

# 대농갱이 *Leiocassis ussuriensis* 정자의 미세구조와 계통적 고찰 (경골어류, 메기목, 동자개과)

김 구 환 · 이 영 환\*

(대구대학교 사범대학 과학교육학부)

The Ultrastructure of Spermatozoa of the Ussurian Bullhead, *Leiocassis ussuriensis* (Teleostei, Siluriformes, Bagridae) with Phylogenetic Considerations. Kim, Kgu Hwan and Young Hwan Lee\* (Major in Biology Education, Division of Science Education, Taegu University, Kyungsan 712-714, Korea)

The fine structure of spermatozoa of *Leiocassis ussuriensis* was examined with scanning and transmission electron microscopies. The spermatozoon of *L. ussuriensis* is approximately 68.8 μm in length and a relatively simple cell with a spherical nucleus, a short midpiece and a tail. The ultrastructure of spermatozoa of *L. ussuriensis* is characterized by the following features. The nuclear fossa, the length of which is about two-thirds of the nuclear diameter, contains two centrioles. The centrioles are orientated approximately 180° to each other. The mitochondria are arranged in two layers and their number is 12 or more. The axoneme is the 9+2 microtubular pattern and has inner but no outer dynein arms as in other bagrids. The two axonemal fins are in the same plane with the two central microtubules, the doublets 3 and 8. The axonemal fins and the inner dynein arm are shared in Bagridae and the deep nuclear fossa is shared in Siluriformes. The axonemal fins observed in Bagridae and Amblycipitidae of Siluriformes might be the apomorphic character in Ostariophysi. They are not reported in Cyprinidae and Characiformes.

**Key words :** Spermatozoon, Ultrastructure, *Leiocassis ussuriensis*, Nuclear fossa, Axonemal fins

## 서 론

메기목 어류는 전 세계적으로 34과 412속 2,405종이 분포하는 것으로 보고되어 있고 남방계 어류로 알려져 있으며 식용, 스포츠낚시 등으로 경제적 이용가치가 매우 높은 것으로 평가되고 있다. 서식지역을 중심으로 보면 Ariidae와 Plotosidae의 2개 과를 제외한 대부분의 종들은 담수 혹은 기수역에 살고 있다(Nelson, 1994). 한국의 메기류는 5과 6속 14종이 있는데 그 중 동자개과(Bagridae), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae)

3개 과가 담수에 서식하고 있다(김, 1997).

메기목 어류 정자의 미세구조는 둥근 두부, 짧은 중편 및 긴 편모의 구조로 되어있어 경골어류 정자의 전형적인 형태와 유사하나, 핵외가 깊은 구조적 특징을 나타내고(Lee, 1998; Lee and Kim, 1999) 꼬리의 구조에 따라 단편모형과 쌍편모형으로 구분된다(Jameison, 1991). 메기목 정자의 미세구조에 관한 연구는 매우 제한되어 있어서 *Ictalurus punctatus* (Yasuzumi, 1971; Jaspers *et al.*, 1976; Poirier and Nicholson, 1982), *Clarias senegalensis* (Mattei, 1970), *Pseudobagrus fulvidraco* (Lee, 1998), *Liobagrus mediadiposalis* (Lee and Kim, 1999) 등

\* Corresponding author: Tel: 053) 850-6992, Fax: 053) 850-6969, E-mail: yhlee@taegu.ac.kr

극히 일부 종에서만 보고되어 있는 실정이며 한국산 메기목 어류 정자의 미세구조에 관한 연구는 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco* (Lee, 1998), 메기 *Silurus asotus* (Kwon et al., 1998), 자가사리 *Liobagrus mediadiposalis* (Lee and Kim, 1999) 등을 중심으로 본 연구자들에 의해 활발히 진행되고 있다.

경골어류 정자의 미세구조는 세계적으로 300여종이 밝혀져 있으며 정자의 미세구조적 형질이 계통분류학적 견지에서 매우 좋은 형질로 인정되어 왔으며 많은 계통진화적 문제점이 해결되어 왔다 (Billard, 1970a; Jamieson, 1991; Mattei, 1988, 1991).

