

한국산 긴날개박쥐 (*Miniopterus schreibersi fuliginosus*)의 정자변태동안의 소포체와 골지체에 관한 전자현미경적 관찰

최병진 · 손성원¹ · 이정훈¹ · 이계일²
국립환경연구원 환경생물과, ¹경남대학교 자연과학대학 생물학과,
²중앙대학교 전자현미경실

Electron Microscopic Observations on the Endoplasmic Reticulum and Golgi Complex during Spermiogenesis in the Long-Fingered Bat (*Miniopterus schreibersi fuliginosus* Hodgson)

Byung-Jin Choi, Sung-Won Son¹, Jung-Hun Lee¹, and Kae-Il Lee²
Environmental Biology Research Division, National Institute of Environmental Research, Seoul, Korea, ¹Department of Biology, College of Natural Sciences, Kyungnam University, Masan, Korea, and ²Lab. of Electron Microscope, Chungang University, Seoul, Korea

(Received October 30, 1998; revised December 4, 1998)

ABSTRACT

The present study was designed in order to observe relationship between the endoplasmic reticulum and the Golgi complex during spermiogenesis of the long-fingered bat (*Miniopterus schreibersi fuliginosus*). The testes were obtained from adult bats and treated with the prolonged osmification or fixed with ferrocyanide reduced osmium.

In the Golgi phase, The Golgi complex shows an oval shape, and was composed of a cortex and a medullar enclosing acrosome. The Golgi vacuoles with electron-dense granules of crescent shape were fused with each other. The smooth endoplasmic reticulum was scattered in all the area of the cytoplasm. In the cap phase, The Golgi complex was crescent in shape, and faced to a nucleus. Large and small vesicles were fused with each other, and then fused with a acrosomal vacuole. The rough endoplasmic reticulum was close to the large Golgi vacuole. In the acrosome phase, The Golgi complex was moved to behind of the acrosome face. Small vesicles were fused with an acrosome, and cisternae of the trans-face of Golgi complex was connected with an acrosome in the early acrosome phase. The smooth endoplasmic reticulum was distributed in the cytoplasm. The annulate lamellar was originated from a radial body-annulate lammellae complex. In the maturation phase, The Golgi complex with dilated cistrern appeared in the cytoplasm, and also, annulate lamellar was observed in the cytoplasm. The connection of the annulate lamellar with the cistern of radial body suggests that an annulate lamellar seems to be closely

related to radial body.

The smooth endoplasmic reticulum was scattered in the cytoplasm in the early Golgi phase, but annulate lamellar-radial body complex which might be a residual and disappearing form of the smooth endoplasmic reticulum appeared in the acrosome phase. The Golgi complex steadily remained in the late maturation phase when the endoplasmic reticulum began to disappear from the cytoplasm: the Golgi complex was still occurred after acrosome formation. The observations obtained in the present study, which was characterized by the presence of the Golgi complex in the late maturation phase, suggests that the Golgi complex may play an important role also even after the acrosome formation.

Key words : Sperm, Golgi complex, Endoplasmic reticulum, Bat, Spermiogenesis

서 론

골지복합체는 다기능성 세포내 소기관으로서 대개 4에서 8장의 소포를 가지며, 작은 소포들에 의해 둘러싸인 직경 70 nm 정도의 소기관(Yamashina, 1995)으로서 세포에 따라 그 위치 및 방향성이 다르다(Lucocq *et al.*, 1985). 소포체(endoplasmic reticulum)는 Porter 등(1945)에 의해서 배양된 섬유모세포를 전자현미경으로 관찰하는 과정에서, 세포질내에 그물모양으로 널리 분포된 구조물을 발견함으로써 알게 된 세포내 소기관이다.

