교 의과대학 동물사에서 건강하게 사육된 체중 200 g 내외의 성숙한 Sprague-Dawley계 흰쥐를 암수 구별 없이 사용하였다. 수지의 미세동맥은 충양근(lumbrical muscle)내의 소동맥 및 모세혈관을 연구대상으로 하였다.

Ether로 마취한 흰쥐의 좌심실에서 대동맥궁을 통하여 0.2 M cacodylate 완충액이 들어 있는 3% glutaraldehyde와 8% paraformaldehyde 동량 혼합액인 Karnovsky 용액(1965)으로 관류 고정을 한 다음, 수지의 충양근을 떼어내어 고정액을 떨어뜨린 paraffin 판상에서 다시 작은 절편으로 만들었다. 이렇게 얻은 절편을 다시 동일 고정액으로 2시간 선고정하고 0.1 M cacodylate 완충액으로 세척한 후 1% osmium tetroxide에 2시간동안 후고정하였다. 고정된 조직은 ethanol로 탈수하고 Luft법(1961)에 따라 propylene oxide를 거쳐 Epon 혼합액에 포매하여 35°C, 45°C, 60°C 오븐에서 각각 2시간 유지시켜 중합을 완료하였다. 이와 같이 포매된 조직은 횡단면이 잘리도록 방향을 잡은 후 MT-5000 초박절편기로 diamond 칼을 사용하여 80 nm 내외의 절편을 얻어 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색을 시행하여 Hitachi HU-12 전자현미경으로 75 kV의 가속 전압하에서 관찰하였다.

결 과

1. 소동맥

저배율의 전자현미경 소견에서 흰쥐의 충양근 사이사이에 관찰되는 소동맥들은 대체적으로 그 직경이 12~20 μm 정도로 아주 가늘었고 일반적인 동맥벽의 구조 즉 내막(tunica intima), 중막(tunica media) 그리고 외막(tunica adventitia)의 3층으로 잘 구별되어 관찰되었으며, 거의 대부분의 표본에서 중막층의 평활근 섬유들은 혈관강을 따라 나선형으로 배열되어 있었으며 단층으로 구성되어 있었다(Figs. 1, 4, 5, 8).

내막 : 소동맥의 내막은 한층의 내측면을 덮고 있는 내피세포(endothelial cells)로 구성되어 있었고 표면에서 보면 다각형으로 관찰되었고(Figs. 1, 4, 5, 6, 7, 8) 혈액이 흐르는 방향으로 길게 배열되어 있었으며(Figs. 7, 8) 핵은 내강쪽으로 약간 돌출되어 있었다. 핵쪽의 세포질에는 mitochondria가 뚜렷하게 관찰되었고 작은 골지복합체, 과립형질내세망(rough endoplasmic reticulum), 자유리보솜도 관찰되었다(Figs. 2, 6, 7). 또한 핵 주변부위의 중간세사도 관찰할 수 있었으며 미세사(microfilaments)도 세포질 전체에 풍부하게 존재하였다. 특히 눈에 띄는 것은 세포질내에 널리 존재하는 포음소포(pinocytic vesicles)였는데 포음소포는 강 쪽, 기저판쪽, 세포질내에 두루 많이 관찰되었다(Figs. 2, 5, 6, 7). 내피세포는 가장자리 쪽으로 갈수록 점점 가늘어졌으며 내피세포간에는 폐쇄띠(tight junc-tion)나 부착반에 의해 대부분 연결되고 있었는데 폐쇄띠에 의한 연결이 가장 많았다(Figs. 2, 4, 5, 6). 내피세포들은 기저판에 의해 지지되고 있었으며 그 아래의 내피하층(subendothelial layer)은 아주 불규칙한 형태로 관찰되었다(Figs. 2, 3, 6).

중막 : 흰쥐 층양근내 미세동맥의 중막은 거의 대부분 1층의 평활근세포들에 의하여 구성되는 종말소동맥(terminal arterioles)이었으며 평활근세포들은 내피세포를 바깥에서 둘러싸는 형태의 배열을 하고 있었다. 이 평활근세포들은 불규칙한 내피하층을 사이에 두고 내피세포를 둘러싸면서 여러 곳에서 내피세포와 꽉 붙어있었다(Figs. 2, 3). 평활근세포의 핵은 길고 불규칙하였으며 세포질은 filaments가 많이 출현하는 균질성 영역(homogeneous area)과 mitochondria나 그 외 다른 세포소기관들이 많이 출현하는 비균질성 구역(non-homogeneous area)으로 구분되어 관찰되었다. 핵 주변부의 비균질성 영역에는 mitochondria, 약간의 조면내형질망 그리고 dense particles를 함유하고 있었으며(Figs. 4, 7, 8), 균질성 영역은 직경이 아주 가는 많은 미세사들이 평활근세포의 장축을 따라서 달리는 양상으로 나타났고 군데군데 dense particles를 함유하고 있었다(Figs. 2, 3). 평활근세포간에는 세포의 외측면을 따라 인접한 세포막 사이에 gap junction이 많이 형성되어 관찰되었다(Figs. 1, 4).

