

다람쥐(*Tamias sibiricus*)의 정자변태

정 태 동, 이 정 훈*, 김 상 식¹
경남대학교 자연과학대학 생명화학부, ¹부산대학교 대학병원

Spermiogenesis in the Korean Squirrel, *Tamias sibiricus*

Tae-Dong Jung, Jung-Hun Lee* and Sang-Sik Kim¹

Division of Biology and chemistry, College of Natural Sciences, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea
¹Electron Microscopy Facility, Department of Ophthalmology, Pusan National University Hospital, 10, Ami-Dong 1, Seo-Gu, Busan 602-739, Korea

(Received June 14, 2004; Revised July 7, 2004; Accepted July 7, 2004)

ABSTRACT

Spermiogenesis in the Korean squirrel, *Tamias sibiricus*, was investigated by transmission electron microscopy. Spermiogenesis was divided into Golgi, cap, acrosome, maturation and spermiation phases based on the characteristics of acrosomal changes and nuclear shape. Beside, the Golgi, cap and acrosomal steps were subdivided into three phases of early, middle and late phase respectively, the maturation step was divided into two phases of early and late phase, and spermiation step has only one phase. Thus, the spermiogenesis of *T. sibiricus* was divided into a total of twelve phases. In Golgi phase (steps 1-3), a well developed Golgi complex was located close to the vesicles, the acrosomal vesicle fixed to a recess of nuclear membrane at step 3. During cap phase (steps 4-6), the acrosomal vesicle spread over the nuclear surface to cover a third of the nucleus, and the acrosomal granule was not yet flattened. At acrosomal phase (steps 7-9), the nucleus and acrosome were elongated but nucleoplasm was not condensed. During maturation phase (steps 10-11), the nucleoplasm was more condensed, and the mitochondria completely arranged the center of axoneme. The spatulate sperm head was completely formed at spermiation phase (step 12).

Key words : Spermiogenesis, *Tamias sibiricus*

서 론

세정관 정상피에서 정자형성과정(spermatogenesis)

은 정모세포발생 (spermatocytogenesis)과 정자변태 (spermiogenesis)의 연속된 과정으로서, 배수체 (2n)의 정원세포가 반수체 (n)의 정자로 분화되는 고도의 발달단계를 의미한다. 이 과정동안 정자세포의 부피는

본 연구는 2003학년도 경남대학교 학술논문공개 연구비 지원에 이루어졌음.

본 논문의 요지는 제35차 한국전자현미경학회 춘계학술대회에서 발표되었음.

* Correspondence should be addressed to Dr. Jung-Hun Lee, Division of Biology and chemistry, College of Natural Sciences, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea. Ph.: (055) 249-2243, FAX: (055) 244-6504, E-mail: jhlee@kyungnam.ac.kr

줄어들고 세포의 형태는 구형의 정자세포에서 신장된 정자로 분화가 일어난다 (Franca et al., 1999).

정자세포의 분화과정은 Leblond & Clermont (1952)가 광학적으로 각 단계를 Golgi, cap, acrosome 및 maturation phase으로 구분하였고, 이들 정자세포의 핵과 세포내 소기관들의 변화는 규칙적인 방향성을 보이며, 동일종내의 각 개체들은 세포내 소기관들의 발달이 비슷하게 나타난다. 이 시기 동안에 정자세포들의 핵과 세포질소기관들은 많은 구조적 변형을 겪게 되고 (Rambourg & Clermont, 1978), 이러한 다양한 발달단계는 종 간의 특이성을 나타낸다 (Segatelli et al., 2000).