최근 메기목 어류는 하천의 수질오염과 남획 및 하구둑의 조성 등 생태계의 변화로 인하여 서식지와 개체수가 급격하게 감소하고 있으며 일부 종이 환경부에서 멸종위기종으로 지정 (환경부, 1999)되는 등 어종의 보존에 어려움을 겪고 있다. 특히 황해로 유입되는 하천에 서식하는 동자개과 어류는 절멸위기에 있으며, 종어 *Leiocassis longirostris*는 이미 남한에서 절멸되는 등 연구의 필요성이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 우리나라의 황해로 유입되는 수계에서만 제한적으로 서식하고 있는 대농갱이 *Leiocassis ussuriensis* 정자의 미세구조를 밝히고 인접분류군과 비교 검토하여 계통적 유연관계를 고찰하고자 하였다.

## 재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 1999년과 2000년의 4월부터 7월까지 번식시기에 금강의 충청남도 강경읍과 전라북도 용안면 일대에서 성숙한 수컷 대농갱이 *Leiocassis ussuriensis*를 죽대와 통발을 이용하여 포획한 개체들이다. 채집된 재료는 휴대용 기포발생기를 이용하여 활어 상태로 실험실로 운반하였고 해부 후 정소를 추출하였다.

연구방법은 위상차현미경, 투과전자현미경 및 주사전자현미경적 방법 등 다양하게 접근하였고 그 세부내용은 다음과 같다.

### 1. 위상차현미경

정자 전체의 길이를 측정하기 위하여 0.85% NaCl 용액에서 정소를 적출하여 위상차현미경 (Carl Zeiss Jena-med 2)으로 검경후 촬영하였다.

### 2. 투과전자현미경적 방법

정소 조직을 구분하여 1~2.5% glutaraldehyde, 4%

paraformaldehyde (4°C, phosphate buffer 또는 cacodylate buffer, pH 7.2) 용액에서 2시간 전고정하고 고정된 정소조직을 완충용액 (4°C, phosphate buffer 또는 cacodylate buffer, pH 7.2)으로 10분간 3회 세척한 후 1% osmium tetroxide에서 후고정하였으며 고정된 재료는 동일 완충용액으로 수회 세척한 후, ethanol 농도 상승순 (50°C → 100°C)으로 탈수하고, propylene oxide로 치환하여 Epon 812 혼합액에 포매한 다음, 35°C, 45°C 및 60°C순으로 vacuum drying oven에서 중합반응 시켰다. 포매된 재료를 ultramicrotome (MTXL)으로 glass 및 diamond knife로 초박 절편을 만들어 copper grid에 부착시킨후, uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하여 투과전자현미경 (H-7500)으로 검경하였다.

### 3. 주사전자현미경적 방법

투과전자현미경적 방법과 동일한 과정을 거쳤고 고정과 탈수한 다음 iso-amylacetate로 치환하여 임계점 건조법으로 건조한 후 IB-5로 ion coating하여 주사전자현미경 (S-4100)으로 검경하였다.

## 결 과

대농갱이 *Leiocassis ussuriensis*의 정자는 그 길이가 약 68.8µm인 신장된 세포로 구형의 두부, 짧은 중편 및 2개의 axonemal fins을 가진 긴 미부로 구성되어 있었다 (Fig. 1).

### 1. 두부 (Head)

머리는 침체가 없는 구형의 단순한 구조로 되어 있었으며 폭은 1.83µm이고 길이는 1.50µm이었다. 핵은 구형으로 크기가 1.80µm<sup>2</sup>이었으며 고도로 농축된 염색질을 포함하고 있었고 핵의 기저부에는 핵막이 1.00µm 함입된 한 개의 핵와 (nuclear fossa)가 있었다. 핵와는 두 개의 중심립을 포함하고 있으며 그 구조는 횡단면에서는 구형, 종단면에서는 종형을 하고 있었다 (Fig. 2). 핵막과 원형질막은 핵의 기부를 제외하고는 매우 인접해 있었으며 두 막 모두 심한 파동구조를 하고 있었다 (Fig. 3).

### 2. 중심립 (Centrioles)

중심립은 기부중심립과 말단부중심립으로 구성되어 있고 두 중심립 모두 핵와 안에 위치해 있었다. 기부중심립은 핵와의 전반부에, 말단부중심립은 핵와의 후반부에 위치해 있으며 두 중심립 모두 세포의 장축방향으로 놓여져 있어서 두 중심립 사이의 각도는 180°를 형성하

였다 (Fig. 2). 두 중심립 사이는 섬유성물질로 구성된 판 구조물이 두 중심립의 경계를 이루고 있었다. 중심립은 전형적인 9+0 삼중미세소관 (triplet)으로 (Fig. 4) 중심립의 미세소관으로부터 섬유성 부착지가 접선방향으로 돌출되어 있었다 (Figs. 4-5).