외막 : 외막은 아주 엷은 결합조직층으로 관찰되었으며 탄력섬유와 교원섬유들이 많이 출현하였다. 또한 외막에 출현하는 섬유모세포의 세포돌기들은 아주 가늘어진 형태로 관찰되었다(Figs. 3, 4, 7, 8).

2. 모세혈관

흰쥐의 층양근 사이 모세혈관들은 내피세포로만 둘러싸여 있는 직경 약 5~8 μm 정도의 아주 가느다란 구조였다. 모세혈관에서는 긴 세포질 돌기를 갖는 혈관주위세포(pericytes)가 자주 관찰되었는데, 이들 혈관주위세포는 내피세포를 부분적으로 둘러싸고 있었고 기저판에 의해 둘러싸여 있었으며 이 기저판이 내피세포의 기저판과 서로 이어져 있는 경우도 있었다. 혈관주위세포는 비교적 큰 핵을 가지고 있었고 세포질내에는 많은 mitochondria, 조면내형질망 그리고 자유리보솜을 가지고 있었으며, 또한 filamentous component들도 많이 출현하였는데 이들은 기저판에 의해 내피세포와 분리되어 있었으며 어떤 곳은 기저판이 없이 혈관주위세포와 내피세포가 접촉하고 있는 곳도 관찰되었다(Figs. 9, 10, 12, 13, 14). 모세혈관의 내피세포는 미세동맥의 내피세포와 그 미세구조에 있어서는 아주 유사하였다. 즉, 핵은 아주 불규칙한 형태로 관찰되었고 핵주위 세포질내에 mitochondria, 작은 골지복합체, 과립내형질망, 자유리보솜, 중간세사 등이 잘 관찰되었다(Figs. 12, 14, 15, 16). 또한 세포질 전반에 걸쳐 microfilaments와 포음소포 등이 풍부하게 관찰되었다(Figs. 10, 11, 12). 한편 모세혈관의 내피세포간에도 폐쇄띠나 부착반에 의해 대부분 연결되고 있었는데 역시 폐쇄띠에 의한 연결이 가장 많았다(Figs. 10, 11, 12, 14, 15, 16).

고 찰

미세혈관 수술이 발전함에 따라 수지의 재접합 수술이 자주 행하여지고 있고, 혈관벽의 미세구조에 관한 연구도 활발히 진행되고 있는 실정이다. 그러나 혈관 벽에 대한 연구의 대부분이 탄력동맥, 근육형 동맥 등에 대해 이루어졌고(Buck, 1958, 1959;

Keech, 1960; Pease & Paule, 1960; Rhodin, 1962; Bader, 1965; Albert & Nayak, 1976; Kim & Choi, 1994), 미세동맥이나 모세혈관에 관하여는 주로 특수한 장기에 국한되어 왔다 (Hall, 1953; Fawcett, 1955; Pease, 1955, 1956; Hampton, 1958; Parker, 1958; Weiss, 1961). 이들의 연구에서 동맥과 모세혈관의 내피세포는 크게 다음의 세 가지 유형으로 나누어지고 있다. 첫째는 연속모세혈관 (continuous capillary or somatic capillary)으로서 내피세포에 창이 없고 신경조직, 결합조직, 외분비선 또는 근육조직에 분포하는 형태이고 (Palade, 1953; Pease, 1955; Buck, 1958, 1959; Keech, 1960; Pease & Paule, 1960; Rhodin, 1962; Majno, 1965; Simon, 1965), 둘째는 격막이 있는 유창모세혈관 (fenestrated capillary with diaphragm)으로서 이들은 콩팥, 장, 내분비샘처럼 조직과 혈액 사이에 물질교환이 활발한 조직에서 주로 관찰된다 하였으며 (Hall, 1953; Yamada, 1955; Pease, 1955, 1956; Parker, 1958; Rhodin, 1962), 셋째는 격막이 없는 유창모세혈관 (fenestrated capillary without diaphragm)으로서 콩팥의 podocyte, 콩팥사구체에서 특징적으로 나타난다고 하였다 (Fawcett, 1955; Hampton, 1958; Weiss, 1961).