청설모과 (Sciuridae)의 생식과 관련된 연구로는 연령과 계절에 따른 정소변화와 상관성 (Kirkpatrick, 1955), 정소와 부정소의 계절적 변화 (Pudney, 1976), 번식주기 (Dubock, 1979), 정자형성과 성적퇴화 (Tait & Johnson, 1982), Sertoli cell의 형태변화 (Vogl et al., 1983), 성적성숙과 체중의 영향 (Bushberg & Holmes 1985), Sertoli cell과 Germ cell의 미세구조 (Vogl et al., 1985), 동면이 정소의 성장과 정자형성에서 미치는 영향 (Barnes et al., 1986), 번식주기 동안 Sertoli cell과 Leydig cell의 구조변화 (Pudney, 1986), 정자형성 (Patil & Saidapur, 1991) 및 세정관 주기 (Foreman, 1997) 등이 보고되어져 있다.

다람쥐 (*Tamias sibiricus*)에 대한 연구는 부정소의 조직 및 조직화학적연구 (Ryu et al., 1989)를 제외하고는 생식과 관련한 연구는 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구는 한국에 서식하는 다람쥐의 정자변태를 알아보기 위하여 시도하였다.

재료 및 방법

본 연구 재료는 강원도 고성군 일대에서 서식하고 있는 다람쥐 성체 수컷들로서, 정자형성시기가 활발한 5월에 채집된 다람쥐 2개체를 ethyl ether로 마취시킨 후 각 개체의 정소 조직을 적출하여 3% Glutaraldehyde (4°C, pH 7.4, Millong's buffer)로 2시간 전고정한 후 동일한 완충액 (pH 7.4, Millong's buffer)으로 3회 세척한 뒤 1.33% OsO₄ (pH 7.4, Millong's buffer) 2시간 후고정 하였다. 고정이 끝난 조직편 들은 동일한

완충액으로 세척 한 다음 acetone 농도 상승 순 (60~100%)으로 탈수하였고, 탈수가 끝난 조직은 Epon 812 혼합액으로 포매하였다. 포매가 끝난 조직편을 Ultramicrotome (MT-6000, Sorvall, Dupont)을 사용하여 이들 조직편을 60~90 nm의 두께로 초박절편을 제작한 다음 uranyl acetate와 lead citrate용액으로 이중 전자염색 후 투과전자현미경 (TEM, H-600, Hitachi)으로 관찰하였다.

결 과

정자변태 과정은 핵의 형태변화와 핵질의 변화, 골지체와 침체소포의 위치, 침체과립의 생성과 변화, 만세트의 출현과 핵질의 변화 및 핵륜의 형성과 이동, 미토콘드리아의 배열, 정자꼬리의 형성시기 등을 기초로 하여 골지·두모·침체기는 각각 전·중·후기, 성숙기는 전·후기, 이탈기는 1기로 세분하여 정자변태과정의 전 단계를 12기 (phases)로 구분하였다 (Figs. 1-14).

1. 골지기 (Golgi phase)

1) 골지전기

초기 골지단계의 동근 정자세포 핵은 구형의 형태를 취하고 있으며, 세포질 내의 골지체는 핵의 상단에 위치하고 있었다. 미토콘드리아를 비롯한 세포내 소기관들이 세포질 전역에 골고루 분산되어져 있었다 (Fig. 1).

2) 골지중기

골지체로부터 생성된 작은 소포들이 서로 융합하여 침체소포 (acrosomal vesicle)를 형성하고 있었으나 핵막과 융합하지는 않았다. 세포질 내에는 골지체를 비롯한 세포내 소기관들이 고르게 분포하고 있었다 (Fig. 2).

3) 골지후기

크고 작은 소낭들이 서로 융합하여 큰 침체소포를 형성하였고, 드디어 침체소포가 핵막과 융합하였다. 침체소포 주위에는 여전히 골지체를 비롯하여 크고 작은 소낭들이 관찰되었다. 한편으로, 유염색질체가 핵막에 인접하여 나타났으며, 미토콘드리아를 포함한 세포

내 소기관들은 세포질 내에 고르게 분산되어져 있었다(Fig. 3).

2. 두모기 (cap phase)

1) 두모전기

침체세포는 핵막과 더욱 융합하여 핵의 표면 위에 넓게 퍼지며, 침체세포 내의 침체과립은 응축되기 시작하였다. 골지체는 침체세포와 가까이 위치하고 있었다(Fig. 4).