### 3. 중편 (Midpiece)

중편세포질은 핵의 기저부까지 함입된 세포질관 (cytoplasmic canal)을 가지고 있는데 세포질관의 최대 직경은  $0.70\ \mu\text{m}$ , 길이는  $0.76\ \mu\text{m}$ 로서 이 관에 의해 중편세포질과 축사는 분리되어 있었다 (Fig. 6). 중편세포질에 분포되어 있는 미토콘드리아는 핵의 기저부에서부터 중편세포질의 말단부에 이르기까지 2층으로 배열되어 축사를 둘러싸고 있었다 (Fig. 6). 횡단면상에서 중편세포질의 미토콘드리아의 수는 5~6개로서 중편에 분포된 전체 미토콘드리아의 수는 약 10개로 볼 수 있었다 (Figs. 7-8).

### 4. 미부 (Tail)

미부의 길이는 약  $67.2\ \mu\text{m}$ 이고 축사는 9+2 이중미세소관 (doublet)으로 구성되어 있었다. 이중미세소관의 A 소관에는 디네인 내완 (inner dynein arm)이 부착되어 있으나 디네인 외완 (outer dynein arm)은 관찰되지 않았다 (Fig. 9). 중심미세소관 (central microtubules) 축의 양 방향으로 가늘게 2개의 Axonemal fins이 확장되어 있었으며, 3번과 8번 이중미세소관의 바깥쪽으로 돌출되어 있었다 (Fig. 9). 이 구조는 꼬리의 전 길이에 걸쳐 관찰되며 축사의 한쪽 fin의 최대 길이는  $0.56\ \mu\text{m}$ 이었다.

## 고 찰

대농갱이 *Leiocassis ussuriensis* 정자의 미세구조는 구형의 핵, 다수의 미토콘드리아가 포함된 중편 및 미부로 구성되어 하등한 경골어류 정자의 일반적인 구조와 유사하나 (Baccetti *et al.*, 1984; Jamieson, 1991; Mattei, 1991), 하등 경골어류와 구분되는 정자의 구조적 특징으로 깊이 함입된 핵외, 미토콘드리아의 수와 위치, 두 중심립간의 배열각도 및 꼬리의 axonemal fins의 유·무를 들 수 있으며 이러한 구조는 메기목내에서도 과 및 종에 따라 미세구조적 형질의 차이를 나타내고 있었다.

대농갱이 정자의 두부는 핵물질이 농축된 구형의 구조를 하고 있으며 핵의 기저부에서부터 위쪽으로 2/3 정도 깊이 함입되어 형성된 핵외가 있었다. 핵외의 구조는 Ostariophysi 내의 잉어목 (Baccetti *et al.*, 1984; Kim *et*

*al.*, 1998; Lee and Kim, 1998)과 Characiformes (Mattei *et al.*, 1995)에서는 얇게 함입되어 있어서 대부분의 메기류 즉 *Ictalurus punctatus* (Jasper *et al.*, 1976; Poirier and Nicolson, 1982), *Amiurus neblousus*, *Silurus glanis* (Emel'yanova and Makeyeva, 1991), *P. fulvidraco* (Lee, 1998), *S. asotus* (Kwon *et al.*, 1998), *Liobagrus mediadiposalis* (Lee and Kim, 1999)에서 볼 수 있는 깊은 핵외와는 큰 차이를 보여주었다. 이와같이 깊이 함입된 핵외의 구조는 메기목 어류 정자의 공통된 미세구조적 특징으로 사료된다. Jamieson (1991)에 의하면 깊이 함입된 핵외가 얇게 함입된 핵외에 비해 파생형질로 밝혀져 있다.