한편 본 연구는 흰쥐의 수지에 있는 충양근내의 미세동맥 및 모세혈관을 대상으로 하였으며, 이들 혈관의 내피세포는 창이 없는 연속된 내피세포의 형태였다. 이들 혈관 내피세포의 핵은 긴 방향 절개표본에서 불규칙한 긴 형태였으며 세포질내에 mitochondria가 특히 잘 관찰되고 filamentous material이 많이 관찰된 것은 이들 내피세포의 신축성과 관련이 있을 것으로 생각된다. Rose et al. (1995)과 Gartner (1997)는 연속내피세포의 특징으로서 많은 포음소포 (pinocytic vesicles)를 갖는 특징이 있다고 보고하였는데, 본 연구에서도 내피세포의 세포질에서 많은 포음소포가 관찰됨으로서 연속내피세포를 갖는 혈관의 전형으로 간주할 수 있었다. 또한 최근의 Rose et al. (1995)과 Gartner (1997)는 모세혈관이 선택적 투과장벽 (selective permeability barrier)으로 작용하며 합성 및 대사 작용 (synthetic and metabolic system), 항혈전 작용 (anti-thrombogenic function) 등을 한다고 하였고, 이들은 모세혈관의 생리학적인 실험결과 모세혈관에는 두 가지 크기의 구멍이 존재할 것이라고 제안하였으며, 작은 구멍은 직경이 9~11 nm이고 큰 구멍의 직경은 50~70 nm이다. 이러한 생리적 구멍에 해당하는 세 가지 구조가 가능하다 하였다. 첫째, 세포사이연접과 이웃하는 내피세포사이틈새, 둘째 유창모세혈관의 창에 있는 격막, 셋째 대부분의 모세혈관의 내피세포를 가로질러 통과하는 것으로 생각되는 많은 수의 포음소포를 들 수 있다. 본 연구의 결과에서 모세혈관 내피세포의 세포질내에 많은 수의 포음소포가 관찰되었으며 내피세포간의 연접이 주로 폐쇄띠로 되어 있는 곳이 많이 관찰되었다. 이러한 세포연접과 포음소포를 생리학적 구멍과 연관시켜보면 세포연접은 작은 구멍에 해당하는 형태학적 구조이며 포음소포는 큰 구멍에 해당하는 구조일 것이다.

Johannessen (1980)은 혈관주위세포 (pericyte)에 관한 보고에서 혈관주위세포는 모세혈관 주위와 미세정맥 주위에 출현한다고 하였고, 이들은 긴 세포질 돌기를 갖는 중간엽세포로 기저판에 의해 둘러싸여 있다고 하였다. 또한 Rose et al. (1995)은 이 혈관주위세포가 다른 세포로 변형할 수 있는 잠재력이 크며 세포질내에 마이오신, 액틴 등이 함유되어 있다고 보고하였다. 본 연구에서 혈관주위세포들이 모세혈관의 내피세포 주위에 자주 관찰되었고 이들은 내피세포와 연결된 기저판에 둘러싸여 있는 경우도 많았다. 혈관주위세포의 세포질내에는 mitochondria, 조면내형질망, polyribosome, 골지장치 외에도 많은 filamentous materials가 관찰되어서 이들 세포가 수축능력을 가질 것이라고 강력하게 시사하고 있었다. 또한 모세혈관 내피세포 및 혈관주위세포 가까이 섬유모세포도 자주 출현하는 것으로 보아 혈관주위세포가 섬유모세포 등 다른 세포로 분화할 수 있는 잠재능력을 가지고 있음을 시사해 주고 있었다.

사람의 소동맥 중막에 대한 연구에서 Johannessen (1980) 등은 대개 2~3층의 평활근세포들로 구성된 경우가 많다고 하였으며 모세혈관 직전의 30~35 μm 정도의 직경을 갖는 종말소동맥 (terminal arterioles)에서는 단층의 평활근세포로 구성되어 있다고 하였

다. 본 연구에서 백서의 충양근내의 소동맥들은 이러한 관점에서 거의 대부분 종말소동맥에 해당되는 단층의 평활근세포들이 구성하는 중막으로 형성되어 있었으며 그 직경은 12~20 μm으로 사람보다는 훨씬 작았다. 평활근의 세포질에 관하여 Rose et al. (1995)은 filaments가 많이 집합되어 균질성으로 보이는 균질성 영역(homogeneous or filamentous area)과 그 외 다른 소기관이 많이 있는 핵 주위의 비균질성 영역(non-homogeneous area)으로 분류하였다. 본 연구의 결과에서도 중막의 평활근 세포질을 이러한 균질성 및 비균질성 영역으로 확연히 구분할 수 있었으며, 균질성 영역에서는 미세한 filaments가 무수히 모여 있었고 드문드문 glycogen으로 생각되는 전자밀도가 높은 치밀반(electron dense plaques)들이 관찰되었다. 중막의 평활근 세포막 사이에는 gap junction이 잘 발달되어 있어서 마치 서로 닿아 있는 것처럼 관찰되었고 주위의 내피세포와도 가끔 평활근 세포돌기를 내어 서로 연접되어 있었다.