2) 두모중기

침체세포내의 침체과립은 계속적으로 응축하고 있었으며, 여전히 골지체는 침체세포 가까이 인접되어 있었다. 침체세포 가까이 미토콘드리아를 비롯한 세포내 소기관들이 분포하고 있었다(Fig. 5).

3) 두모후기

핵은 여전히 구형의 형태를 취하고 있었으며, 침체세포내의 응축된 침체과립들은 부드러운 과립상으로 균질하게 되어졌으며, 침체세포는 핵의 1/3 정도를 싸고 있었다. 세포질내의 미토콘드리아를 비롯한 세포내 소기관들은 핵의 후방부 쪽으로 이동되어 나타났었다(Fig. 6).

3. 침체기 (Acrosome phase)

1) 침체전기

구형의 핵은 타원형의 형태를 취하고, 침체과립들은 침체세포 전역에 골고루 균질화되어 침체를 형성하였다. 렌즈모양의 침체세포는 핵의 1/2 정도를 싸고 있었으며, 세포내 소기관들은 핵의 후방으로 이동되어 관찰된다(Fig. 7).

2) 침체중기

앞쪽으로 돌출한 침체는 핵의 2/3 이상을 싸고 있었다. 핵의 후방부 쪽으로 수많은 미세소관(microtubules)들은 만세트를 형성하여(Fig. 8, small arrows), 핵륜(Fig. 8, large arrows)에 접한 만세트의 신장으로 인하여 타원형의 핵이 신장되어 졌다. 또한 과립상의 핵질이 서서히 응축되기 시작하였고, 세포내 소기관들은 핵의 후방쪽으로 위치하고 있었다(Fig. 8).

3) 침체후기

핵과 침체는 더욱 신장되어졌으며, 과립상 핵질은 더욱 응축되어졌다. 핵륜은 기저판 가까이에 이동하였고 핵과 침체 사이에 apical body가 나타났다(Fig. 9).

4. 성숙기 (maturation phase)

1) 성숙전기

핵과 침체는 더욱더 신장되고 농축되어 졌으며, 세포질 내에 분산된 미토콘드리아들은 축사 가까이로 이동되어 나타났었다(Fig. 10).

2) 성숙후기

핵과 침체는 더욱더 세장화 되었고, 세포질 내의 미토콘드리아들은 축사를 따라 배열되어 중편부를 형성하고 있다. 특히 세포질의 체적은 현저히 감소되어졌다(Figs. 11, 12).

5. 이탈기 (spermiation phase)

세르틀리 세포(Sertoli cell)의 세포질에 박고 있던 성숙단계의 정자세포는 세르틀리 세포의 세포질로부터 빠져 나오고 있었으며, 일부의 많은 정자세포들은 세르틀리 세포로부터 이탈하여 내강으로 이동하고 있었다(Fig. 13).

고 찰

정자변태의 각 단계들은 핵의 변화, 세포소기관의 위치변화를 근거로 하여 rat(Leblond & Clermont, 1952)는 19단계, wild squirrel(Patil & Saidapur, 1991)는 18단계, Chinese hamster(Oud & Rooij, 1977)는 16단계, Mongolian gerbil(Segatelli et al., 2000)는 15단계, greater Japanese shrew mole(Mizukami et al., 2001)는 15단계, Tammar wallaby(Lin et al., 1997)는 14단계, musk shrew(Kurohmaru et al., 1994), Mole(Sanchez et al., 1995)는 13단계, 등줄쥐(Son & Lee, 1995), 대륙발쥐(Son & Lee, 1996), 흰넓적다리 붉은쥐(Lee, 1996)는 각각 10단계, European common shrew(Ploen et al., 1979)는 8단계로 나누었다.

본 연구에서는 정자세포 핵과 세포내 소기관의 특징을 토대로 하여, 정자번태의 과정을 12단계로 구분하였다.