중심립은 기부중심립과 말단부중심립이 핵외안에 위치해 있으며 두 중심립 사이의 각도는 직선 방향으로 배열된  $180^\circ$  각도를 이루고 있었다. 메기목의 여러 종들에서 중심립의 각도는 다양하게 나타나고 있다. 중심립의 각도에 따라 메기목 어류를 구분해 보면, 첫째, 직각을 나타내고 있는 것으로는 *Silurus glanis*와 *S. microdorsallis*가 해당하고 둘째,  $90^\circ$  이상 둔각을 나타내는 것으로는 *Silurus asotus*, *Amiurus neblousus* 및 *Pseudobagrus fulvidraco*가 있으며 셋째, 각도가 없이 두 개의 말단부 중심립으로 구성된 *Liobagrus mediadiposalis* 등의 3가지 유형으로 대별될 수 있다. 동자개과의 경우는 전술한 것 중에서 두 번째 유형으로 대농갱이 *Leiocassis ussuriensis*의 두 중심립의 각도가  $180^\circ$ , 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco* (Lee, 1998)는  $160^\circ$ 로 모두 둔각을 나타내었다. 또한 메기과의 *Silurus asotus* (Kwon *et al.*, 1998)에서는  $140^\circ$ , 미유기 *S. microdorsalis*는  $90^\circ$ 를 나타내었으며 자가사리과의 *Liobagrus mediadiposalis* (Lee and Kim, 1999)는 각도가 없는 두 개의 중심립만을 가지고 있었다. 이와 같은 중심립 각도의 다양성은 하등 경골어류 정자의 중심립의 각도에서도 비슷한 양상을 보이고 있었다 (Baccetti *et al.*, 1984; Jamieson, 1991; Mattei, 1991).

정자의 짧은 중편부는 체외수정을 하는 어류의 공통된 특징으로 (Mattei, 1991), 대농갱이의 정자에서도 같은 양상을 보여주었다. 경골어류의 정자에서 중편세포질에 분포해 있는 미토콘드리아의 수는 다양하게 나타나고 있으며 (Jamieson, 1991; Gow *et al.*, 1992; Afzelius and Mims, 1995) 중편에 분포된 미토콘드리아의 수와 배열은 잉어류 정자에서 분류와 계통을 연구하는데 중요한 형질로 간주되어 왔다 (Baccetti, 1984). 메기류에서 미토콘드리아의 수는 동자개과 Bagridae에서 10~20개 (Lee, 1998), 메기과 Siluridae에서는 2~20개 (Emel'ya-

nova and Makeyeva, 1991; Kwon *et al.*, 1998), 통가리과 Amblycipitidae에서는 40개 (Lee and Kim, 1999) 내외를 포함하고 있어 메기과, 동자개과 및 통가리과의 순으로 점차 증가하는 경향이였다.

축사의 이중미세소관의 디네인 외완이 나타나지 않는 대농갱이 정자의 구조는 동자개에서도 같은 양상으로 보고되어 (Lee, 1998), 외완과 내완이 동시에 관찰되는 메기과 (Kwon *et al.*, 1998)와 자가사리과 (Lee and Kim, 1999)와 차이가 있었다. 이와같이 동자개과의 대농갱이와 동자개 (Lee, 1998)에서는 디네인 내완만이 관찰되어 동자개과 정자의 구조적 특징으로 생각된다. 반면 메기목의 인접 하위 분류군인 잉어목에서는 디네인 내완과 외완이 관찰되고 있으며 (Baccetti *et al.*, 1984) 메기목보다 상위 분류군에서는 디네인 외완과 내완이 없는 Cyprinodontidae (Thiaw *et al.*, 1986)의 2종을 제외하고는 대부분 외완만이 보고되었다.

대농갱이 정자의 꼬리에는 2개의 axonemal fins를 가지고 있으며 이와같은 구조는 많은 종의 어류 정자에서도 관찰되었다 (Billard, 1970a, b; Nicander, 1970; Ginsburg, 1977; Afzelius, 1978; Gardiner, 1978; Stein, 1981; Lee, 1998; Lee and Kim, 1999). 메기목의 2개 과 (family) 즉, 동자개과 Bagridae (Lee, 1998), 자가사리과 Amblycipitidae (Lee and Kim, 1999)에서는 axonemal fins가 관찰되는 반면 메기과 Siluridae (Emel'yanova and Makeyeva, 1991; Kwon *et al.*, 1998)와 채널동자개과 Ictaluridae (Jasper *et al.*, 1976)에서는 이러한 구조가 관찰되지 않았다.

이러한 axonemal fins의 구조적 형질로 볼 때 동자개과와 통가리과는 메기과와 채널동자개과보다 더 밀접하게 연관되어 있었다. 한편 Ostariophysi내의 잉어목 Cypriniformes과 Characiformes에서는 fins의 구조가 나타나지 않아 메기목에서는 axonemal fins를 가지는 동자개과가 fins를 가지지 않는 메기과와 채널동자개과보다 더 파생형질을 가지는 것으로 간주된다.

