

## 메기 송과체의 신경세포에 관한 조직화학 및 전자현미경적 연구

오 창 석 · 김 영 우 · 김 백 윤

### Histochemical and Electron Microscopic Study on the Nerve Cells of the Pineal Body of Catfish, *Parasilurus asotus*

Oh, Chang Seok, Young Woo Kim and Baik Yoon Kim  
(Received March 15, 1995)

#### ABSTRACT

This study was carried out to clarify the neuronal organization in pineal body of catfish. The pineal body was observed by acetylcholinesterase histochemistry and electron microscopy. The neuronal types observed in the pineal body of catfish were bipolar and multipolar cells. Multipolar cells were found throughout the pineal end vesicle and whole stalk, but bipolar cells only in the end vesicle and distal stalk. The pineal tract was formed by the long axons of these neurons. The neuronal clusters(pineal ganglia) were also observed in the end vesicle.

In summary, the type of neurons in catfish pineal was different from that of other species, and the neuronal distribution differed depending on the region of pineal body. These results reflect the interspecific and regional differences of the pineal organization of fishes.

**Key words:** Acetylcholinesterase, Histochemistry, Neuron, Pineal body, Catfish

#### 서 론

하등척추동물의 송과체는 광수용능을 갖고 있으며, 이를 통해 운동성(Hafeez 1970), 광주성(phototaxis) 및 체색의 변화(Hoar, 1955; Hafeez와 Quay, 1970), 생식주기(Fenwick, 1970), 체온조절(Kavaliers, 1982)

등에 큰 영향을 미친다. 송과체의 광수용능에 대해서는, 송어를 대상으로 한 전기생리학적 실험(Dodt, 1963) 이래 많은 연구보고가 이를 입증하고 있으며, 근래는 광단백의 일종인 opsin, rhodopsin이 송과체의 광수용세포에 존재함이 면역조직화학적 방법으로 증명된 바 있다(Korf와 Vigh-Teichmann, 1984; Tamotsu 등, 1990).

하등동물이 송과체를 통해 감광능을 얻는 기전은, 망막을 통해 사물을 보는 것과 유사하다. 즉, 외부로부터 송과체에 이른 빛은 광수용세포에 의해 광정보(photic information)로, 다시 광정보는 신경세포를 거치면서 신경자극(neural impulse)으로 변환된 후 신경세포의 긴 축삭을 타고 뇌로 전달되는 것으로 밝혀져 있는 만큼(Wake 등, 1974), 송과체의 광수용능을 연구하는 데는 송과체내 신경세포에 대한 연구가 필수적이라 할 수 있다.

어류 송과체내 신경세포에 대한 연구는 Wake(1973) 금붕어 송과신경세포의 분포 및 종류에 대한 보고 이래 Korf(1974)와 McNulty(1976)를 위시한 많은 연구자들의 연구결과가 발표되고 있다. 이들에 의하면, 어류 송과체는 그 외형뿐 아니라 조직학적 구조도 종에 따라 크고 작은 차이를 보이는 것으로 알려져 있다.

메기는 민물어류 이면서도 송과창(pineal window)을 갖고 있으며, 독특한 형태의 종포(end vesicle)와 특징적으로 긴 병부(stalk)를 갖고 있어(유, 1994), 발달된 광수용능을 갖고 있음을 추측케 한다. 본 연구는 메기 송과체내에 존재하는 신경조직을 구명하고, 이미 밝혀진 다른 어류에서의 소견과 비교하고자 시도되었다.

## 재료 및 방법

### 1. Acetylcholinesterase(AChE) 조직화학 염색

본 실험에서 사용된 송과체는 길이 35cm 내외의 외관상 건강하고 성숙한 메기(*Parasilurus asotus*)에서 얻었다. 메기의 두개골을 제거한 다음 송과체를 절취하여 조직을 4% paraformaldehyde in 0.1M PB(phosphate buffer)에 24시간 고정한 후, methylbutane으로 냉동하여 세로방향으로 20 $\mu$ m 두께의 절편을 만들어 신경세포를 염색하였다. 본 관찰에서 사용한 Karnovsky와 Roots(1964) 방법을 기술하면 다음과 같다. 비특이성 cholinesterase를 모두 억제하기 위하여, 5ml 0.2M Tris-malate buffer(pH5.7)에 100 $\mu$ l 0.01 M tetraisopropyl pyrophosphoramidate를 더한 부치액에 절편을 넣고 실온에서 30분간 반응시킨 다음, 32.5ml 0.2M Tris-malate buffer, 5ml 0.005M potassium ferricyanide, 2.5ml 0.1M sodium citrate, 5ml 증류수, 5ml 0.03M cupric sulfate와 25mg acetylthiocholine iodide를 더한 media에

넣고 1시간 반응시켰다. 조직을 0.1M PB로 세척후 glycerine jelly를 이용, 봉입하였다.