한편, 정자변태(spermiogenesis)는 정자세포의 형태 변화가 많이 일어나는 과정이다. 정자변태과정중의 정자세포내 세포내 소기관에 관한 연구로는 골지복합체의 형태와 정자형성에 영향을 미치는 형태에 관한 연구(Burgos *et al.*, 1986; Hermo *et al.*, 1980; Susi, 1971; Thorne-Tjomsland *et al.*, 1988, Son *et al.*, 1997b)를 비롯하여 생화학적인 연구(Chang *et al.*, 1974; Clermont *et al.*, 1981; Seiguer *et al.*, 1972, Tang *et al.*, 1982)가 보고되어 있다. 소포체에 관한 연구로는 형태학적인 연구(Clermont *et al.*, 1978)를 비롯하여 세르톨리세포의 소포체(Clermont *et al.*, 1980; Xia *et al.*, 1986), 및 정자변태기 동안의 소포체의 구조적인 변화(Nakamoto *et al.*, 1989) 등이 보고 되어있다. 이상과 같이 세포내에서의 물질의 생성과 분비기능에 있

어서 골지복합체와 소포체의 역할은 중요하며, 생식세포 분화과정에 있어서 특히 정자변태과정에서 매우 중요한 역할을 수행할 것으로 생각된다.

한편, 특이한 발생양식을 가진 박쥐류의 정자에 관한 연구논문을 보면 정자의 미세구조(Fawcett *et al.*, 1965)와 부정소와 정소의 주기성(Uchida *et al.*, 1974; Oh, 1977), 수정(Mori *et al.*, 1981) 및 정자변태(Oh *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1993; Son *et al.*, 1995a; Son *et al.*, 1995b; Son *et al.*, 1997a), 정자변태기 동안 정자세포에서의 세포내 소기관의 상관성에 관한 단편적인 연구만이 보고되고 있다(Hermo *et al.*, 1979).

소포체와 골지복합체의 각 소포 사이의 구조적 상관성(Clermont *et al.*, 1995)이 검토되었고, 정자세포에서 이들 두 세포내 소기관의 상관성에 관하여 형태학적으로(Hermo *et al.*, 1979) 관찰 되었다. 본 연구는 동면성 박쥐류의 정자변태 전 과정에 걸쳐 소포체와 골지복합체의 형태적 변화와 그 연관성에 관하여 규명하고자 시도되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구의 재료로서는 경상남도 통영시 도산면 관덕리에서 1995년 9월 3일 채집한 긴날개박쥐(long-fingered bat, *Miniopterus schreibersi fuliginosus* Hodgson) 성체 10개체를 사용하였다.

2. 조직관찰 방법

조직분화단계를 알아보기 위하여 실험동물은 ether로 마취 후 정소만 적출하여, Potassium ferrocyanide-Osmium tetroxide법 (Rambourg *et al.*, 1979)과 Friend 등 (1965)의 방법을 변용 하여 장시간 OsO₄로 고정하였고, Ur-Pb-Cu에 의한 소포체의 염색법 (Clermont *et al.*, 1978)으로 염색하였다.

특히 세포내의 소포체와 골지체를 잘 관찰하기 위하여 potassium ferrocyanide를 사용하여 조직을 블록 염색하는 방법을 시행하였는데, 0.1M cacodylate buffer로 희석한 2.5%-glutaraldehyde로 전고정을 3시간 시행한 후, 10분씩 3회 0.1M cacodylate buffer로 수세를 하였다. 수세가 끝난 조직은 2% OsO₄와 3% potassium ferrocyanide가 1:1로 혼합된 고정액에 2시간 후고정을 하였으며, 고정이 끝난 조직은 알콜농도 상승순으로 탈수를 하였다. 탈수가 끝난 조직은 propylene oxide로 치환 후 Epon (Polyscience)으로 포매하였다.

한편, 골지체의 *cis*-영역을 특이하게 염색하기 위하여 osmium impregnation을 시행하였다. 2% OsO₄ 수용액으로 2시간 실온에서 고정을 하였으며, 그 후 2% OsO₄으로 42°C에서 10시간 고정을 하였는데 이때, 고정액을 계속적으로 교환해 주었다. 그 이후 2% OsO₄ 고정을 20시간동안 고정액을 교환해주면서 추가로 고정을 하였으며, 최종적으로 2% OsO₄에 14시간 침적시켜 두었다. 고정이 끝난 조직은 알콜농도 상승순으로 탈수를 하였으며, 탈수가 끝난 조직은 propylene oxide로 치환 후 Epon (Polyscience)으로 포매하였다.

