

방사선이 뇌실막세포의 미세구조에 미치는 영향

안의태* 조휘동, 김진국, 박경호, 고정식
순천향대학교 의과대학 해부학교실

Ultrastructural Study on the Ependymal Cells of the Head-Irradiated Rats

E-Tay Ahn,* Hwee-Dong Cho, Jin-Gook Kim,
Kyung-Ho Park and Jeong-Sik Ko
Department of Anatomy, College of Medicine,
Soonchunhyang University, Chunan, Korea
(Received December 11, 1998)

ABSTRACT

Ultrastructure of the ependymal cells of X-irradiated rats on their head were studied. Rats weighing 200~250 gm were X-irradiated on their head and neck areas. Total exposures were 3,000 rads or 6,000 rads depending on experimental groups. And irradiated rats were sacrificed on 6 hours, 2 days and 6 days following the radiation exposures. Animals were perfused through the heart with 1% glutaraldehyde-1% paraformaldehyde solution, under ether-anesthesia. The tissues from the wall of lateral ventricles were fixed in the 2% osmium tetroxide solution.

The results observed with electron microscope were as follow :

1. In 6 hours group, many ependymal cells were swelled, luminal portions of cytoplasm of some cells protruded into the ventricular lumen, and many cilia were lost or irregularly altered.
2. In 2 days group, ependymal cells were swelled more severely and subependymal edema were pronounced.
3. Protruded cytoplasm contained usually basal bodies of cilia, groups of mitochondria, endoplasmic reticula, etc.
4. Following X-irradiations, some protruded masses contained neural elements including the axon terminals with dense core vesicles. Axons and axon terminals were also found in the enlarged intercellular spaces among ependymal cells.

From the above results, the heavy irradiation on the head area of the rat induced

* Correspondence should be addressed to Dr. E-Tay Ahn, Department of Anatomy, College of Medicine
Soonchunhyang University, Chunan, 330-090 Korea. Ph : (0417) 570-2471, 2476, FAX : (0417) 574-1770.
Copyright © 1999 Korean Society of Electron Microscopy

alteration of the ependymal cells lining the lateral ventricle. Hence the ependymal functions of selective barrier, protective barrier, and metabolic barrier could be altered following X-irradiation on the head.

Key words : Ultrastructure, Ependymal cell, Irradiation, Rat

서 론

방사선은 의학적으로 진단, 치료, 연구용으로 널리 사용될 뿐 아니라, 산업목적이나 군사목적으로도 큰 용량의 방사선 발생장치들이 사용되고 있다. 그러나 비교적 적은 양의 방사선도 분열중인 세포의 핵에 영향을 미쳐 세포분열을 방해하기 때문에 분열 세포괴사(mitotic death) 또는 증식세포괴사(reproductive death)에 빠지게 한다(Szekely et al., 1982). 방사선의 피폭양이 커지면 세포핵 이외에도 다른 세포소기관 들에 영향을 미쳐서 비분열세포괴사(non-mitotic death) 또는 직접세포괴사(immediate death) 를 일으키기도 한다(Yau, 1981).

또 방사선은 세포속의 물분자에서 유리이온을 발생시켜 유리이온의 작용으로 세포가 죽기도 한다. 따라서 생체가 방사선 상해를 받는 정도는 해당 장기속에서 분열중인 세포수, 세포속의 세포소기관별 분포양상 및 유리이온을 발생시킬 수분의 양과 존재 형태 등에 따라 다를 것이다. 실제로 방사선피폭증후군(radiation syndrome) 은 기관계통별로 민감도가 달라서 가장 민감한 골수증후군, 비교적 민감한 위장관증후군, 방사선에 저항력이 강한 중추신경계증후군 등으로 구분된다(Prasad, 1982).

방사선 저항력이 강한 중추신경계통에서는 구성성분에 따라 차이가 있어서 더 이상 세포분열하지 않는 신경세포들은 세포손상의 확률이 적지만, 뇌모세혈관의 세포들은 방사선에 보다 쉽게 손상된다(Ahn et al., 1993). 뿐만 아니라 신경세포를 둘러싸고 있는 아교세포들도 신경세포보다 방사선에 민감하여 아교세포의 상해에 따라 이차적으로 신경세포에 손상을 미쳐 중추신경증후군을 일으키는 경우가 많다(Prasad, 1982).