### 2. 투과전자현미경 관찰

조직을 0.1M cacodylate 완충액(pH 7.4)으로 조정된 Karnovsky(1965)액에 2시간 전고정하고, 동일 완충액으로 만든 1% osmium tetroxide액에 2시간 후 고정하였다. 고정된 조직은 탈수과정을 거쳐 Luft(1961)법에 따라 epon 혼합액에 포매하였고 35°C, 45°C, 60°C 오븐에서 각각 24시간씩 유지시켜 중합을 완료하였다. 포매된 조직은 LKB초박절편기로 80nm 내외의 전자현미경용 박편과 1 $\mu$ m 내외의 광학현미경용 절편을 얻어 박편은 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하여 JEOL-1200 EX 투과전자현미경으로 관찰하였고 광학현미경용 절편은 1% toluidine blue 용액으로 가열염색하여 관찰하였다.

## 결 과

### 1. 광학 현미경 소견

#### Acetylcholinesterase 염색

##### 1) 신경세포

메기 송과체내에서 관찰된 신경세포는 이극세포와 다극세포였다. 이극세포는 방추형이었으며, 송과체의 길이 방향으로 긴 축삭을 내고 있었다. 이 세포의 출현부위는 종포(end vesicle)와 원위병부(distal stalk)에 국한되어 있었다. 종포내에서는 단독으로 출현하거나 주변 여러개의 신경세포들과 집단을 이루고 있었다. 병부내에서는 대체로 실질 주변부에서 피막에 인접하여 단독으로 출현하고 있었지만, 중심강이 있는 중심부 가까이에서 관찰되는 경우도 관찰되었다(Fig. 1).

다극세포는 이극세포에 비해 더 흔하게 관찰되었다. 세포체의 모양은 삼각형, 원형, 난원형 등 다양하였다. 종포내에서는 이극세포와 마찬가지로, 단독으로 출현하거나 인접신경세포들과 집단을 형성하고 있었던데 반해, 병부에서는 대부분 단독으로 출현하였다. 병부내에서의 출현위치는 병부주변의 피막 인접부 였으나, 드물게는 병부 중앙에서도 관찰되었다. 흔히 여러 개의 수상돌기를 주변 광수용세포층으로 내고 있었다(Fig. 2 및 3).

## 2) 송과신경절

한 단면상에서 5개 내외의 이극세포와 다극세포로 구성된 세포집단이 단독으로 출현하거나, 2개 이상이 긴 축삭으로 연결되어 있었다. 이들은 주로 종포내 강(lumen)의 상, 하방에서 피막에 인접하여 길이방향으로 위치하고 있었으나, 병부에서는 관찰할 수 없었다(Fig. 4).

## 3) 송과신경로

송과신경로는 원위병부에서 이극세포 및 다극세포의 긴 축삭이 모여 형성되어 있었다. 중간 및 근위 병부(middle and proximal stalk)에서는 이미 형성된 신경로로 신경세포의 축삭이 합류되고 있는 것도 관찰되었다. 대부분의 신경로는 피막과 인접해 달리고 있었다(Fig. 5).

## 2. Toluidine blue 염색 표본

신경세포는 송과실질을 구성하는 광수용세포나 지지세포에 비해 밝고 컸으며, 출현빈도는 훨씬 낮았다. 종포내 출현장소는 실질 주변부, 중심강(central lumen)인 접부 등 일정치 않았다. 병부내에서는 실질 주변부에서 더 자주 관찰되었으나, 송과신경로에 인접하여 나타나는 경우도 있었다.

병부내에서는 장축방향으로 달리는 여러개의 신경섬유로 구성된 다발(송과신경로)을 자주 관찰할 수 있었던 반면, 종포내에서는 이들 신경다발을 거의 찾아 볼 수 없었다. 송과신경로는 구성 신경섬유의 수에 따라 크기가 다양했고, 흔히 실질을 싸는 피막 인접부에서 관찰되었다(Fig. 6).