소동맥의 외막에 관한 많은 보고에서(Alkane, 1959; Johannessen, 1980; Gartner, 1997) 외막에는 섬유모세포가 관찰되며 이들의 가늘어진 세포돌기가 군데군데 나타나고 교원섬유들이 비교적 loose한 배열을 하고 있다고 하였는데, 이는 본 관찰에서의 소견과 일치하였다.

참 고 문 헌

Albert EN, Nayak RK: Surface morphology of human aorta as revealed by the scanning electron microscope. Anat Rec 185:223-233, 1976.

Alkane JF: The passage of colloidal particles across the dermal capillary wall under the influence of histamine. Q Jl Exp Physiol 44:51, 1959.

Bader H: The anatomy and physiology of the vascular wall. In: Hamilton WF, Dow P, eds, Handbook of Physiology. Section 2, Circulation, Am Physiol Soc, Washington, 1965.

Buck RC: The fine structure of endothelium of large arteries. J Biophys Biochem Cytol 4:187, 1958.

Buck RC: The fine structure of the aortic endothelial lesions in experimental cholesterol atherosclerosis of rabbits. Am J Path 34:897, 1959.

Fawcett DW: Observations on the cytology and electron microscopy of hepatic cells. J Natn Cancer Inst 15:1475, 1955.

Gartner LP: Color Textbook of Histology, 1st ed, Circulatory system, pp.213-229, Sounders WB, 1997.

Hall BV: Studies of normal glomerular structure by electron microscopy. Proceedings of Fifth Annual Conference on the Nephrotic Syndrome, New York National Nephrosis Fund, pp.1-3, 1953.

Hammerson F: Poren- und Fenesterendothelien der Kapillaren in der Skelettmuskulatur der Ratte. Z Zellforsch Mikrosk Anat 69:296, 1966.

Hampton JC: An electron microscopic study of the hepatic uptake and excretion of submicroscopic particles injected into the blood stream and into the bile duct. Acta Anat 32:262, 1958.

Johannessen JV: Electron Microscopy in Human Medicine. 1st ed, Cardiovascular system, lymphoreticular and hematopoietic system, pp.88-127, McGraw Hill, 1980.

Keech MK: Electron microscope study of the normal rat aorta. J Biophys Biochem Cytol 7:533, 1960.

Kim BY, Choi SA: A study on the development of the thoracic aorta in human fetus. Koren J Phys Anthropol 7:93-108, 1994.(Korean)

Majno G: Ultrastructure of the vascular membrane. In: Hamilton WF, Dow P, eds, Handbook of Physiology. Section 2, Vol. III. Circulation, p.2293, Am Physiol Soc, Washington, 1965.

Palade GE: Fine structure of blood capillaries. J Appl Phys 24:1424, 1953.

Parker F: An electron microscope study of coronary arteries. Am J Anat 103:247, 1958.

Pease DC, Paule WJ: Electron microscopy of

elastic arteries: the thoracic aorta of the rat. J Ultrastruct Res 3:469, 1960.

Pease DC: An electron microscopic study of red bone marrow. Blood 11:501, 1956.

Pease DC: Electron microscopy of the vascular bed of the kidney cortex. Anat Rec 121:701, 1955.

Rhodin JAG: The diaphragm of capillary endothelial fenestrations. J Ultrastruct Res 6:171, 1962a.

Rhodin JAG: Fine structure of vascular walls in mammals with special reference to smooth muscle components. Physiol Rev 42:48, 1962b.

Ross MH: Histology, A Text and Atlas. 3rd ed, Cardiovascular system, pp.302-329, Williams & Wilkins, 1995.

Simon G: Ultrastruktur des Kapillaren. Kap II. Angiologica 2:370-434, 1965.

Weiss L: An electron microscopic study of the vascular sinuses of the bone marrow of the rabbit. Bull Johns Hopkins Hosp 108:171, 1961.

Yamada E: The fine structure of the renal glomerulus of the mouse. J Biophys Biochem Cytol 1:551, 1955.

<국문초록>

미세혈관 수술의 발달로 수지동맥의 재접합술이 성행함에 따라 혈관벽의 구조에 관한 연구들이 활발하지만 수지의 미세동맥과 모세혈관에 관한 연구는 드물다. 이에 저자는 흰쥐 수지의 충양근 안에 있는 미세동맥과 모세혈관의 구조를 전자현미경으로 관찰하여 보고하고자 한다.