뇌에 상해가 일어나면 이차적으로 아교세포가 활

성화되므로 그 세포질영역을 크게 확장하여 신경조직의 짜임새를 크게 바꾸는 것도(Yang et al., 1984), 결과적으로 신경세포에 크게 영향을 미치는 요인으로 생각된다. 뇌에는 몇 가지 혈액의 관문이 있는데, 이들 가운데서 혈액-뇌관문인 뇌모세혈관방사선에 민감하게 반응할 뿐 아니라, 혈액-신경뇌하수체관문도 변형되며(Lee et al., 1995), 혈액-뇌척수액관문인 뇌실의 맥락얼기들도 상당한 영향을 받는다(Ahn et al., 1996).

방사선량이 매우 높은 경우에는 신경세포들도 직접 영향을 받아서 흑색질세포(Bae et al., 1992), 줄무늬체세포(Lee et al., 1991), 소뇌가죽핵세포(Chung et al., 1992), 소뇌결절세포(Ahn et al., 1994; Ahn et al., 1992), 신경뇌하수체세포와 관문구조(Ahn et al., 1994) 들도 다양한 변형을 보인다.

이와 같이 맥락얼기를 통한 뇌척수액의 변화나, 각종 뇌세포와 뇌모세혈관의 변화에 따른 뇌실질의 변화들은 뇌-척수액관문을 이루는 뇌실막세포에도 어떤 영향을 미칠 것이다. 뇌실막세포는 뇌척수액과 뇌실질사이의 경계를 이루는 구조일 뿐 아니라, 분비기능과 흡수기능이 있으며 각종 호르몬이나 신경전달물질의 수용체를 지니고 있고, 몇 가지 신경종말과도 특수한 관계를 유지하고 있어서 뇌의 각부분사이의 신경조절작용 뿐 아니라 내분비계통과 신경계통의 되먹이기 조절자 역할까지도 수행할 것으로 추측되는 등 매우 다양한 기능이 논의되고 있다.

이에 저자는 많은 양의 방사선에 머리부분이 피폭되었을 때 뇌실막세포의 미세구조에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다.

재료 및 방법

체중 200~250 g 정도의 Sprague Dawley계 흰쥐

를 실험동물로 사용했고, 방사선발생장치는 Mitsubishi linear accelerator (ML-4MV) 를 이용했다.

흰쥐를 sodium thiopental로 마취시킨 후 머리와 목부분만 조사구역 (30 cm × 30 cm) 안에 들도록 높이고, 조사거리 80 cm, 조사깊이 1.2 cm, 조사속도 200 rad/min의 조건으로 X-선을 조사시켰다. 조사량은 실험군에 따라 3,000 rad 조사군과 6,000 rad 조사군으로 구분하였다.

방사선조사군은 5마리의 흰쥐로 구성하였으며 피폭 후 각각 6시간, 2일, 6일 후에 희생시켰다. 뇌조직의 고정을 위해서 각 실험동물을 마취시킨 상태에서 심장을 통해 관류고정 하였고, 관류고정액은 1% glutaraldehyde-1% paraformaldehyde (0.1 M Millonig's phosphate buffer, pH 7.3)액을 사용하였다.

관류고정시와 고정 후 2시간까지는 동물을 그대로 보존하여 고정 진행 중에 구조변형이 일어나지 않도록 배려하였다. 관류고정 후 2시간이 지난 다음 뇌를 꺼내어 다시 고정액에 담근채로 하룻밤 지낸 후, 가쪽뇌질의 뇌실벽 일부를 떼어 내었다. 떼어낸 조직은 2% osmium tetroxide액에서 2시간 동안 이차고정 시켰고 완충액으로 잘 수세한 후 알코올과 아세톤으로 탈수하여 araldite 혼합액에 포매한 후 1 μm 두께의 절편을 만들어 toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였다.

각 미세절편의 적정부위를 택해 전자현미경용 미세절편을 만들어 uranyl acetate액과 lead citrate액으로 염색하여 JEM 100CX-II 전자현미경으로 관찰하였다.

결 과

1. 광학현미경 관찰

정상군의 뇌실막은 높이가 일정한 입방형 뇌실막 세포들로 이루어졌고, 세포질은 중등도의 전자밀도를 보였으며, 유리면 쪽으로는 섬모들이 일정한 간격으로 배치된 전형적인 섬모상피였다. 뇌실막밑층 (subependymal layer)은 밝고 좁은 층으로 나타나며 뇌실막밑층과 뇌실막층 사이에는 바닥막이 관찰되지 않았다. 뇌실막밑층의 속으로는 짜임새가 일정

하고 작은 혈관들 이외에는 밝은 공간이 거의 없는 전형적인 신경그물 (neuropil)을 이루고 있었다 (Fig. 1).