이상의 방법을 거친 각각의 조직들은 ultramicrotome (Sorvall, MT-6000)으로 60-90 nm로 연속절편을 만든 후, copper grid에 얹은 후, uranyl acetate와 lead nitrate로 이중염색한 후 전자현미경 (Hitachi, H-600)으로 75 Kv에서 관찰하였다.

결 과

본 연구에서는 정자변태과정을 골지기 (Golgi Phase), 두모기 (Cap Phase), 첨체기 (Acrosome

Phase), 성숙기 (Maturation Phase) 등의 4기로 구분 (Leblond and Clermont, 1952)하였으며, 골지기는 전, 중, 후기로 나누고, 두모기, 첨체기와 성숙기는 각각 전, 후기로 세분하여, 전체를 9개의 단계로 나누었다. 그리고 각 단계에서 정자세포의 핵과 세포질내 세포 소기관중에서 특히, 골지복합체와 소포체의 형태적 변화와 이동상황을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 골지기 (Golgi Phase)

전기골지단계에 있어서 핵질은 농축되지 않았으며, 핵의 상단면에 위치한 골지복합체는 원형의 형태를 취하고 있었다. 골지복합체의 모양은 medullar와 cortex를 형성하고 있으며, 핵상단면에 다수의 소포를 포함하고 있는 medullar (Fig. 1), 그리고 세포질내에는 다수의 활면소포체를 비롯하여 미토콘드리아가 세포질내에 전역에 풍부하게 산재되어 있었다 (Fig. 1). 특히, 조면소포체의 수조가 4점으로 나란하게 배열되어 있는 것도 볼 수가 있었다 (Fig. 1).

후기골지단계에는 여러 개의 골지복합체들이 medullar와 cortex를 형성하였고, medullar내에는 크고 작은 소포들이 첨체와 인접하여 나타나거나 서로 결합되는 상태를 보여주었다 (Fig. 2, arrowhead). 골지복합체들은 핵을 향해 배열되어 있었고, 활면소포체가 첨체소포와 인접하여 나타나는 것을 볼 수가 있었다 (Fig. 2).

2. 두모기 (Cap Phase)

골지복합체 주위에 층상구조를 이루는 조면소포체가 관찰되었고, 소포체와 미토콘드리아가 세포질내에 고르게 산재하여 있었다 (Fig. 3). 핵의 후반부에 중심체로부터 형성된 편모가 세포질 밖으로 향하고 있었다 (Fig. 3).

3. 첨체기 (Acrosomal Phase)

전기첨체단계에서는 골지복합체가 핵의 상단면에서 다소 핵의 후반부로 이동하였고, coated vesicle들이 여전히 첨체에 첨가되는 것이 관찰되어졌다 (Fig. 4). 골지복합체의 trans 영역의 수조가 첨체와 직접 결합되어 있는 것도 관찰되어졌다 (Fig. 4). 한

편, 소포체는 세포질 전역에 산재되어서 존재하였으며, annulate lamellar를 형성하고 있었으며, multi vesicular body는 핵의 후방부로 이동하여 나타났다(Fig. 4).

후기침체단계에는 침체내 물질이 완전히 확산되어 균일한 모양을 나타내었다. medullar내에 많은 coated vesicle들이 여전히 발달해 있었으며, 이 coated vesicle들이 침체에 첨가되는 것을 볼 수가 있었다(Fig. 5, arrow). 한편, annulate lamellar-radial body complex가 핵의 상단부(Fig. 5)부터 핵의 하단부로 이동되어졌다(Fig. 6). 특히, annulate lamellar와 radial body complex를 확대한 그림으로 세포질내에 산재되어 있는 활면소포체들이 하나의 중심을 형성하여 중심부의 막들이 뭉쳐진 것을 볼 수가 있었으며, annulate lamellar를 이루는 소포체의 막이 radial body의 막들과 연결되어 있는 것을 볼 수가 있었다(Fig. 7).