세포내 소기관의 특징을 살펴보면, 골지체는 초기 둥근 정자세포에서 침체를 생산하는데 관여하며, 침체소포는 골지기 동안 다수의 피낭소포에서 하나의 침체소포로 융합된다. 게다가 두모기 동안에 당단백질이 포함된 소포가 핵막과 융합 한 후에 침체소포는 변형되는데, Susi et al. (1971)은 periodic acid-silver법을 이용하여 침체물질이 당단백질 성분이며, 이들 물질은 Golgi saccule, innermost saccule, coated buds, large coated vesicle 가까이에서도 반응을 보일 뿐만 아니라 head cap에서도 동일한 변화를 나타내고, acrosomic granule에서는 적은 변화를 보여 주는데, 이는 당단백질의 합성과 이동경로를 암시해주고 있음을 시사한다.

본 연구에서도 Lalli & Clermont (1981)의 견해처럼 정자세포 세포질내의 골지체와 침체는 인접되어 발달과 성장을 보여 주고 있었으며, 침체소포가 핵에 서서히 다가가면 환형의 골지체가 반구체의 오목한 양상으로 핵 쪽으로 향하고 있었다. 이는 아마도 골지체가 정자세포의 caudal pole로 이주하기 위하여 microtubule motor proteins를 사용하는 것임을 시사한다 (Moreno et al., 2000). 분화된 정자세포의 경우에서 볼 때, 침체소포에서 떨어진 골지체는 연장된 정자세포의 정자꼬리를 향해서 이동한다. 이후에 골지체는 세포질 방울 (cytoplasmic droplet)에 버려지고 사출된 성숙 정자에서는 발견되지 않는다 (Susi et al., 1971; Moreno et al., 2000).

골지체에서 유도되는 분비과립은 세포내의 lysosome와 유사하며, 자루와 같은 구조로 세포내에서 소화와 방어기작의 일반적인 기능을 수행한다. 두 기관은 골지체에서 유래되고, 각각이 일반 효소인 acid glycohydrolases, proteases, esterases, acid phosphatases, 그리고 aryl sulfatases와 비슷함에도 불구하고 침체는 다수의 구별되는 특징을 가진다 (Aida et al., 2000).

본 연구에서 골지체는 초기정자세포의 골지기과 두모기에서 두드러지게 나타나는데, 골지전기에서는 핵의 상단에 타원형으로 각 소조에서 분비된 작은 소포들이 다수 관찰되고, 골지중기에서는 초승달 형태를 취하며, 각 소조의 작은 소포들이 융합하여 큰 소포를

형성하여 핵의 인접 지역에 위치하고 있다. 골지 후기에는 골지체에서 분비된 큰 소포가 핵과 융합하고 있었다. 두모전기에서는 침체소포의 가까이에서 골지체가 관찰되고, 작은 소포를 형성하며, 두모중기에는 골지체가 침체소포의 주변부에서 관찰되었다. 한편 침체기에는 골지체가 핵의 후방에서 관찰되었으며, 성숙기 정자세포에서는 골지체가 사라졌다.

유염색질체 형성은 rat의 경우, 미토콘드리아 단계, 농축단계 그리고 성숙단계로 구분하고 있는데 (Soderstrom, 1978), 감수분열 전기동안에는 핵공에 유염색질체가 존재하는 것으로 미루어보아 핵공을 통한 물질의 이동이 핵에서 세포질로의 이동됨을 시사해 준다. 뿐만아니라 유염색질체는 미토콘드리아 가까이도 형성되며, 늦은 후사기 동안에 미토콘드리아 사이에 이들 물질들이 축적된다. 정자세포에는 유염색질체가 성숙한 형태로 나타나고, 침체기에서 사라진다 (Oud & Rooij, 1977; Segatelli et al., 2000).