3,000 rad를 조사한 후 6시간군에서는 뇌실막세포들은 중창현상을 보였고 뇌실막밑층은 심한 부종으로 넓고 밝게 보였으며, 신경그물도 부종상태를 보여 상당히 밝게 보였다. 뇌실막의 세포핵 가운데 일부는 농축상태를 보였으며 부분적으로는 엉겨있었다 (Fig. 2a). 6,000 rad 조사후 6시간군에서는 뇌실막에 굴곡이 생기고 농축된 세포핵의 수가 더 많았으며, 섬모들의 흐트러짐도 심했으나 대체로 3,000 rad군과 비슷한 경향을 보였다 (Fig. 2b).

2일군에서는 뇌실막밑층이 부종으로 뚜렷하게 확장되었고, 뇌실막층은 굴곡된 부분이 많아서 뇌실막이 두터워지고 뇌실막세포의 수가 줄어든 듯 하였다. 섬모의 흐트러짐이 심하고 섬모수도 적으며 뇌실막세포의 분비물 또는 세포질 일부가 뇌실안으로 탈락하는 것처럼 보였다 (Fig. 3a, 3b).

피폭후 6일 경과군에서는 뇌실막밑층이나 신경그물의 부종은 심하지 않았으나, 뇌실막세포의 중창현상이 뚜렷하였고 섬모의 흐트러짐도 여전하였다 (Fig. 4a, 4b).

2. 전자현미경 관찰

정상대조군의 뇌실막세포는 비교적 밝은 세포로서 여러 세포들이 복합세포사이연접 (compound intercellular junction) 으로 서로 단단히 붙어 있고, 유리면 쪽으로는 섬모들이 일정하게 돌출되며 이들의 사이사이로는 군데 군데 미세용모들이 솟아 있었다. 핵상부에는 비교적 발달한 골지복합체가 자리잡고 있는데, 특히 소포 들이 많고 주변에는 상당수의 용해소체들이 발견되었다. 핵상부 세포질에는 특히 사립체가 많았고, 유리면쪽 세포질에는 섬모의 바닥소체들이 고르게 분포하였다. 섬모는 9+2 미세관으로 된 전형적구조를 보였다. 세포핵의 옆과 밑은 많은 미세섬유 들로 차 있다 (Figs. 5, 7). 뇌실막세포의 중간부분과 아래부분에서는 세포사이공간이 관찰되며, 뇌실막세포 들은 바닥막이 없이 곧 바로 신경그물 (neuropil)의 축삭이나 가지돌기에 접해 있다 (Fig. 6).

방사선조사구에서는 전반적으로 방사선 피폭 후 시간경과와 관찰부위에 따라 상당한 차이를 보이나, 피폭량에 따라서는 오히려 차이점을 구분하기 어려웠다. 방사선조사후 6시간군에서는 부분적으로 세포질의 일부가 뇌실공간속으로 돌출하는 경우가 상당히 많았다(Figs. 8, 12). 이들 돌출세포의 세포질은 맑고, 남아있는 세포소기관 들은 별다른 형태학적 변형을 보이지 않았다. 그러나 뇌실공간으로 돌출한 세포질 부분에는 변형된 사립체 들이 묻혀있었고 섬모의 바닥소체로 생각되는 변형물도 함께 섞여 있어서 세포질 일부와 섬모 들이 소실되었음을 볼 수 있었다. 이와 같이 큰 변화를 보인 뇌실막세포도 인접 세포와의 사이는 견고한 연결을 유지하고 있었다. 인접한 세포들은 세포질이 어둡고 세포핵이 길게 늘어난 모습으로 보아 초기 변성세포처럼 보이는 것이 있는가 하면, 거의 정상적인 형태를 유지한 세포들도 섞여 있었다(Fig. 8).

뇌실막밀층에는 뇌실막세포의 바닥부분이 울퉁불퉁하게 변한 곳이 많았고, 신경근들의 구조들은 불규칙한 증창현상을 보였으며 불규칙하게 팽창한 세포사이공간이 많았다. 이들 세포사이공간은 뇌실막세포 사이로 연장되었으며, 연장된 공간으로는 신경축삭 들이 상당수 들어와 있었다.

방사선조사후 2일군에서는 뇌실막세포의 유리면쪽이 고르지 않고 세포에 따라 들쭉날쭉한 곳이 많았으며 특히 세포사이공간이 매우 넓어서 세포사이연접이 있는 부분에서만 서로 겨우 붙어 있는 듯한 부분이 많았다. 상당수의 세포는 핵상부세포질에 섬모의 흔적이 없으며 상당히 많은 용해소체들이 산재하였다. 진한 세포질변성을 보인 세포 들이 많았고, 뇌실막밀층의 부종은 더욱 심했다(Figs. 9, 11, 13).