1. 흰쥐 충양근 내의 미세동맥(small arterioles)은 그 직경이 12~20μm로 중막이 한 층의 평활근세포로 구성된 종말소동맥(terminal arteriole) 형태였는데 인체의 종말소동맥(30~35 μm)에 비해 직경이 작았으며, 모세혈관은 직경이 5~8 μm로 비슷하였다.

2. 모든 미세동맥 및 모세혈관의 내막을 구성하는 내피세포는 연속형(continuous type)이었고, 따라서 전체 세포질내에 포음소포(*pinocytic vesicles*)가 많이 관찰되었다.

3. 모세혈관 주위에서 자주 혈관주위세포(pericytes)가 관찰되었는데 혈관주위세포의 긴 돌기가 내피세포의 일부를 싸는 경우도 많았으며 이들은 기저판에 의해 둘러싸여 있었다.

4. 내피세포들 사이에는 여러 가지 형태의 접촉이 있었으나 특히 폐쇄띠(tight junction)를 가장 많이 관찰할 수 있었다. 미세동맥의 내피하층은 기저판 아래에서 매우 불규칙한 양상으로 나타났는데 곳곳에 내피세포와 중막을 구성하는 평활근세포의 막이 꽉 붙어 관찰되었다.

5. 미세동맥의 중막을 구성하는 한 층의 평활근세포의 세포질은 많은 filaments가 있어 균질성으로 보이는 균질성 영역(homogeneous area)과 mitochondria, 조면내형질망, 골지복합체, polyribosome 등이 관찰되는 핵 주위의 비균질성 영역(non-homogeneous area)으로 구분되었다.

6. 미세동맥의 외막은 섬유모세포의 아주 가느다란 돌기들로 형성되어 있었으며 군데군데 교원섬유들이 관찰되었다.

FIGURE LEGENDS

The following electron micrographs are taken from the small arterioles (Figs. 1-8) and capillaries (Figs. 9-16) in the rat lumbrical muscles of digits. All bars=1 μm.

Fig. 1. Cross section through an arteriole containing two erythrocytes (RBC) in the lumen. The endothelial cells (E) in tunica intima, a single layer of smooth muscle cells in tunica media are observed. The tunica adventitia (ta) contains fibroblasts with extremely attenuated cytoplasmic process (Fcp) and collagen fibrils (CF).

Fig. 2. High power view of a portion of Fig. 1 showing endothelial cells (E), irregularly paced subendothelial layer (Sub) and filamentous area (Fi) of a smooth muscle cell (SM). The endothelial cell contains a nucleus (N) and perinuclear cytoplasmic organelles, and adjacent endothelial cells are held in close apposition by tight junctions (arrows).

Fig. 3. High power view of a portion of Fig. 1 showing endothelial cells (E), subendothelial layer (Sub), part of a smooth muscle cell (SM), and tunica adventitia (ta). Many pinocytic vesicles are noted in the endothelial cells and homogeneous filamentous materials with some dense inclusions are noted in a smooth muscle cell. Cytoplasmic process of fibroblast (Fcp) and collagen fibrils (CF) are also noted in tunica adventitia (ta).

Fig. 4. Cross section through an arteriole consisted of 3 tunics; endothelial cells (E) in tunica intima, smooth muscle cells (SM) in tunica media, and fibrocytic processes (Fcp) in tunica adventitia. Many mitochondria (M) are observed in perinuclear non-homogeneous area of the smooth muscle cells. Arrows indicate gap junctions between smooth muscle cells.

Fig. 5. Cross section through an arteriole consisted of 3 tunics; endothelial cells (E) in tunica intima, smooth muscle cells (SM) in tunica media, and fibrocytic processes (Fcp) in tunica adventitia. Note a long irregular nucleus (N) in the smooth muscle cell.

Fig. 6. High power view of tunica intima of Fig. 5 showing intercellular junctions (arrows) between endothelial cells, and numerous pinocytic vesicles in the endothelial cells.

Fig. 7. A longitudinal section through an arteriole showing endothelial cells (E), smooth muscle cells (SM) and long cytoplasmic processes of fibroblasts (Fcp). Note well developed mitochondria (m), small Golgi complex (G) in endothelial cells, and intercellular junctions (arrows) between endothelial cells.

Fig. 8. Longitudinal section of two small arterioles showing endothelial cells (E), smooth muscle cells (SM) and fibrocytic processes (F). Note gap junction (arrow) between smooth muscle cells.

Fig. 9. Cross section of capillary endothelial cells (E) containing an erythrocyte (RBC), and surrounded by pericytes (P), fibroblasts (F) and lumbrical muscles (L).