## 전자현미경 소견

송과실질내에서 관찰된 신경세포는 흔히 3~4개의 광수용세포 돌기나 여러 접의 지지세포 돌기(interdigitation of supportive cell processes)에 의해 둘러싸여져 있었으며, 직경은  $8\mu\text{m}$  내외였다. 핵은 구형으로, 진염색질이 많아 밝게 보였으며, 핵막에 접하여 1개의 핵소체를 갖고 있었다. 세포질은 밝았으며, 다수의 작은 사립체, 과립, 폴리솜, 조면내형질망, 골지장치 등의 소기관을 함유하고 있었다. 신경세포는 세포질의 밝기에 따라 크게 2종류로 구분할 수 있었으며, 종포내에서는 몇개의 신경세포가 집결되어 있는 부위도 관찰되었다(Fig. 7).

실질내에서 관찰된 신경섬유는 무수섬유(unmyelin-

ated fiber)였으며, 신경섬유내에서 미소관, 사립체 등의 소기관이 관찰되었다. 병부내에서 이들 신경섬유는 10여개 이상이 집결되어 다발(bundle), 즉 송과신경로(pineal tract)를 형성하고 있었다. 한편, 실질을 싸는 피막내 즉, 실질외에서 130여개의 신경섬유로 구성된 큰 신경다발을 볼 수 있었다. 이 중 20여개는 유수신경섬유, 나머지 대부분은 무수신경섬유였다. 유수신경섬유는 신경다발의 주변부, 특히 실질의 기저막 가까이에 위치하고 있었으며, 섬유의 직경은  $1.5\sim 3\mu\text{m}$ 로 무수신경섬유에 비해 컸다. 이들 섬유는 소수의 작은 사립체와 다량의 미소관을 함유하고 있었으며, 섬유 사이에서 희소돌기아교세포(oligodendrocyte)가 관찰되었다(Fig. 8).

## 고 찰

송과체에 존재하는 신경세포를 동정하기 위한 조직화학법으로는, acetylcholinesterase(AChE) 조직화학염색, silver impregnation법, methylene blue 염색, rapid Golgi 방법, cobalt chloride iontophoresis 법 등이 사용되고 있다. 이중 본 연구에서 사용된 AChE 조직화학법은, Ueck과 Kobayashi(1972)가 조류의 송과체에 존재하는 신경세포를 구명키 위해 사용한 이래 금붕어, 개구리(Wake, 1973; Wake 등, 1974) 등, 여러 동물의 송과신경세포를 연구하기 위해 시행되어온 가장 보편적 방법이라 할 수 있다. 개구리 송과체를 대상으로 horseradish peroxidase(HRP)법과 cobalt chloride iontophoresis법 등이 시도된 바 있지만(Eldred와 Nolte, 1981), AChE법(Wake 등, 1974)에서 만큼 상세한 정보는 얻을 수 없었다는 비교평가(Vigh-Teichmann 등, 1982)를 고려하면, AChE 조직화학법은 송과신경조직을 연구하는데 있어 다른 방법보다 높은 신뢰를 얻고 있다 할 수 있다.

하등동물의 송과체에서 관찰된 신경세포의 유형은 동물의 종에 따라 다르다. 즉, 메기 송과체를 대상으로한 본 연구에서는 다극세포 및 이극세포가 관찰되었던 데 반해, 카라신 과(科) 민물고기의 일종인 *Hemigrammus*에서는 다극세포만 관찰되었고(Herwig, 1981), 개구리에서는 다극세포와 위단극세포(pseudounipolar cell)가(Wake 등, 1974), 무지개 송어(rainbow trout)에서는 다극세포와 위단극세포외에도 이극세포가 관찰되었다(Ekstroom과 Korf, 1986). 하등동물의 송과신경세포

중 단극세포가 송과신경계를 구성하는 가장 기본이 되는 세포성분이라고 한 Vigh-Teichmann 등(1982)의 기술을 참고하면, 메기나 *Hemigrammus*의 송과체에서 단극세포가 나타나지 않았던 점은 특이하며, 이는 송과체 구조의 종간차이(interspecific difference)를 반영하는 것으로 사료된다.