방사선조사후 6일군에서도 아직 세포질탈출현상이 보이는데, 탈출부분에는 주로 세포질세망들이 아직도 세포중심부까지 이어진채 있었다(Fig. 14). 뇌실속으로 돌출된 구조들에는 신경세포 성분도 상당히 포함되는데, 신경축삭 들과 축삭종말이 많았고 특히 치밀소포를 포함한 축삭종말이 많았다(Fig. 10). 뇌실막세포 사이의 세포사이공간이 줄어든 부분에서도 세포사이에 축삭이나 축삭종말이 끼어 있는 경우가 많았다(Fig. 14). 뇌실막밀층의 부종은 2일군의 모

습과 같았으며 상당히 많은 축삭과 축삭종말이 부종으로 넓어진 공간에 흐트져 관찰되었다.

고 찰

뇌실의 벽은 대부분 뇌실막세포로 덮여 있으나, 맥락얼기를 둘러싸는 부분과 뇌실주위기관을 덮는 부분은 다르게 분화되어 각각 특수한 기능을 지닌다. 뇌실은 뇌척수액으로 차있으며 사람의 경우, 매일 약 400 ml의 뇌척수액이 생산되지만 뇌실의 용량은 약 23 ml밖에 되지 않으므로 상당히 빠른 속도로 뇌실밖으로 흘러나가 높은 회전율(turnover rate)을 나타낸다. 뇌척수액은 가쪽뇌실-셋째뇌실-넷째뇌실-거미막밑공간-대뇌정맥동굴의 경로를 거쳐 혈액으로 배출된다. 이와 같은 경로로 뇌척수액이 이동하는 것은 대부분 뇌척수액이 생성·분비되는 곳과 흡수되는 정맥동굴사이의 압력차이에 따라 이루어지는 것이지만, 뇌실벽 부근에서는 뇌실막세포의 섬모운동이 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져있다(Parent, 1996; Scott et al., 1974). 사람의 경우 뇌척수액의 약 70%는 맥락얼기에서 분비되며, 나머지는 뇌실질의 사이액으로부터 생긴다(Parent, 1996). 뇌실막세포사이에 연접복합체가 발달하여 있으므로 이 액체는 뇌실막세포의 세포질 속을 통과하여 뇌실공간에 이른다.

보고에 따르면 심한 방사선조사후에 뇌실막주위기관인 송과체에서는 송과체세포와 아교세포가 모두 손상을 받는데 아교세포의 손상이 더욱 심하였으며(Cho et al., 1991), 뇌실질 안에서는 뇌모세혈관의 상해에 따라 투과력이 크게 증가하거나 부분적 출혈이 일어나 뇌부종을 초래한다(Ahn et al., 1993). 따라서 방사선 상해시에는 뇌실질 속의 압력이 증가되므로 뇌실질과 뇌실공간사이에는 압력차이가 커질 것으로 보인다. 또한 방사선 피폭후에는 뇌실의 맥락얼기에서 뇌척수액의 생성이 감소하므로(Ahn et al., 1996), 압력차이는 더욱 커져서 뇌실막세포의 돌출, 굴곡 및 부분소실의 원인이 되는 것 같다. 또한 뇌실질의 각 부분에 있는 신경세포도 방사선 피폭의 영향을 직접 받는데, 보고된 바로는 줄무늬체(Lee et al., 1991), 흑색질세포(Bae et al., 1992),

소뇌기쪽핵세포 (Chung et al., 1992), 소뇌결절세포 (Ahn et al., 1994; Ahn et al., 1992)도 세포상해와 여러 정도의 부종현상을 보였다. 이와 같이 뇌모세혈관의 투과력증대와 뇌세포성분의 상해에 따른 부종요인의 증가로, 뇌실질에서 뇌실공간쪽으로의 압력차이가 더 커질것으로 생각된다. 따라서 뇌실막세포사이 공간의 확장과 뇌실막세포의 세포질손상, 그리고 세포질의 일부 탈락이 생기는 것으로 생각된다.