## 적 요

대농갱이 정자의 미세구조를 투과 및 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 대농갱이의 정자는 그 길이가 68.8 μm로서 구형의 핵, 짧은 중편 및 하나의 편모로 구성되어 있었다. 정자의 미세구조적 특징을 살펴보면 다음과 같다. 핵외는 핵의 기부에서 약 2/3 길이까지 함입되어 있으며 그 내부에 기부중심립과 말단부 중심립을 포함하고 있었다. 두 중심립 사이의 각도는 약 180°를

이루고 있었다. 미토콘드리아는 그 수가 약 10개 정도로 두 층의 배열을 하고 있었다. 축사는 9+2의 미세소관 구조를 하며 디네인 내완만이 관찰되었는데 이러한 양상은 동자개과의 다른 종에서만 나타나고 있어서 동자개과의 특징으로 보여진다. 두 개의 axonemal fins는 중심미세소관의 축과 같은 방향으로 돌출되어 있었다. 두 개의 axonemal fin를 가지고 디네인 외완이 소실되어 있는 대농갱이 정자의 이러한 구조적 특징은 동자개과에서는 공유형질로 나타나며 또한 깊이 함입된 핵외의 특징은 메기목 전체에서 공유형질로 나타난다. Axonemal fins는 메기목의 동자개과와 통가리과에서는 관찰되는 반면에 메기과와 채널동자개과에서는 이러한 구조가 보고되지 않았다. 잉어목과 Characiformes에서도 이러한 구조가 관찰되지 않아서 Ostariophysi내에서 이 구조는 파생형질로 사료된다.

## 인 용 문 헌

- 김익수. 1997. 한국동식물도감 제37권 (담수어류). 교육부. 국정교과서주식회사.
- 환경부 (편). 1999. 환경백서. 환경부.
- Afzelius, B.A. 1978. Fine structure of the garfish spermatozoon. *J. Ultrastruct. Res.* **64**: 309-314.
- Afzelius, B.A. and S.D. Mims. 1995. Sperm structure of the bowfin, *Amia calva* L. *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.* **27**: 291-294.
- Baccetti, B., A.G. Burrini, G. Callaini, G. Gibertini, M. Mazzini and Zerunian, S. 1984. Fish germinal cells. I. Comparative spermatology of seven cyprinid species. *Gamete Res.* **10**: 373-396
- Billard, R. 1970a. Ultrastructure comparée de spermatozoides de quelques poissons Téléostéens, In B. Baccetti, (ed.), *Comparative Spermatology*, New York, Academic Press pp. 71-79.
- Billard, R. 1970b. La spermatogenèse de *Poecilia reticulata* IV. La spermiogenèse. Etude ultrastructurale, *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.* **10**: 493-510.
- Emel'yanova, N.G. and A.P. Makeyeva. 1991. Ultrastructure of spermazoids of some representative catfishes. *Vopr. Ichtiol.* **31**: 1014-1019.
- Gardiner, D.M. 1978. Fine structure of the spermatozoon of the viviparous teleost, *Cymatogaster aggregata*. *J. Fish. Biol.* **13**: 435-438.
- Ginsburg, A.S. 1977. Fine structure of the spermatozoon and acrosome reaction in *Acipenser stellatus*. In D.K. Beljaev (ed.), *Problemy eksperimentalnoj biologii*, Moscow. Nauka. pp. 246-256.