Fig. 10. High power view of a portion of Fig. 9 showing intercellular junctions between endothelial cells and many pinocytic vesicles (pi) in the endothelial cells. Part of pericytic process are surrounding the endothelial cells and they are with in same basal lamina (bl). F; fibroblasts.

Fig. 11. Capillary endothelial cells containing numerous pinocytic vesicles (pi) and some rough endoplasmic reticulum (rer). Note intercellular junctions (arrows) between the endothelial cells.

Fig. 12. A portion of capillary endothelial cells are surrounded by pericytic processes (Pp). L; Lumbrical muscles.

Fig. 13. Cross section through the capillary endothelium containing a erythrocyte (RBC), and near by pericyte (P) with it's processes (Pp) and mitochondria (m). L; lumbrical muscles.

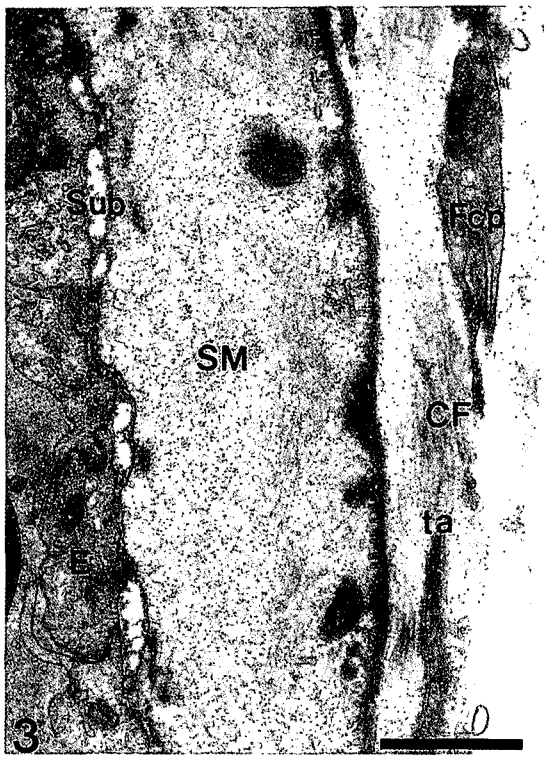
Fig. 14. Cross section through the capillary with an erythrocyte in the lumen and near by pericytic cytoplasm which contains mitochondria (m) and rough endoplasmic reticulum (rer). Endothelial cells and a pericyte are rest on same basal lamina (bl). Arrows; intercellular junctions, F; fibroblasts.

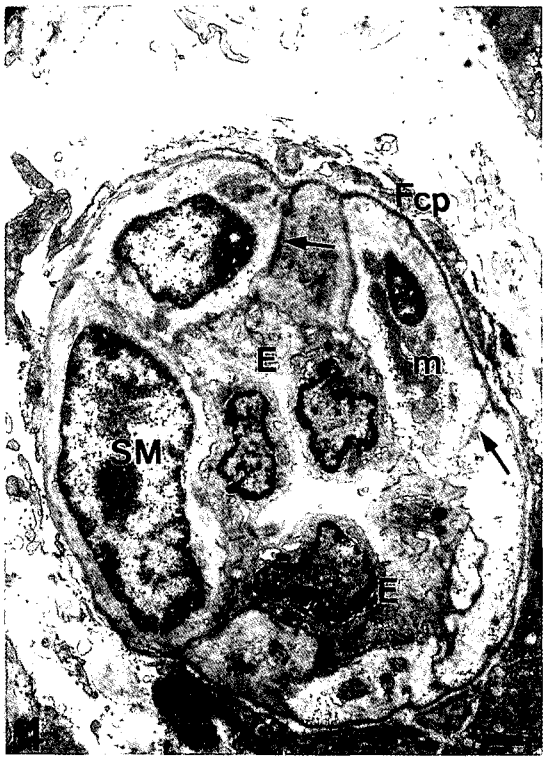
Fig. 15. The capillary endothelial cells with numerous pinocytic vesicles (pi), mitochondria (m), rough endoplasmic reticulum (rer) within cytoplasm, and intercellular junctions (arrows) between them.