뇌실막에는 기저판이 없고 뇌실쪽에서 뇌실질쪽으로 물질이동이 일어나는 것도 허용하므로 어떤 의미에서는 뇌실막을 기능적 관문이라 생각하기 어려운 점도 있다 (Rapoport, 1976). 즉 뇌실속의 압력과 뇌실질속의 압력변화에 따라서 두 방향으로 물질이동이 일어날 수 있으며, 실제로 혈액-뇌관문을 통과하지 못하는 물질도 뇌실속에 주입하면 뇌실질에 들어가는 것을 볼 수 있다. 이 실험의 경우 뇌실공간속으로 뇌실막세포의 세포질 뿐 아니라 신경세포의 축삭과 축삭종말도 돌출하는 것이 보였는데 이는 방사선 피폭후에는 뇌실에서 뇌실질쪽으로 보다는 뇌실질에서 뇌실쪽으로 압력이 작용하고 있기 때문이라고 생각된다.

뇌실막세포의 섬모가 정상적으로 작동할 때는 모두 같은 방향으로 동시에 작동하며 (Sligh, 1969), 정상적으로 작동하던 섬모들은 조직을 고정할 때 모두 같은 방향으로 고정되는데, 이들 섬모의 운동은 뇌실벽 부근에 있는 뇌척수액의 흐름에 영향을 미친다 (Scott et al., 1974). 그러나 본 실험에서는 섬모의 수가 줄어들고 방향이 각각 달라 서로 엉기는 모습도 보였는데, 이는 방사선 피폭을 받은 뇌실에서는 뇌실막세포의 섬모이상으로 뇌실벽 부근의 뇌척수액의 흐름이 달라질 수 있음을 뜻한다. 또 뇌실막의 표면에는 별모양세포 (stellate cell)가 드문 드문 얽혀있고, 주로 세로토닌 종말로 보이는 옆주모양의 축삭종말 들도 얽혀 있다고 하는데 (Scott et al., 1974; Vigh et al., 1973), 뇌실막의 표면이 여러곳에서 돌출하거나 섬모의 탈락과 뒤엉김등이 생겼으므로 그 위에 있는 별모양세포나 신경종말도 정상적인 형태와 기능에 변화가 있어날 것으로 생각된다. 뇌실막세포는 여러 가지 호르몬이나 신경전달물질에 대한 수용체를 지님으로서 내분비기능과 신경기능사

이의 조정자 기능도 갖고 있다는 점을 고려하면 (Graff et al., 1993; Kahn and Thomas, 1993; Lobie et al., 1993; Lopez-Avalos et al., 1993; Parent, 1996; Scott et al., 1974), 뇌실막의 형태학적 변화에 따라 내분비기능-신경기능사이의 조절기능의 일부분에 혼란이 초래될 수 있을 것이다.

그외에도 뇌실막세포는 뇌줄기의 솔기핵 (raphe nuclei)으로부터 세로토닌 종말을 받는 것으로 알려져 있고 이들이 뇌실막의 물질이동 조절자가 아닌가 추측되고 있는데 (Brodal, 1992), 실험결과 방사선 조사군에서 뇌실막세포사이에 축삭과 축삭종말 들이 끼어 있을 뿐 아니라 뇌실속으로 돌출하는 성분 가운데 catecholamine 종말로 보이는 축삭종말 (치밀소포종말) 이 섞여 있는 것으로 보아 이들이 솔기핵종말과 관련이 있을 수도 있다고 생각된다. 뇌실막세포는 원래 아교세포의 일종이기 때문에, 여러 가지 병적 상황에 대해 별아교세포 (astrocyte)와 같은 반응을 보여서 흔히 부종에 빠지고 당원과립과 원섬유의 축적이 늘어난다 (Hirano, 1991).

뇌실막세포들이 퇴축하면 뇌실질도 퇴축하는 경우가 많은데 뇌실막세포의 퇴축원인은 흔히 뇌실확장에 따라 세포가 심하게 늘어나거나 뇌실계통이 막힌 경우 또는 감염이나 염증이 일어난 경우에 볼 수 있으며, 이런 경우 뇌실막세포의 분열은 일어나지 않으나 드물게 거짓중층형으로 세포의 이상배열을 보이거나 부분적으로 뇌실막세포의 결손을 보이기도 한다 (Sarnat, 1995). 본 실험에서도 뇌실막층의 굴곡, 종창 및 탈락현상을 보였는데 이는 뇌실막세포의 퇴축에 따른 전형적인 병리적소견을 보인 것이라고 생각된다.