본 연구에서 다극세포는 송과체의 전부위에 존재하는데 반해, 이극세포는 종포와 병부에 국한되어 관찰되었다. 이같은 구역차이(regional difference)는 이전의 여러 연구보고에서도 언급되었던 것으로, 송과체의 부위에 따라 신경세포는 그 유형뿐 아니라, 크기 및 AChE에 대한 염색정도도 다르다. 즉, 금붕어의 송과종포에서는 크고 중간정도의 염색도를 갖는 신경세포와 작으나 높은 염색도의 신경세포가 나타나는 데 반해, 병부에서는 작고 높은 염색도를 갖는 세포만이 관찰되었다(Wake, 1973). 무지개 송어의 경우 종포에서는 5~10 $\mu$ m 크기의 신경세포가, 병부에서는 5~8 $\mu$ m의 세포가 관찰되었으며(Korf, 1974), 잉어에서는 종포에서 직경 10~20 $\mu$ m의 큰 단극, 이극 및 다극세포가 관찰되었으나, 병부에서는 중간크기의 다극세포만이 관찰되었다(Ekstrom, 1986). 그외, 붕어(*Carassius gibelio*)에서도 25 $\mu$ m 이상의 큰 세포는 종포에서, 12 $\mu$ m 정도의 작은 세포는 병부에서 관찰되었다(Ohba 등, 1979). 이들 연구결과와 공통점은, 송과신경세포는 종포에서 더 크고, 세포의 수는 근위병부 즉 뇌에 가까울 수록 더 많아진다는 것이다. Ohba 등(1979)은, 붕어의 송과종포내에서는 한개의 큰 신경세포가 100여개의 광수용세포와 연결되어 있는 반면, 병부에서는 한개의 작은 신경세포가 불과 4~5개의 광수용세포와 연결되어 있음을 관찰하고, 이는 종포가 병부에 비해 더 높은 감광능을 갖고 있음을 반영하는 소견이라 하였다.

메기 송과체의 종포내에서는 5개 내외의 신경세포가 모인 세포집단들이 관찰되었으며, 이들 집단끼리는 축삭에 의해 상호연결되어 있었다. 이는 몇종의 어류에서 보고된 바 있는 송과신경절(pineal ganglion)로 간주되는 부위이다. 일찌기 Korf(1974)는 무지개송어 송과체의 상내측(rostromedial portion)에서 큰 다극세포로 구성된 신경절을 발견, 기술하면서 이 신경절내 신경세포와 광수용세포사이의 연결구조는 송과체의 다른 부위에서와 다르며, 무지개송어의 송과체에서 관찰된 신경절은 다른 경골어류 송과체에서는 관찰할 수 없는 독특한 구조

물이라 했다. 그의 이같은 서술은, 금붕어 송과체내 신경세포에 관한 Wake(1973)의 보고에서는 신경절에 대한 언급이 없었기 때문이다. 이후, Vigh-Teichmann 등(1982)은 잉어 송과체 종포의 상전방부(rostroventral portion)에서, Ueck 등(1989)은 *Fugu niphobles*의 송과체에서 신경절의 존재를 관찰 보고한 바 있다. 그러나, 많은 연구 보고에서 송과신경절에 대한 기술이 혼치 않음을 고려하면, 송과체내 신경절을 갖고 있는 어류는 많지 않을 것으로 사료된다. 실제로, Matsuura와 Herwig(1981)는 뱀장어의 송과체에서 신경절을 관찰할 수 없다 하였고, Ueck 등(1989)은 송과신경절을 발견할 수 없는 몇 종의 어류를 보고한 바 있는데, 이들은 *Fugu pardale*, *Scomber japonica*, 심해어류인 *Helicolenus hilgendorfi* 및 상어의 일종인 *Triakis scyllia*이다.

메기 송과체의 병부에서 관찰된 송과신경로는 이극 및 다극신경세포의 긴 축삭에 의해 형성되어 있었다. 신경로는 흔히 실질 주변부 피막에 인접하여 위치하고 있었으며, 중도에 신경세포의 긴 축삭들이 합류되고 있는 것도 관찰되었다. 송과신경로의 형성에 대해서는 개구리 송과체에서 Paul 등(1971), Wake 등(1974) 및 Eldred와 Nolte(1981)가 제시한 모델이 있지만, 이중 Wake의 이론이 하나의 전형으로 받아들여지고 있다. 그는 개구리 송과체에는 다극세포와 위단극세포가 관찰되는데, 다극세포는 전술한 대로 매개신경원으로 작용하며, 신경로의 형성에는 위단극세포만이 관여할 것이라 하였다. 그러나 Ekstroem과 Korf(1985)는 무지개 송어의 송과체에서 horseradish peroxidase(HRP) backfilling법, 즉 송과병부를 자른 후 이 부위에 HRP를 펼쳐 일정시간 배양함으로써 HRP가 신경축삭을 타고 종포부까지 이동케 한 후 염색하였다. 그들은 무지개 송어의 경우 송과체에서 관찰된 모든 세포, 즉 단극, 이극 및 다극세포가 신경로를 형성한다 하였다. 그들의 관찰 소견과 본 연구결과와의 차이는 송과체 구조의 종간차이(interspecific difference)를 반영한다.