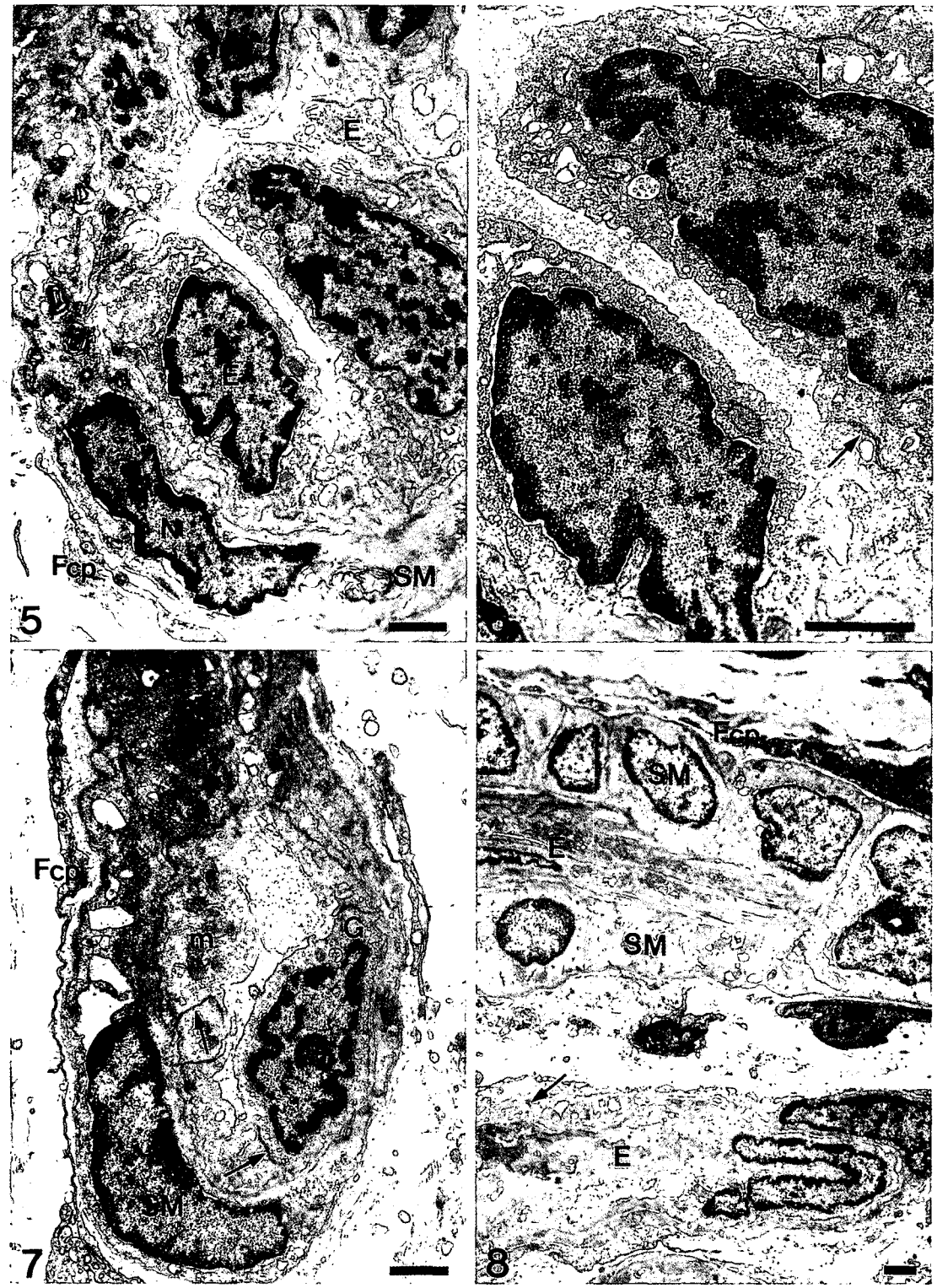
Fig. 16. The capillary endothelium with numerous pinocytic vesicles (pi), mitochondria (m). Note intercellular junctions (arrows).