뇌손상이나 질환에서 큰 문제가 되는 뇌부종은 뇌실막세포에도 영향을 미치는데 뇌부종의 병리생리적 원인은 혈액성, 세포독성, 삼투압, 수압 등 크게 네 가지로 나누어 볼 수 있으며, 임상적으로 부종이 가장 심각하게 나타나는 경우는 뇌종양, 뇌빈혈, 뇌상해 등이다 (Go, 1997). 본 실험에서 나타난 뇌부종은 혈관투과성과 뇌상해에 따른 부종현상 이외에 뇌실막세포의 형태학적 변형으로 뇌실질과 뇌실사이의 물질이동기능이 변화되어 생긴 뇌실막층의 부종도 한가지 원인이 된 것으로 보인다.

뇌실막의 기능에 대해 일반적으로 선택적 관문기능과 보호역할을 강조하는데, 그 밖에도 발생시에는 분비기능과 더불어 아마도 신경세포와 신경축삭의 발생유도장치가 될 것으로 보인다. 성숙한 포유동물의 뇌실막세포는 뇌척수액속의 여러 가지 물질을 붙잡아 해독시키는데 필요한 효소를 지니며 그에 맞는 구조적 특성을 지님으로서 뇌-척수액사이의 대사관문(metabolic barrier)이 된다(Del, 1994). 따라서 방사선조사후에 나타난 뇌실막의 손상은 뇌척수액과 뇌실질사이에 설치된 선택통과관문, 보호관문, 대사관문의 기능이상을 유발할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Ahn ET, Ko JS, Park KH, Yoo SJ: Radiation effect on the ultrastructure of rat cerebellar cortex. *Korean J Anat* 30:581-593, 1997. (Korean)
- Ahn ET, Oh CN, Yang NG, Ko JS, Park KH, Kim JG: Electron microscopic study on the brain capillary and pericapillary structure of the head-irradiated rats. *Korean J Anat* 26: 311-325, 1993. (Korean)
- Ahn ET, Yoon KT, Yang NG, Ko JS, Park KH, Kim JG: Ultrastructural study on the cerebellar Purkinje cell of the head-irradiated rat. *Korean J Electr Microsc* 24:48-62, 1994. (Korean)
- Bae HG, Yang NG, Ahn ET, Ko JS, Park KH, Kim JG: Ultrastructural study on the substantia nigra of the head-irradiated rats. *Korean J Elec Microsc* 22:30-45, 1992. (Korean)
- Brodal P: The central nervous system. Oxford Univ Press, New York, pp.287-289, 1992.
- Cho TS, Yang NG, Ahn ET, Ko JS: Electron microscopic study on the motor control system of the brain of the head-irradiated rat. II. Ultrastructural study on the pineal gland of the head-irradiated rats. *Korean J Anat* 24:36-53, 1991. (Korean)
- Chung JS, Yang NG, Ahn ET, Ko JS, Park KH, Kim JG: Ultrastructural study on the cerebellar lateral nucleus of the head-irradiated rats. *Korean J Anat* 25:313-326, 1992. (Korean)
- Del Bigio MR: The ependyma; a protective barrier between brain and cerebrospinal fluid. *Glia* 14:1-13, 1994.
- Go KG: The normal and pathological physiology of brain water. *Adv Tech Stand Neurosurg* 23: 47-142, 1997.
- Graff MN, Bass D, Puymirat J, Sarlieve LL, Delaunoy JP: The alpha and beta thyroid receptors are expressed by cultured ependymal cells. Correlation with the effect of L-3, 5, 3'-triiodo thyronine on glutamine synthetase mRNAs. *Neurosci Lett* 150:174-178, 1993.
- Hirano A: A guide to neuropathology. New York, Igaku-Shoin, p.175, 1991.
- Kahn IA, Thomas P: Immunocytochemical localization of serotonin and gonadotropin-releasing hormone in the brain and pituitary gland of the Atlantic croaker *Micropogonias undulatus*. *Gen Comp Endocrinol* 91:167-180, 1993.
- Ko JS, Choi SK, Ahn ET, Park KH, Kim JG: Ultrastructural Changes of the Ventricular Choroid Plexus of the Rat following Irradiation on the Head. *Korean J Anat* 31:847-859, 1998, (Korean)
- Lee BH, Yang NG, Ahn ET, Ko JS: Electron microscopic study on the motor control system of the brain of the head-irradiated rat. I. Electron microscopic study on the neuronal synapses in the striatum of the head-irradiated rats. *Korean J Anat* 24:19-35, 1991. (Korean)
- Lee HY, Ahn ET, Kim PN, Yang NG, Ko JS, Park KH: Ultrastructural changes of the blood-neurohypophysis barrier of irradiated rat. Establishment of new concept on the barrier. *J Soonchunhyang Med Coll* 1:553-567, 1995. (Korean)
- Lobie PE, Garcia Aragon J, Lincoln DT, Barnard R, Wilcox JN, Waters MJ: Localization and ontogeny of growth hormone receptor gene expression in the central nervous system. *Brain Res Dev Brain Res* 74:225-233, 1993.
- Lopez-Avalos MD, Mancera JM, Perez-Figares JM, Feranandez-Llebrez P: Immunocytochemical