4. 성숙기 (Maturation Phase)

전기성숙단계에는 핵륜이 핵의 2/3부분까지 이동하여, manchette(Fig. 8, arrow)에 의해서 핵의 신장이 이루어졌고, 세포질내 소기관들이 핵의 후방부로 이동되어졌으며 특히 annulate lamellar-radial body complex가 핵의 후방부에 위치하고 있었다(Fig. 8). 방향성을 잃은 골지복합체가 장시간의 오스뎀처리로 cis-수조가 까맣게 침적되어있는 것을 볼 수가 있었다(Fig. 8).

후기성숙단계에는 핵륜이 완전히 핵 아래로 이동하였으며, 핵질은 더욱 농축되었으며, 세포질내에 방향성을 잃은 골지복합체가 수조가 확장된 채로 정자세포의 잔여 세포질에서 보이던 그 주위에 annulate lamellar가 관찰되었으며, 세포질내에는 아직 정자미부에 배열되지 않은 미토콘드리아들이 산재되어 존재하였으며 세포질내에 여전히 multi vesicular body가 존재하고 있었다(Fig. 9).

고 찰

정자변태 과정은 생물종에 따라서 미세구조적 차이점과 세포생물학적인 차이점들이 있으므로 각 기

를 다시 세분하였는데, 한국산 긴날개박쥐는 10기로 나누었다(Son *et al.*, 1995a).

각종 세포의 물질생성과 분비와 관련하여 Clermont 등(1994, 1995)은 골지복합체와 소포체의 발달과 구조적으로 연관성이 있는 *trans*-Golgi network을 기반으로 하여 세르톨리세포, 수출세포의 상피세포, 척수신경절세포 등을 제 1유형이라 하였는데 이들 세포에서는 분비전과립이나 분비과립이 골지체와 연관이 없는 것이 특징이다. 이들 세포에는 용해소체가 발달해 있으며, 골지복합체는 이들 용해소체 형성에 기여하는 것으로 보여진다고 하였다. 정자세포와 부정소의 상피세포, 호중구성세포, Prolactin세포 등을 제 2유형세포라고 하였는데 분비전과립 또는 분비과립이 골지체의 *trans*의 인접영역 또는 *Trans Golgi network*에 밀접해 나타나며, 브르너선의 점액세포, 췌선세포, 형질세포, 심근세포 등을 제 3유형의 세포로 이들은 작은 크기의 분비과립이 나타난다. 정낭선의 분비세포, 유선의 선포세포 등을 제 4유형으로 나누었으며, *cis* Golgi Network을 포함하여 골지체의 모든 소조에서 물질의 축적이 일어나는 세포이며, 이들 세포들은 동등한 크기의 과립에 비해서 분비소포가 유형 3보다 큰 것이 특징이다. 골지체의 분비양상이 유형 2에 속하는 정자의 *trans*-Golgi network의 특징은 분비과립과 소포들이 골지복합체의 최외곽 수조나 *trans*-Golgi network에 연관되어 나타난다.

본 실험의 결과로 골지복합체는 전기골지단계(Fig. 1)부터 발달하기 시작하여 성숙기단계(Fig. 9)까지 수조의 최외곽 *cis*-영역이 장시간의 오스뎀치리에 의해서 까맣게 염색되는 것을 볼 수가 있었으며, 이는 침체 형성 후 곧바로 골지복합체의 역할이 끝나는 것이 아니라 정자의 두부가 완전히 완성된 후에도 그 기능이 유지되고 있음을 보여주는 것으로 보아 초기에는 침체형성에 주로 관여하지만 침체가 형성된 후에는 소포체와 더불어 중편부의 형성과 관련된 것으로 생각되어지며, 이는 Clermont (1978)의 견해와도 일치하는 것이다.