본 연구에서 유염색질체는 골지기과 두모기에 핵 가까이 위치하고, 침체기에 세포내소기관의 이동이 진행됨에 따라 유염색질체는 점차 핵의 후방부 쪽으로 이동되어 갔으며, 성숙기에는 관찰되지 않았다.

미토콘드리아의 분포와 이동에 있어서는 초기 둥근 정자세포의 경우 세포질내에 골고루 분산되어져 있었으나, 침체의 형성과 더불어 핵의 후방으로 이동된다. 이러한 결과는 침체가 돌출 되면서 세포질의 체적이 줄어들고 동시에 축사를 중심으로 모여든 미토콘드리아가 배열되면서 꼬리를 형성한다 (Moreno et al., 2000; Heo & Lee, 2001).

정자꼬리 (flagellum)는 rat (Leblond & Clermont, 1952)와 Tammar wallaby (Lin et al., 1997)의 경우, 골지 2단계, 쇠뒤쥐 (Heo & Lee, 2001)에서는 골지후기 단계, 등줄쥐 (Son & Lee, 1995)의 경우는 두모후기 단계, 대륙발쥐 (Son & Lee, 1996)와 흰넓적다리 붉은쥐 (Lee, 1996)에서는 골지전기 단계에서 형성하고 있는 반면에 본 연구에서는 두모전기 단계에서 꼬리가 형성됨을 관찰할 수 있었다.

만세트 형성은 European common shrew (Plöen et al., 1979)의 경우, 두모후기 단계에서 침체기까지 관찰되어졌고, 대륙발쥐 (Son & Lee, 1996)와 쇠뒤쥐 (Heo & Lee, 2001) 경우에는 침체후기 단계에서 관찰되었

는데, 이러한 만세트의 출현은 종마다 다소 차이를 보인다. 만세트 미세소관들은 모든 포유동물의 정자변태 과정 중에 나타나는 일반적인 특징으로서, 대부분의 진수류와 조류의 경우에는 환상(원형)과 수직축(종축)상의 2종류의 만세트 미세소관을 가지는데, 환상의 만세트는 정자변태의 초기단계에서 발생하고 이것은 핵의 수직축에 대해 수평배열을 하며, 수직축의 만세트는 정자변태의 후기단계에서 환상의 만세트로 재배치된다(Lin et al., 1997).

본 연구에서 만세트는 침체중기 단계에 나타났으며, 이 시기에 핵과 침체는 신장을 하면서 성숙기에 이르러 급격히 신장되어진다.

핵륜의 형성과 이동시기는 대륙밭쥐(Son & Lee, 1996)와 쇠뒤쥐(Heo & Lee, 2001)의 경우에는 침체후기 단계에서 형성되어 성숙 단계에 핵의 약 1/4지점에 나타나고 이탈 단계에 이르러 핵의 기저판 아래에 위치하며, 등줄쥐(Son & Lee, 1995)에서는 침체전기 단계에서 이탈 단계까지 핵륜이 나타난다고 보고하였다.

본 연구에서 핵륜의 형성은 침체중기 단계에 이루어지며, 신장되는 핵의 2/3지점에 만세트와 함께 관찰되어진다. 침체후기 단계에는 핵의 후반부 기저판 가까이에 관찰된다. 성숙기에는 핵륜이 기저판까지 내려가 소실되었다. 핵륜의 형성과 이동은 종마다 다소 차이를 보이고 있으며, 핵륜은 만세트와 함께 침체와 핵의 신장에 관여하는 것으로 추측된다.

본 연구에서 핵의 형태변화는 골지 단계와 두모 단계에서는 구형의 형태를 취하고 있었고, 침체의 형성과 함께 핵은 타원형의 형태를 취하고 있었다. 성숙단계가 되면서 핵은 최대로 신장된다. 핵질의 변화는 초기 단계에서는 염색질 과립이 핵내에 고르게 산재되어 있는 형태를 취하고 있다. 염색질 과립의 응축은 서서히 진행되면서 침체후기에 이르러 염색질은 전반적으로 응축되고, 성숙 단계에 염색질의 응축은 완료되었다.