- localization of corticotropin-releasing factor in the brain of the turtle *Mauremys caspica*. *Anat Embryol Berl* 188:163-171, 1993.
- Parent A: Carpenter's human neuroanatomy. 9th ed. Wiliam & Wilkins, Media pp.218-224, 1996.
- Prasad KN: Acute radiation syndromes. In: Pizzarello DJ, Colombetti LG, ed, *Radiation biology*, pp.205-235, CRC Press, Boca Raton, 1982.
- Rapoport SI: *Blood-brain barrier in physiology and medicine*. Raven Press, New York, pp. 129-152, 1976.
- Sarnat HB: Ependymal reactions to injury. A review. *J Neuropathol Exp Neurol* 54:1-15, 1995.
- Scott DE, Kozlowski GP, Sheridian MN: Scanning electron microscopy in the ultrastructural analysis of the mammalian cerebral ventricular system. *Int Rev Cytol* 17:349-388, 1974.
- Sligh MA: Coordination of the rhythm of beat in some ciliary systems. *Int Rev Cytol* 25:31-54, 1969.
- Szekely JG, Raaphorst GD, Lobreau AU, Copps TJ: Effect of X-irradiation and radiation modifiers on cellular ultrastructure. *Scan Electr Micro* 1:335-347, 1982.
- Vigh B, Vigh-Teichman I: Comparative ultrastructure of the cerebrospinal fluid-contacting neurons. *Int Rev Cytol* 35:189-251, 1973.
- Yang NG, Ahn ET, Ko JS, Park KH: Electron microscopic study on the glial cells in the degenerating neuropil of the brain. *J Soonchunhyang Coll* 7:3-21, 1984. (Korean)
- Yau TM: Alteration in the structures and function of the mammalian cell. *Scan Electr Micro* IV:47-54. 1981.

<국문초록>

머리 부분에 많은 양의 방사선을 조사 받은 흰쥐 뇌 실막세포의 미세구조에 대하여 연구하였다.

체중 200~250 g의 흰쥐를 실험동물로 사용하였고, 방사선 발생장치로는 Mitsubishi linear accelerator (ML-4MV)를 이용하였다. 실험군의 흰쥐는 sodium thiopental로 마취시킨 후 머리부분이 조사구역 (30 cm × 30cm) 안에 들도록 눕힌 후, 조사거리 80 cm, 조사 깊이 1.2 cm의 조건에서 200 rad/min의 속도로 연속 조사하였다. 실험군에 따라 3,000 rad 또는 6,000 rad 를 조사시킨 후 각각 6시간, 2일, 6일 후에 동물들을 희생시켰다. 희생시에는 마취된 흰쥐의 가슴을 열고 심장을 통한 관류고정을 시행하였고, 관류고정액은 1% glutaraldehyde-1% paraformaldehyde액을 사용했다. 고정된 뇌에서 가쪽뇌실벽 일부를 떼어 관류고정액과 같은 고정액에 다시 고정한 후, 2% osmium tetroxide 액으로 이차고정 하였고, 이후 통상적인 방법으로 전자현미경 절편제작 및 염색과정을 거친 후 전자현미경으로 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 방사선조사후 6시간군부터 뇌실막세포는 종창현상을 보였고 섬모의 배열이 흐트러졌으며 부분적으로 세포질이 뇌실공간으로 돌출하였다.
2. 방사선조사후 2일군부터는 뇌실막세포의 종창현상이 심하며 뇌실막조직의 부종이 심했다.
3. 뇌실막세포의 돌출부분 세포질에는 섬모바닥체, 사립체, 세포질세망들이 들어 있었다.
4. 방사선조사군에서는 확장된 뇌실막세포사이공간을 통하여 뇌실막밑층의 축삭성분 등이 뇌실속 까지도 돌출하였다.

이와 같은 결과로 보아 방사선조사에 의해 뇌실막세포에는 심각한 형태학적 변화가 초래되며, 이로써 뇌실질과 뇌척수액사이의 대사관문이 교란될 것으로 생각된다.