이상의 결과는 Chang 등(1974)에 의해 중국산 햄스터의 정자변태기동안 thiamine pyrophosphatase와 inosine diphosphatase, acid phosphatase를 사

용한 세포화학적 방법을 이용한 실험방법에서 정자변태 초기의 정자세포의 골지복합체에서는 thiamine pyrophosphatase와 inosine diphosphatase, acid phosphatase의 성분이 발견되지만 골지복합체가 후반부로 이동한 후에는 이들 효소에 대한 반응이 골지복합체와 침체에서 검출되지 않았다고 하였는데 이는 골지복합체가 침체형성에 관여하지만 핵이 후반부로 이동한 다음에는 침체형성과는 무관하다는 것을 시사하고 있다.

또한 Fig. 7에서 나타난 특이한 구조는 annulate lamellae-radial body complex의 구조의 확대그림으로서 이 구조물은 세포질내의 활면소포체들이 중심으로 모여서 활면소포체의 막들이 중심에서 융합되어 있는 것을 보여주며, 이것을 구성하고 있는 활면소포체들의 막이 annulate lamellae를 형성하고 있는 막들과 직접 연결되어 있는 것을 보여준다. 이 구조물은 소포체막의 재흡수시 나타나는 특이형태로서 radial body 또는 "formation en rosettes"가 포유류에서 나타나는 특징 (Clermont *et al.*, 1978)이라고 하였고, Xia 등(1986)은 수탉의 정자변태동안 소포체의 변화를 관찰하여, alveolar body-annulate lamellae complex라고 기술하였는데 이들은 모두 똑같은 구조물로서 저자에 따라 다르게 명명되어진 것으로 생각되어지며, 이 구조물이 포유류 이외의 동물군에서도 나타남을 알 수가 있었다.

보통 annulate lamellae는 세포의 활성이 왕성한 세포에서 주로 나타나서 물질의 형성과 밀접한 관련이 있다고 하였으나 (Fawcett, 1986) 이 구조물이 소포체가 소멸시 나타나는 구조물인 radial body의 소조들과 연결되어있는 것을 특이한 현상이라 할 수가 있으며, 이들 구조물에 대한 연구는 Clermont (1978)에 의한 단편적인 연구만이 이루어져 있으며, 향후 세포생물학적인 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

또한 소포체의 소멸에 관하여 Nakamoto 등 (1989)은 OsO₄-DMSO-OsO₄ 방법을 사용하여 생쥐 정자세포의 소포체의 변화에 관한 주사전자현미경으로 관찰한 실험에서, 정자변태 초기단계에는 단일 두개의 소포체가 연결되고 문합되며 세포질내에서 3차원적인 연결구조와 세포막 밑에 2차원적인 연결구

조를 형성하지만, 정자변태과정이 진행되어가면서 소포체들이 농축되어 얇은 소포체로 구성된 사구체 모양의 구조가 주위의 소포체와 연결되며, 이 구조물이 다른 저자들에 의해서 radial body로 불리워진 것으로서, 세포질로부터 이동되어온것이다.

본 실험에서는 radial body가 침체기부터 나타나기 시작하여 (Fig 4) 성숙기 (Fig 8)까지 관찰이 되었는데, 이것은 흰쥐에서는 정자변태 7-9단계사이에 annulate lamellae-radial body complex가 나타나서 침체형성기를 통하여 발달한 후 11단계-14단계에 가장 발달한다고 하였는데 (Clermont *et al.*, 1978), 박쥐에서는 소포체의 기능이 침체기부터 저하되기 시작하여 성숙기까지 계속 소멸되어 가는 것을 보여 주었다.

소포체는 정자변태과정동안 구조적 변화를 겪으면서 정자변태동안 침체의 형성 뿐만이 아니라 중편부의 형성에도 기여하는 것으로 보고하였고, 골지복합체에도 관련한다고 하였는데 (Clermont *et al.*, 1978), 본 연구에서도 두모기에 소포체의 소멸이 시작되지만, 그 이후에도 소포체가 세포질내에서 관찰되고 골지복합체도 관찰되는 것으로 보아, 소포체와 골지복합체는 침체형성과정에서 많은 양의 물질대사와 밀접한 연관이 있으며, 중편부, 미부 세포막의 형성등에도 관련이 있을 것으로 추정된다.