감사의 글

본 연구는 2003학년도 경남대학교 학술논문게재 연

구비 지원에 이루어졌음.

참고 문헌

- Aida AH, Daulat R, Tulsiani P: Mammalian sperm acrosome: formation, contents, and function. Arch Biochem Biophys 379: 173-182, 2000.
- Barnes BM, Kretzmann M, Licht P, Zucker I: The influence of hibernation on testis growth and spermatogenesis in the golden mantled ground squirrel (*Spermophilus lateralis*). Biol Reprod 35: 1289-1297, 1986.
- Bushberg DM, Holmes WG: Sexual maturation in male belding's ground squirrel: Influence of body weight. Biol Reprod 33: 302-308, 1985.
- Dubock AC: Male grey squirrel (*Sciurus carolinensis*) reproductive cycles in Britain. J Zool Lond 188: 41-51, 1979.
- Foreman D: Seminiferous tubule stages in the Prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) during the annual breeding cycle. Anat Record 247: 355-367, 1997.
- Franca LR, Becker Silva SC, Chiarini Garcia H: The length of the cycle of seminiferous epithelium in goats (*Capra hircus*). Tissue & cell 31(3): 274-280, 1999.
- Heo JH, Lee JH: Spermogenesis in the Saghalien pygmy shrew (*Sorex minutus gracillimus*). Korean J Electron Microscopy 31(2): 129-141, 2001. (Korean)
- Kirkpatrick CM: The testis of the fox squirrel in relation to age and seasons. J Anat 97: 229-255, 1955.
- Kurohmaru M, Kobayashi H, Hattori S, Nishida T, Hayashi Y: Spermatogenesis and ultrastructure of a peculiar acrosomal formation in the musk shrew (*Suncus murinus*). J Anat 185: 503-509, 1994.
- Lalli M, Clermont Y: Structural changes of the head component of the rat spermatid during late spermiogenesis. Am J Anat 160: 419-434, 1981.
- Leblond CP, Clermont Y: Definition of the stage of the cycle of the seminiferous epithelium in the rat. Ann New York Acad Sci 55: 548-573, 1952.
- Lee JH: Spermogenesis in the Korean manchurian field mouse (*Apodemus speiosus peninsulae*). Korean J Electron Microscopy 26(2): 221-233, 1996. (Korean)