## 결 론

메기 송과체내 신경조직을 구명하기 위해 메기에서 송과체를 절취한 후, 길이방향의 연속냉동절편을 만들어 Karnovsky와 Roots(1964) 방법으로 신경세포를 동정

하는 한편, 일부 조직은 전자현미경으로 관찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

메기 송과체에서 관찰된 신경세포는 다양한 형태의 다극세포와 방추형의 이극세포였다. 다극세포는 송과체의 어느 부위에서나 관찰되었지만, 이극세포는 종포와 원위 병부에 국한되어 출현하였다. 병부내에서 이들 신경세포의 긴 축삭이 집결되어 송과신경로를 형성하고 있었다. 병부에서는 신경세포가 실질 주변부에 산재되어 있었던데 반해, 종포내에서는 신경세포가 집결되어 있으면서 긴 축삭으로 상호연결되어 있는 부위도 관찰되었다.

이상의 관찰결과, 메기 송과체에 존재하는 신경세포는 이극세포와 다극세포이고, 종포내에서 이들 신경세포가 집결되어 송과신경절을 형성하고 있음을 알 수 있었다. 이는 다른 어종에 비해 특이한 소견으로, 송과체 구조의 종간차이를 반영하는 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- 유영근, 1994. 메기 송과체 종포의 미세구조에 관한 연구. 전남대학교 박사 학위 논문.
- Dodt, E., 1963. Photosensitivity of the pineal organ in the teleost, *Salmo irideus*. *Experientia* 19: 642-643.
- Ekstroem, P., 1986. Central connections of the pineal organ and retina in the teleost *Gasterosteus aculeatus* L. *J. Comp. Neurol.* 226:321-335.
- Ekstroem, P., Korf, H.W., 1985. Pineal neurons projection to the brain of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Cell Tiss. Res.* 240:693-700.
- Ekstroem, P., Korf, H.W., 1986. Putative cholinergic elements in the photosensory pineal organ and retina of a teleost, *Phoxinus phoxinus*. *Cell Tiss. Res.* 246:321-329.
- Eldred, W.D., Nolte, J., 1981. Multiple classes of photoreceptors and neurons in the frontal organ of *Rana pipiens*. *J. Comp. Neurol.* 203:269-296.
- Fenwick, J.C., 1970. The pineal organ: Photoperiod and reproductive cycles in the goldfish. *J. Endocrinol.* 46:101-111.
- Hafeez, M.A., 1970. Effect of melatonin on body coloration and spontaneous swimming activity in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Comp. Biochem. Physiol.* 36:639-656.
- Hafeez, M.A., Quay, W.B., 1970. The role of the pineal organ in the control of phototaxis and body coloration in rainbow trout. *Z. Vergl. Physiol.*, 68:403-416.
- Herwig, H.J., 1981. The pineal organ. An ultrastructural and biochemical study on the pineal organ of *Hemigrammus caudovittatus* and other closely related characid fish species with special reference to the Mexican blind cave fish *Astyanax mexicanus*. Ph. D. Thesis, University of Utrecht.
- Hoar, W.S., 1955. Phototactic and pigmentary responses of sockeye salmon smolts following injury to the pineal organ. *J. Fish Res. Canada*, 12:178-185.
- Karnovsky, M.J., 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. *J. Cell Biol.* 27:137.
- Karnovsky, M.J., Roots, L., 1964. A direct coloring thiocholine method for cholinesterase. *J. Histochem. Cytochem.* 12:219-221.
- Kavaliers, L., 1982. Pinealectomy modifies the thermoregulatory effects of bombesin in goldfish. *Neuropharmacology* 21:1169-1173.
- Korf, H.W., 1974. Acetylcholinesterase-positive neurons in the pineal and parapineal organs of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Cell Tiss. Res.* 155:474-489.
- Korf, H.W., Vigh-Teichmann, I., 1984. Sensory and central nervous elements in the avian pineal organ. *Ophthalmic Res.* 16:96-101.
- Luft, J.H., 1961. Improvements in epoxy resin embedding methods. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* 9:409-412.
- Matsuura, T., Herwig, H.J., 1981. Histochemical and ultrastructural study of the nervous elements in the pineal organ of the eel, *Anguilla anguilla*. *Cell Tiss. Res.* 216:545-555.
- McNulty, J.A., 1976. A comparative study on the pineal complex in the deep-sea fishes *Bathylagus wesethi* and *Nezumia liolepis*. *Cell Tiss. Res.* 172:205-225.
- Ohba, S., Wake, K., Ueck, M., 1979. Histochem.