결 론

본 연구에서는 한국산 긴날개박쥐 (long-fingered bat, *Miniopterus schreibersi fuliginosus*)의 정자변태기 동안 골지복합체와 소포체의 전자현미경적 구조 및 상관관계를 관찰하기 위하여 각각의 정소조직들을 potassium ferrocyanide-osmium tetroxide를 사용하는 방법과 OsO₄로 장시간 고정하는 방법으로 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

골지기에 있어서, 핵의 상단면에 위치한 골지복합체는 원형의 형태를 취하고 있었으며, medullar와 cortex를 형성하여 medullar내에 다수의 소포를 포함하고 있고, 전자밀도가 다른 침체과립을 가진 크고 작은 소포들이 침체와 인접하여 나타났으며, 서로 결합하여 핵막과 결합되며, 다수의 활면소포체가

세포질내에 산재되어 있었다.

두모기에서는 골지복합체는 반원형의 형태로 핵을 향하고 있었으며, 크고 작은 소포들이 서로 융합되어 침체에 첨가되는 모습을 보여주었다.

침체기에서는 골지복합체가 침체소포의 상단면으로부터 핵의 후반부로 이동하였으며, 침체기 초기에는 coated vesicle들이 침체에 첨가되었고, 골지복합체의 최외곽소조가 침체에 직접 결합되었다. 활면소포체는 세포질 전체에 산재되어 있으며, annulate lamellar가 radial body-annulate lamellae complex를 형성하고 있었다.

성숙기에서는 세포질내에 방향성을 잃은 골지복합체가 확장된 소조가 잔여 세포질에서 관찰되었고 그 주위에 annulate lamellar가 잔존하여 있었다. 소포체는 골지기에는 세포질내에 산재되어 존재하고 있었으나, 소포체가 소멸시 나타나는 특수한 구조인 annulate lamella-radial body complex가 침체기부터 관찰되므로서, 침체기부터 소포체가 계속 소멸되고 오고있음을 시사하고 있다.

소포체막이 소멸될 때 나타나는 radial body의 소조가 annulate lamella의 소조와 직접 연결되어 있는 사실은 이 두 구조물이 서로 밀접하게 연관되어 있음을 시사해 주는 증거이다. 소포체가 소멸되기 시작하는 성숙기에도 골지복합체는 핵 후반부의 세포질내에 존재하고 있었으며, 이것은 소포체가 성숙기 이후에도 골지체의 기능과 관련이 있음을 시사해 주고 있다.

참 고 문 헌

Burgos MH, Gutiérrez LS, 1986. The Golgi complex of the early spermatid in guinea pig. *Anat. Rec.* 216, 139-145.

Chang JP, Yokoyama M, Brinkley BR, Mayanara H, 1974. Electron Microscopic cytochemical study of phosphatases during spermiogenesis in chinese hamster. *Biol. Reprod.* 11, 601-610

Clermont Y, Rambourg A, Hermo L, 1994. Connections between the various elements of the cis- and mid-compartments of the Golgi apparatus of early rat spermatids. *Anat. Rec.* 240,

469-480

Clermont Y, Rambourg A, Hermo L, 1995. Trans-Golgi network (TGN) of different cell types: Three-dimensional structural characteristics and variability. *Anat. Rec.* 242, 289-301

Clermont Y, McCoshen J, Hermo L, 1980. Evolution of the endoplasmic reticulum in the Sertoli cell cytoplasm encapsulating the heads of late spermatids in the rat. *Anat. Rec.* 196, 83-99

Clermont Y, Lalli M, Rambourg A, 1981. Ultrastructural localization of nicotinamide adenine dinucleotide phosphatase (NADPase), thiamine pyrophosphatase (TPPase), and cytidine monophosphatase (CMPase) in the Golgi apparatus of early spermatids of the rat. *Anat. Rec.* 201, 613-622

Clermont Y, Rambourg A, 1978. Evolution of the endoplasmic reticulum during rat spermiogenesis. *Am. J. Anat.* 151, 191-212

Fawcett DW, 1986. A Textbook of HISTOLOGY. W.B. SAUNDERS COMPANY, Eleventh Edition p.20

Fawcett DW, Ito S, 1965. The fine structure of bat spermatozoa. *Am. J. Anat.* 116, 567-610.