FIGURE LEGENDS

- Figs. 1-4.** Semithin sections of the lateral ventricular walls of rats, stained with toluidine blue solution. 400 ×
- Fig. 1.** Control rat. Ependymal cells with cilia lining the ventricle are cuboidal in shape. Ependymal cells lie directly on the neuropil without any intervening basement membrane.
- Fig. 2.** Irradiated rats 6 hours after irradiations with the dose of 3,000 rads (a) or 6,000 rads (b). Structural irregularities of ependyma, including deformities of nuclei, swollen cytoplasm, distorted cilia, etc, are noted. Subependymal edema is pronounced.
- Fig. 3.** Irradiated rats 2 days after irradiations with the doses of 3,000 rads (a) or 6,000 rads (b). Note partial loss of ependymal cells, folding of epithelium, subependymal edema, some cellular debris into ventricle, etc.
- Fig. 4.** Irradiated rats 6 days after irradiations with the dose of 3,000 rads (a) or 6,000 rads (b). Note severely swollen ependymal cells and edematous subependymal layer.
- Figs. 5-14.** Each bar indicates 1 μm.
- Fig. 5.** Ependymal cells of normal control rat. The cells are moderately ciliated, and contacted laterally with neighbouring cells by well-developed junctional complexes (arrowheads). Abundant mitochondria (m) are distributed in the area between the groups of basal bodies of cilia and the nucleus. Microvilli (asterisk) are protruded into ventricle between cilia or from cilia-free luminal border. Numerous filaments (f) are distributed in the lateral cytoplasm.
- Fig. 6.** Ependymal cells and subependymal layer of normal control rat. Intercellular space (asterisk) are formed between ependymal cells. Basal portion of ependymal cell cover subependymal neural tissue without any intervening basal lamina (arrowhead). Many small axons (ax), dendrites (d), and axon terminals (vacant asterisks) synapsing with dendrites are found in the subependymal tissue.
- Fig. 7.** Supranuclear cytoplasm of ependymal cells of normal control rat. Many basal bodies (b) of cilia are found in the uppermost cytoplasm, and well-developed Golgi apparati (g) are located in the supranuclear area. Arrowhead : junctional complex, arrow : pinocytotic vesicle, asterisk : tunnel of cilia.
- Fig. 8.** Ependymal cells of the rat, 6 hours following X-irradiation of 6,000 rads. Uppermost cytoplasm of an ependymal cell is protruding into the ventricular lumen (arrow). The remaining cytoplasm (asterisk) is relatively clear, and it is contacted tightly to the neighbouring cells with intact junctional complexes (arrowheads). Note abundant filaments (f) in the ependymal cell.
- Fig. 9.** Ependymal cells of the rat, 2 days following X-irradiation of 6,000 rads. The upper portion of an ependymal cell is looked almost truncated from its main body. Expanding intercellular spaces extend towards upper portions of cells (asterisks), but tight junctional complexes (arrowheads) are still preserved well. Note numerous lysosomes in the upper cytoplasm.
- Fig. 10.** Intraventricular ependymal protrusions, 6 days following X-irradiation of 3,000 rads. Of various structures, lysosomes, Golgi apparatus (g), endoplasmic reticula (r), axon terminals (arrowheads) with dense core synaptic vesicles or clear synaptic vesicles are noted. Ax: axon
- Fig. 11.** Subependymal tissue of the rat, 2 days following X-irradiation of 3,000 rads. Subependymal edema is pronounced with large clear areas (asterisks) and swollen neuronal processes (n). Basal

plasma membrane (arrowhead) abutting directly on subependymal tissue is indicated.

- Fig. 12.** Supranuclear cytoplasm of an ependymal cell of the rat, 6 hours following X-irradiation of 3,000 rads. A portion of cytoplasm (arrow) is burst into ventricular space. Some glycogen particles and numerous flocculant substances are noted in the cytoplasm near free border. asterisk: tunnel of cilia
- Fig. 13.** Upper cytoplasm of an ependymal cell of the rat, 2 days following X-irradiation of 3,000 rads. Basal bodies of cilia are hardly found and the uppermost cytoplasm is almost devoid of its organelles in the right cell. Note the intact junctional complexes (arrowhead) and relatively well-extended intercellular spaces (asterisks).
- Fig. 14.** A ependymal cytoplasmic burst into the ventricular lumen of the rat, 6 days following X-irradiation of 3,000 rads. Protruded apical portion (arrow) of an ependymal cell is partially destroyed. The endoplasmic reticula (r) are still connected with those in the main body, even though they are extended freely into the lumen. Note that junctional complexes (arrowheads), basal body (b), and mitochondria (m) look intact. Some axon terminals (asterisk) and axons (ax) are extended into the upper portion of intercellular space.