- emical and electron microscopical findings in the pineal organ of *Carassius gibelio*. Prog. Brain Res. 52:93-96.
- Paul, E., Hartwig, H.G., Oksche, A., 1971. Neurone und zentralnervöse Verbindungen des Pinealorgans der Anuren. Z. Zellforsch. 112:466-469.
- Tamotsu, S., Korf, H.W., Morita, Y., Oksche, A., 1990. Immunocytochemical localization for serotonin and photoreceptor-specific proteins (rhodopsin, S-antigen) in the pineal complex of the river lamprey, *Lampetra japonica*, with special reference to photoneuroendocrine cells. Cell Tiss. Res. 262:205-216.
- Ueck, M., Kobayashi, H., 1972. Vergleichende Untersuchungen über Acetylcholinesterasehaltige Neurone im Pinealorgan der Vögel. Z. Zellforsch. 129:140-160.
- Ueck, M., Wake, K., Kobayashi, H., 1989. Nervous organization of the pineal complex in lower vertebrates. Zoological Sci. 6:817-831.
- Vigh-Teichmann, I., Korf, H.W., Oksche, A., Vigh, B., 1982. Opsin-immunoreactive outer segments and acetylcholinesterase-positive neurons in the pineal complex of *Phoxinus phoxinus*. Cell Tiss. Res. 227:351-369.
- Wake, K., 1973. Acetylcholinesterase-containing nerve cells and their distribution in the pineal organ of the goldfish. Z. Zellforsch. 145:287-298.
- Wake, K., Ueck, M., Oksche, A., 1974. Acetylcholinesterase-containing nerve cells in the pineal complex and subcommissural area of the frog, *Rana ridibunda* and *Rana esculenta*. Cell Tiss. Res. 154:423.

### FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Four bipolar cells(arrows) with long axons are arranged in parallel in the distal stalk. .Stained by acetylcholinesterase histochemistry.  $\times 1,600$
- Fig. 2.** A multipolar cell with branched dendrites is seen in the distal stalk. Stained by acetylcholinesterase histochemistry.  $\times 1,600$
- Fig. 3.** AChE histochemistry followed by weak eosin staining. Two multipolar cells are shown in the periphery in the distal stalk. The central lumen(C) and photoreceptor cell layer(P) are seen.  $\times 1,600$
- Fig. 4.** Neuronal clusters(pineal ganglia) are observed in the dorsal part of end vesicle. They are connected with one another by long axons. Stained by acetylcholinesterase histochemistry.  $\times 800$
- Fig. 5.** Several axons are seen to join with the prominent pineal tract(arrow heads) in the middle stalk. Stained by acetylcholinesterase histochemistry.  $\times 800$
- Fig. 6.** Longitudinally sectioned pineal stalk shows pineal parenchyme and its surrounding connective tissue with large blood vessels. A nerve cell(arrow) can be distinguished in the parenchyme. C indicates the central lumen, in which dark stained outer segments of photoreceptor cells are seen. Nerve bundles(Nb) are seen near the capsule. Stained by toluidine blue.  $\times 1,600$
- Fig. 7.** Ganglionic region composed of 4 nerve cells(I, II, III and IV) in pineal end vesicle is shown. Two nerve cells are contacted with each other, and one(III) of them has lighter cytoplasm. P indicates a pinealocyte, and another type of cell with heterochromatic nucleus and light cytoplasm is seen next to the pinealocyte.  $\times 2,550$
- Fig. 8.** A nerve tract composed of myelinated(mf) and unmyelinated(uf) fibers runs outside the pineal stalk. Og indicates oligodendrocyte.  $\times 2,400$