Friend DS, Murray MJ, 1965. Osmium impregnation of the Golgi apparatus. *Am. J. Anat.* 117, 135-150

Hermo L, Rambourg A, Clermont Y, 1980. Three-dimensional architecture of the cortical region of the Golgi apparatus in rat spermatids. *Am. J. Anat.* 157, 357-373

Hermo L, Clermont Y, Rambourg A, 1979. Endoplasmic reticulum-Golgi apparatus relationships in the rat spermatid. *Anat. Rec.* 193, 243-256

Leblond CP, Clermont Y, 1952. Spermiogenesis of rat, mouse, hamster and guinea pig as revealed by the "periodic acid-fuchsin sulfurous acid" technique. *Amer. J. Anat.* 90, 167-215

Lee JH, Choi BJ, Son SW, 1993. Spermiogenesis in the Korean greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum korai*. *Korean J. Electron. Microscopy* 22(2), 97-117 (English abstract in Korean)

- Lucocq J, Montesana R, 1985. Nonrandom position of Golgi apparatus in pancreatic B cells. *Anat. Rec.* 213, 182-186
- Möri T, Uchida TA, 1981. Ultrastructural observations of fertilization in the Japanese long-fingered bat, *Miniopterus schreibersii fuliginosus*. *J. Reprod. Fert.* 63, 231-235
- Nakamoto T, Sakai Y, 1989. Changes in endoplasmic reticulum during spermiogenesis in the mouse. *Cell Tissue Res.* 257, 279-284
- Oh YK, 1977. Periodic changes of the testis and ductus epididymis in Korean hibernating bats. *Korean. J. Zool.* 2, 67-76
- Oh YK, Möri T, Uchida TA, 1985. Spermiogenesis in the Japanese Greater Horseshoe Bat, *Rhinolophus ferrumequinum nippon*. *Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.* 29(4), 203-209
- Porter KR, Claude A, Fullam EF, 1945. A study of tissue culture cells by electron microscopy: Methods and preliminary observations. *J. Exp. Med.* 81
- Rambourg A, Clermont Y, Hermo L, 1979. Three-dimensional architecture of the Golgi apparatus in Sertoli cells of the rat. *Am. J. Anat.* 154, 455-476
- Seiguer AC, Castro AE, 1972. Electron microscopic demonstration of arylsulfatase activity during acrosome formation in the rat. *Biol. Reprod.* 7, 31-42
- Son SW, Lee JH, Choi BJ, Shin HJ, 1995a. Spermiogenesis in the Korean long-fingered bat, *Miniopterus schreibersii fuliginosus*. *Korean J. Zool.* 38, 405-416 (English abstract in Korean)
- Son SW, Lee JH, Shin HJ, Choi BJ, 1995b. Spermiogenesis in the large-footed bat, *Myotis macrodactylus*. *Korean J. Electron Microscopy.* 25, 96-110 (English abstract in Korean)
- Son SW, Lee JH, Cheon HM, 1997a. Spermiogenesis in the Korean Daubenton's Bat, *Myotis daubentonii ussuriensis*. *Dev. Reprod.* 1, 9-24 (English abstract in Korean)
- Son SW, Lee JH, Choi BJ, 1997b. Morphological changes of Golgi apparatus spermiogenesis in the long-fingered bat *Miniopterus schreibersii fuliginosus*, 1. *Dev. Reprod.* 1(2), 133-139 (English abstract in Korean)
- Susi FR, Leblond CP, Clermont Y, 1971. Changes in the Golgi apparatus during spermiogenesis in the rat. *Am. J. Anat.* 130, 251-278
- Tang XM, Lalli MF, Clermont Y, 1982. A cytochemical study of the Golgi apparatus of the spermatid during spermiogenesis in the rat. *Am. J. Anat.* 163, 283-294
- Thorne-Tjomsland G, Clermont Y, Hermo L, 1988. Contribution of the Golgi apparatus components to the formation of the acrosomic system and chromatoid body in rat spermatids. *Anat. Rec.* 221, 591-598
- Uchida TA, Möri T, 1974. Electron microscope analysis of the mechanism of fertilization in Chiroptera. I. Acrosomal reaction and consequence to death of the sperm in the Japanese long fingered bat, *Miniopterus schreibersii fuliginosus*. *Sci. Bull. Fac. Agr, Kyushu Univ.* 3, 177-184
- Xia L, Clermont Y, Lalli M, Buckland RB, 1986. Evolution of the endoplasmic reticulum during spermiogenesis of the rooster: an electron microscopic study. *Am. J. Anat.* 177, 301-312
- Yamashina S, 1995. Dynamic structure and function of Golgi apparatus in the salivary acinar cell. *J. Electron Microsc.* 44, 124-134