- Gwo, J.C. and C.R. Arnold. 1992. Cryopreservation of Atlantic croaker spermatozoa: Evolution of morphological changes. *J. Exp. Zool.* **264**: 444-453.
- Jamieson, B.G.M. 1991. Fish evolution and systematics: Evidence from spermatozoa, New York, Cambridge University Press. p 319.
- Jaspers, E.J., J.W. Avault and J.D. Roussel. 1976. Spermatozoal morphology and ultrastructure of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, *Transact. Am. Fish Soc.*, **105**: 475-480.
- Kim, K.H., A.S. Kwon and Y.H. Lee. 1998. Ultrastructure of spermatozoa in the Korean gudgeon, *Squalidus chankaensis tsuchigae*. *Korean J. Limnol.* **31**: 159-164.
- Kwon, A.S., K.H. Kim and Y.H. Lee. 1998. Ultrastructure of spermatozoa in the catfish, *Silurus asotus* (Teleostei, Siluriformes, Siluridae). *Dev. Reprod.* **2**: 75-80.
- Lee, Y.H. 1998. Ultrastructure of spermatozoa in the bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* (Teleostei, Siluriformes, Bagridae). *Korean J. Electron Microscopy.* **28**: 39-48.
- Lee, Y.H. and K.H. Kim. 1998. Ultrastructure of spermatozoa in *Puntungia herzi*, *Dev. Reprod.* **2**: 141-148.
- Lee, Y.H. and K.H. Kim. 1999. Ultrastructure of the south torrent catfish, *Liobagrus mediadiposalis* (Teleostei, Siluriformes, Amblycipitidae) spermatozoon. *Korean J. Limnol.* **32**: 271-280.
- Mattei, X. 1970. Spermiogenèse comparée des poissons, In B. Baccetti (ed.), *Comparative spermatology*, New York. Academic Press. pp. 57-70.
- Mattei, X. 1988. The flagellar apparatus of spermatozoa in fish. Ultrastructure and evolution. *Biol. Cell.* **63**: 151-158.
- Mattei, X. 1991. Spermatozoon ultrastructure and its systematic implications in fishes. *Can. J. Zool.* **69**: 3038-3055.
- Mattei, X., B. Marchand, and O.T. Thiaw. 1995. Unusual midpiece in the spermatozoon of a teleost fish, *Citharinus* sp. *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.*, **27**: 189-191.
- Nelson, J.S. 1994. *Fishes of the world*, 3rd edition. New York. John Wiley and Sons. p. 600.
- Nicander, L. 1970. Comparative studies on the fine structure of vertebrate spermatozoa, In B. Baccetti (ed.), *Comparative Spermatology*. New York. Academic Press. pp. 47-55.
- Poirier, G.R. and N. Nicholson. 1982. Fine structure of the testicular spermatozoa from the catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. Ultrastruct. Res.* **80**: 104-110.
- Stein, A. 1981. Licht und elektronenoptische Untersuchungen an den Spermatozoen verschiedener Sswasser-knochenfische (Teleostei). *Z. Angew. Zool.* **68**: 183-198.
- Thiaw, O.T., X. Mattei, R. Romand and B. Marchand. 1986. Reinvestigation of spermatid flagella structure: The teleostean Cyprinodontidae. *J. Ultrastruct. Res.* **97**: 109-118.
- Yasuzumi, F. 1971. Electron microscope study of the Fish spermiogenesis. *J. Nara Med. Associ.* **22**: 343-355.

### Figure Legends

- Fig. 1.** Scanning electron micrographs of spermatozoon showing a spherical head (H), a short midpiece (Mi) and a tail (T). Note the two lateral fins of the sperm tail (arrows).  $\times 22,000$ .
- Fig. 2.** Longitudinal section through a spermatozoon showing the nucleus (N) and the midpiece containing the mitochondria (M). Note the deep nuclear fossa containing two centrioles (PC, DC) forming an angle of approximately  $180^\circ$  and the cytoplasmic canal (arrows).  $\times 35,500$ .
- Fig. 3.** The nuclear envelope and the plasma membrane are strongly undulated (arrowheads).  $\times 68,000$ .
- Fig. 4.** Transverse section of the basal nucleus showing the centriole of  $9+0$  triplet construction with a satellite appendage (arrowhead).  $\times 42,000$ .
- Fig. 5.** Transverse section through the basal nucleus (N) showing satellite rays (arrowhead) arranged tangentially toward the nuclear envelope in a nuclear fossa.  $\times 42,000$ .
- Fig. 6.** Longitudinal section through the nucleus and the midpiece containing two layers of mitochondria (M). Electron dense filamentous materials (arrowhead) are between the centriole and the nuclear envelope lining the nuclear fossa. Note the distal centriole extends to the level of the anterior end of the cytoplasmic canal.  $\times 33,000$ .
- Fig. 7.** Transverse section of the beginning midpiece containing the mitochondria (M). Note that the axoneme (Ax) is separated from the cytoplasm of the midpiece by the cytoplasmic canal (C).  $\times 36,000$ .
- Fig. 8.** Transverse section of the midpiece containing five mitochondria (M) and cytoplasmic canal (C).  $\times 44,000$ .
- Fig. 9.** Transverse section of the tail showing the pair of long axonemal fins (arrows) at the plane of two central microtubules, the doublets 3 and 8. Note the absence of outer dynein arm.  $\times 100,000$ .