- Lin M, Harman A, Rodger JC: Spermiogenesis and spermiation in a marsupial, the tamarin wallaby (*Macropus eugenii*). *J Anat* 190: 377-395, 1997.
- Mizukami T, Kuwahara S, Ohmura M, Iinuma Y, Izumikubo J, Hagiwara M, Kurohmaru M, Hayashi Y, Nishida T: The cycle of the seminiferous epithelium in the Greater Japanese shrew mole (*Urotrichus talpoides*). *J Vet Med Sci* 63(1): 31-35, 2001.
- Moreno RD, Ramalho Santos J, Chan EKL, Wessel GM, Schatten G: The Golgi apparatus segregates from the lysosomal vesicle during rhesus spermiogenesis: Structural alterations. *Develop Biol* 219: 334-349, 2000.
- Oud JL, Rooij DE: Spermatogenesis in the Chinese hamster. *Anat Rec* 187: 113-124, 1977.
- Patil SB, Saidapur SK: Kinetics of spermatogenesis in the wild squirrel (*Funambulus palmarum* Linnaeus). *Acta Anat* 141: 352-363, 1991.
- Plöen L, Ekwall H, Afzelius BA: Spermatogenesis and the spermatozoa of the European common shrew (*Sorex araneus* L.). *J Ultrastr Res* 68(2): 149-159, 1979.
- Pudney J: Seasonal changes in the testis and epididymis of the American grey squirrel (*Sciurus carolinensis*). *J Zool Lond* 179: 107-120, 1976.
- Pudney J: Fine structural changes in Sertoli and Leydig cells during the reproductive cycle of the ground squirrel (*Citellus lateralis*). *J Reprod Fert* 77: 37-49, 1986.
- Rambourg A, Clermont Y: Evolution of the endoplasmic reticulum during rat spermiogenesis. *Am J Anat* 151: 191-212, 1978.
- Ryu SY, Cho SW, Kim MK, Kim SH, Lee CS: Histological and histochemical studies of the squirrel epididymis. *Korean J Vet Res* 29(3): 215-222, 1989. (Korean)
- Sanchez A, Stamatoopoulos C, Redi CA: Descriptive kinetics of the seminiferous epithelium cycle and genome size in the mole (*Talpa occidentalis*, Insectivora). *J Exp Zool* 273: 51-58, 1995.
- Segatelli TM, Almedia CCD, Pinheiro PFF, Martinez M, Padovani CR, Martinez FE: Ultrastructural study of acrosome formation in Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*). *Tissue & cell* 32(6): 508-517, 2000.
- Soderstrom KO: Formation of chromatoid body during rat spermatogenesis. *Z Mikrosk Anat Forsch* 92(3): 417-430, 1978.
- Son SW, Lee JH: Spermiogenesis in the Korean striped field mouse (*Apodemus agrarius coreae*). *Korean J Zool* 38: 395-404, 1995. (Korean)
- Son SW, Lee JH: Spermiogenesis in the red backed vole (*Clethrionomys rufocanus regulus*). *Korean J Biomed* 2(1): 57-69, 1996. (Korean)
- Susi FR, Leblond CP, Clermont Y: Changes in the Golgi apparatus during spermiogenesis in the rat. *Am J Anat* 130: 251-278, 1971.
- Tait AJ, Johnson E: Spermatogenesis in the grey squirrel (*Sciurus carolinensis*) and changes during sexual regression. *J Reprod Fert* 65: 53-58, 1982.
- Vogl AW, Lin YC, Dym M, Fawcett DW: Sertoli cell of the golden mantled ground squirrel (*Spermophilus lateralis*): A model system for the study of shape change. *Am J Anat* 168: 83-98, 1983.
- Vogl AW, Soucy LJ, Foo V: Ultrastructure of Sertoli cell penetrating processes found in germ cells of the golden mantled ground squirrel (*Spermophilus lateralis*). *Am J Anat* 172: 75-86, 1985.

<국문초록>

한국산 다람쥐 (*Tamias sibiricus*)의 정자변태 과정을 투과전자현미경으로 조사하였다. 정자변태는 침체변화와 핵의 형태의 특징을 기초로 하여 골지기, 두모기, 침체기, 성숙기 그리고 이탈기로 구분하였고, 골지·두모·침체기는 각각 전·중·후기, 성숙기는 전·후기, 이탈기는 1기로 세분하였다. 따라서 다람쥐 (*Tamias sibiricus*)의 정자변태는 12기(phases)로 구분되어졌다. 골지기(steps 1-3)의 경우, 잘 발달된 골지복합체는 침체세포가까이에 위치하고, 침체세포는 3단계에서 핵막과 융합하여 함입되어있다. 두모기(steps 4-6)에서는, 침체세포가 핵의 표면 위에 넓게 퍼지며 핵의 1/3을 덮고, 침체과립은 아직 분산되지 않았다. 침체기(steps 7-9)동안에 있어서, 핵과 침체는 신장되었으나 핵질은 농축되지 않았다. 성숙기(steps 10-11)에서는 핵질이 더욱 농축되어졌으며, 미토콘드리아들은 축사의 중심에 완전하게 배열되어졌다. 이탈기(step 12)에서 정자머리는 완전하게 주걱형태의 모양을 갖추고 있었다.