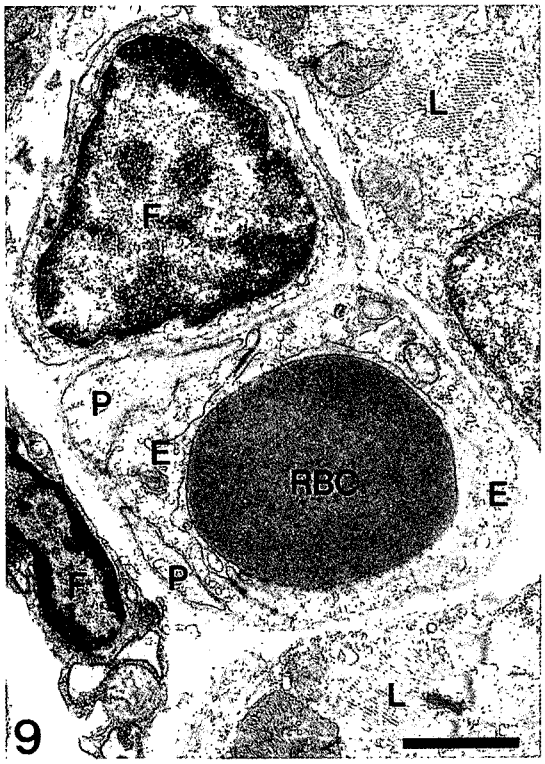
CF
E
ta
E
Fcp
1

E
N
Fl
SM
Sub
E
2

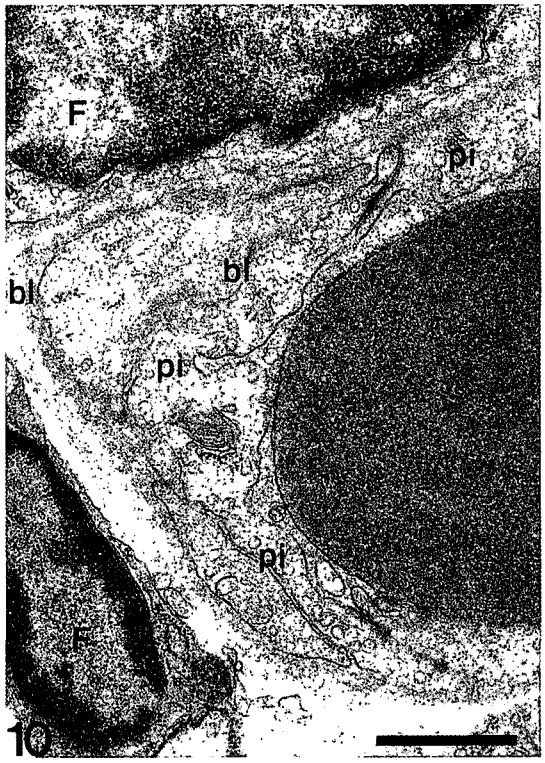

Sub
Fcp
SM
CF
ta
E
3


Fcp
E
m
SM
E

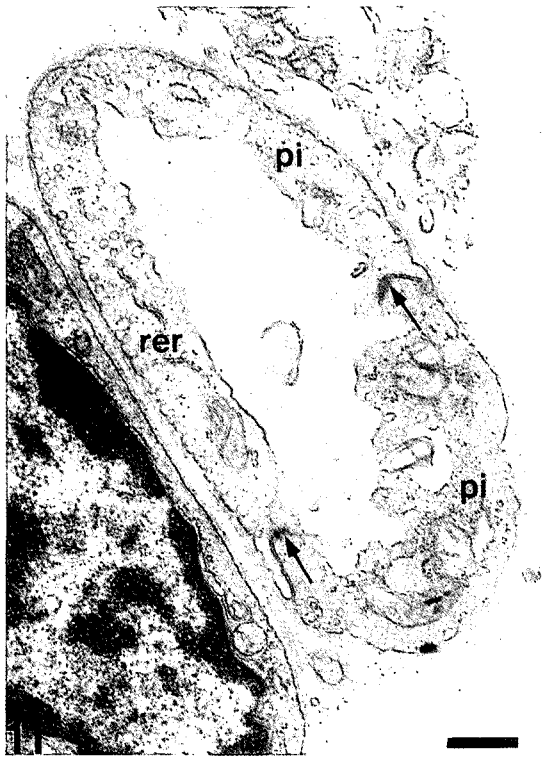

E
Fcp
SM
5
Fcp
m
C
SM
7
Fcp
SM
E
SM
E
8



9



10

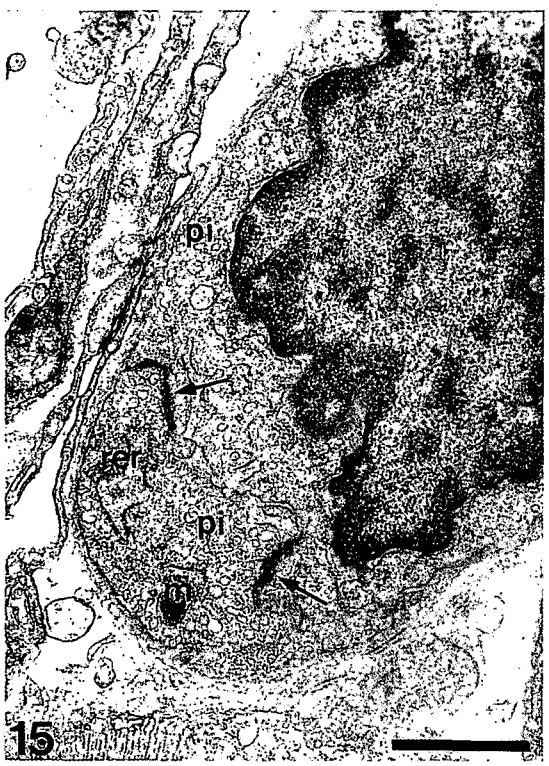


11

12

13

14



15

16