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Electron Micrograph of a Spermatid in the Early Golgi Phase. Several Golgi complex components make a circular form and aggregated to form a medulla. Smooth endoplasmic reticulum and mitochondria were scattered in the cytoplasm. M, mitochondria; N, nucleus; RER, rough endoplasmic reticulum; SER, smooth endoplasmic reticulum Bar=1 μ m.
- Fig. 2.** Electron Micrograph of a Spermatid in the Late Golgi Phase. Note the presence of small and large Golgi vesicles near the apex of nucleus, and hemispheric Golgi complexes forming a medulla. Although the large acrosomal vesicles were not fused with nuclear membrane, but small vesicles fused with each other. The endoplasmic reticulum was scattered in the cytoplasm. AG, acrosomal granule; AV, acrosomal vesicle; G, Golgi complex; N, nucleus; SER, smooth endoplasmic reticulum. Bar=1 μ m.
- Fig. 3.** Electron Micrograph of a Spermatid in the Late Cap Phase. Golgi complex was formed in a convex shape. Smooth endoplasmic reticulum was scattered in the cytoplasm. Flagellum appeared. C, centriole; F, flagellum; G, Golgi complex; N, nucleus; RER, rough endoplasmic reticulum; SER, smooth endoplasmic reticulum. Bar=1 μ m.
- Fig. 4.** Electron Micrographs of a Spermatid in the Early Acrosome Phase. Annulate lamella-radial body complex appeared. Annulate lamella-radial body complex was migrated from the nuclear face to the caudal cytoplasm. Note the *trans*-cistern of Golgi complex was connected with acrosomal vesicle. MV, multivesicular body; N, nucleus. Bar=0.5 μ m.
- Fig. 5.** Electron Micrograph of a Spermatid in the Late Cap Phase. The Golgi complex was formed in a convex shape, and annulate lamella-radial body complex appeared in cytoplasm. AR, annulate lamellar-radial body complex; G, Golgi complex; M, mitochondria; N, nucleus; SER, smooth endoplasmic reticulum. Bar=1 μ m.
- Fig. 6.** Electron Micrograph of a Spermatid in the Late Cap Phase. Annulate lamella-radial body complex was migrated from the nuclear face to the caudal cytoplasm. AR, annulate lamellar-radial body complex; M, mitochondria; N, nucleus. Bar=1 μ m.
- Fig. 7.** Electron Micrograph of a Cistern of Radial Body. The cistern of radial body was connected with a cistern of annulate lamella. AL, annulate lamellae; M, mitochondria; R, radial body SER, smooth endoplasmic reticulum. Bar=1 μ m.
- Fig. 8.** Electron Micrograph of a Spermatid in the Early Maturation Phase. Annulate lamella-radial body complex appeared in the caudal cytoplasm. *Cis*-cistern of Golgi complex was osmificated with OsO₄. AG, acrosomal granule; AR, annulate lamellar-radial body complex; G, Golgi complex; N, nucleus. Bar=1 μ m.
- Fig. 9.** Electron Micrograph of a Spermatid in the Late Maturation Phase. Annulate lamella-radial body complex is appeared in caudal cytoplasm. Golgi complex with a dilated cistern appeared in the residual cytoplasm. AR, annulate lamellar-radial body complex; G, Golgi complex; N, nucleus. Bar=1 μ m.