FIGURE LEGENDS

- Figs. 1–14.** Electron micrographs showing the Golgi, cap, acrosome, maturation and spermiation steps during spermiogenesis in the squirrel, *Tamias sibiricus*.
- Fig. 1.** Electron micrograph of the early Golgi phase. The Golgi complex (G) was appeared in upper on nucleus. M, mitochondria; N, nucleus. Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 2.** Electron micrograph of the middle Golgi phase. Two acrosomal vesicles (Av) were not yet fixed in nuclear membrane. The chromatoid body (Cb) appeared in spermatid cytoplasm. G, Golgi complex; M, mitochondria; N, nucleus. Scale bar = 1 μ m.
- Fig. 3.** Electron micrograph of the late Golgi phase. A large acrosomal vesicle (Av) fixed to a recess of nucleus. Ag, acrosomal granule; Cb, chromatoid body; G, Golgi complex; N, nucleus. Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 4.** Electron micrograph showing the early cap phase. The acrosomal vesicle (Av) spread outward from the anterior pole of the nucleus. Ag, acrosomal granule; G, Golgi complex; N, nucleus. Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 5.** Electron micrograph showing the middle cap phase. The acrosomal vesicle (Av) spread the some more anterior pole of the nucleus but acrosomal granule (Ag) was not yet flattened. Cb, chromatoid body; G, Golgi complex; M, mitochondria; N, nucleus; Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 6.** Electron micrograph showing the late cap phase. The acrosomal vesicle (AV) spread over the anterior a third of the nucleus (N). Av, acrosomal vesicles; C, capitulum; M, mitochondria; sER, smooth endoplasmic reticulum. Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 7.** Electron micrograph showing the early acrosomal phase. The acrosome (A) began to condensed, and the acrosomal vesicle (AV) spread over the anterior half of the nucleus. The mitochondria (M) and smooth endoplasmic reticulum (sER) migrated to the posterior region of nucleus. Av: acrosomal vesicle; Cb, chromatoid body; N, nucleus; Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 8.** Electron micrograph showing the middle acrosomal phase. Both the acrosome (A) and the nucleus (N) elongated. Note the appearance of manchette (small arrows) and nuclear ring (large arrows). Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 9.** Electron micrograph showing the late acrosomal phase. The acrosome (A) condensed but nucleoplasm was not yet condensed. Ab, apical body; Mc: manchette; N, nucleus; Nr, nucleus ring; Se, Sertoli cell. Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 10.** Electron micrograph showing the early maturation phase. The nucleus (N) and acrosome (A) condensed more than the acrosomal phases. Ab, apical body; Es, equatorial segment; Se, Sertoli cell; *, electron dense material. Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 11.** Electron micrograph showing the late maturation phase. The nucleoplasm is further condensed more than the early maturation phase. The mitochondria (M) are arranged the center of axoneme (Ax) regularly. N, nucleus; Se, Sertoli cell. Scale bar= 4 μ m.
- Fig. 12.** High magnification of the sperm head and tail in Fig. 11. The segmented columns (small arrows) were surrounded by redundant membranous scroll (arrowhead), and adjacent outer membrane of the first mitochondria of the middle piece. A, acrosome; Ab, apical body; M, mitochondria; N, nucleus; Se, Sertoli cell; arrows head: nucleus envelope. Scale bar = 2 μ m.
- Fig. 13.** Electron micrograph showing spermatid just before spermiation from Sertoli cell cytoplasm. N: nucleus, Se: Sertoli cell. Scale bar= 1 μ m.
- Fig. 14.** Drawing of the 12 steps of spermiogenesis in the squirrel, *Tamias sibiricus*. Steps 1 3, 4 6, 7 9, 10 11 and 12 of spermatids corresponded to the Golgi, cap, acrosome, maturation and spermiation phases respectively. The Golgi, cap and acrosomal steps were subdivided into three phases of early, middle and late phase respectively. The maturation step divided into two phases of early and late phase, and spermiation step has only one phase. Thus, the spermiogenesis of *T. sibiricus* was divided into a total of twelve phases. A: acrosome, Ab: apical body, Ag: acrosomal granule, Av: acrosome vesicles, Cb: chromatoid body, G: Golgi, N: nucleus, M: mitochondria, Mc: manchette.









