

한국산 흰넓적다리 붉은쥐 (*Apodemus spesiosus peninsulae*)의 정자변태

이 정 훈
경남대학교 자연과학대학 생물학과

Spermiogenesis in the Korean manchurian field mouse, *Apodemus spesiosus peninsulae*

Lee, Jung Hun
Dept. of Biology, College of Natural Sciences, Kyungnam University
(Received April 26, 1996)

ABSTRACT

In order to study process of spermiogenesis of the Korean manchurian field mouse, *Apodemus spesiosus peninsulae*, the testis obtained from sexually matured male reproductive organs, were examined with electron microscopy, and the following results were obtained based on the characters of cell differentiation.

1. According to the features of cell structure, spermiogenesis of the *Apodemus spesiosus peninsulae* was five phases: Golgi, cap, acrosome, maturation and spermiation phase. They were further subdivided into two steps of early and late phases respectively. Hence, the spermiogenesis consists of ten steps.
2. In the changes of the chromatin, the chromatin granules began to be condensed in the cap phase and regularized at maturation phases, and a perfect nucleus of sperm was formed at the spermiation phases.
3. The formative period of sperm tail began to be develop in the early Golgi phase and completed at the spermiation phases.
4. The outer dense fibers of middle piece were arranged in a horseshoe fashion. Nos. 1, 5, 6 and 9 of the outer dense fibers were larger than the others. The structure of axoneme in the middle piece was 9+2, and the axonemal complex consists of A and B microtubules, dynein arms and radial links.

Key words : Spermiogenesis, Sperm tail, Outer dense fiber, Axoneme

* 이 논문은 1995년도 경남대학교 학술연구 조성비에 의하여 작성된 것임.

서 론

Leblond와 Clermont (1952a)가 쥐 정자세포의 분화 단계를 골지, 두모, 첨체 및 성숙기의 4기로 구분한 이후 포유동물의 정자형성 단계의 규칙성이 제시되었다 (Leblond and Clermont, 1952b; Burgos and Fawcett, 1955; Clermont and Leblond, 1955, 1959). 세정관 정상피의 일련의 연속적인 분화는 동일한 세정관 뿐만 아니라 각각의 세정관내에서도 분화단계의 차이를 나타내며, 포유동물에 따라서도 많은 차이를 나타낸다. 그럼에도 불구하고 일부 온대성 동면성 박쥐종에서 관박쥐는 동일한 행단면에서도 각각의 세정관 정상피의 분화단계가 동일한 분화단계를 보이며, 월별에 따라 각각의 분화상상의 단계가 구분되어 나타나는데 이는 교미시기를 적절히 조절함으로써 번식조절을 위한 적응전략이라고 시사하였다 (Lee *et al.*, 1992).

정자변태 과정을 조사함으로써 각 종의 정자형태 형성 과정의 차이점을 알수가 있으며, 정자변태 과정중의 중요한 세포의 형태학적 변화로서는 세포내 골지체 (Golgi complex)와 첨체소포 (acrosomal vesicle)의 위치 및 이동, 첨체과립 (acrosomal granule) 및 첨체 (acrosome)의 형태와 형성시기, 정자핵의 염색질의 변화, 핵륜 (nuclear ring)의 형성과 이동, 만세트 (mancette)의 출현과 이에 따른 핵의 변화, 미토콘드리아의 배열 및 정자꼬리 형성과정을 들 수가 있다. 특히 이러한 세포내 구성요소들의 형태적 특징들은 각 종마다 뚜렷한 차이를 보이기 때문에 근간에 이르러 종을 규명하는데 분류학적 방법으로 제시되어 이용됨으로서 정자학 (spermatology)이란 학문적 영역으로 자리를 잡게 되었다.

한편, 설치류 정자의 형태 및 정자형성과 관련된 연구로는 쥐 (Sandoz, 1970), 뒤쥐 (Plöen *et al.*, 1979), 사향쥐 (Koehler, 1977; Phillips and Bedford, 1985; Môri *et al.*, 1991) 등이 보고되어 있으며, 우리나라의 경우에는 등줄쥐 (*Apodemus agrarius coreae*)의 정자의 형태 (Yang *et al.*, 1991) 및 정자변태 (Son and Lee, 1995)에 관한 단편적인 연구를 제외하고는 전반적인 설치류의 정자에 관련한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 한국산 쥐아과 (Murinae), 붉은쥐

(*Apodemus*)에 속하는 한국산 흰넓적다리 붉은쥐 (*Apodemus spesiosus peninsulae*)의 정자형성 과정중의 정자변태 과정을 전자현미경적 관찰을 통하여 정자의 형태변화에 따른 특징을 알아보고, 특히 정자꼬리 형성 시기가 각 종마다 명확한 차이가 있는지의 여부를 조사하기 위하여 시도 하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 재료는 성숙한 흰넓적다리 붉은쥐 (*Apodemus spesiosus peninsulae*) 수컷 4개체로서 Ehter 마취 후 정소를 세절 한 다음 3%-glutaraldehyde (4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)와 1.33%-OsO₄ (4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)로 각각 3시간 전고정 및 후고정 하였다. 고정이 끝난 조직들은 동일한 완충액 (4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)으로 수세한 다음 acetone 농도 상승순서로 탈수하여 Epon 812 혼합액으로 포매하여 굳혔다. 포매가 끝난 조직들은 ultramicrotome (sorvall, MT-6000)을 이용하여 1 μm 두께로 세절한 다음 0.5%-toluidine blue로 염색하여 세포분화의 각단계를 광학현미경으로 확인 하였고, 이어서 60~90 nm의 두께로 연속적인 절편을 얻어 uranyl acetate와 lead citrate 용액으로 이중 염색하여 전자현미경 (TEM, H-600, Hitachi)으로 관찰하였다.

결 과

흰넓적다리 붉은쥐 (*A. spesiosus peninsulae*)의 정자변태 과정은 Leblond와 Clermont (1952a, b)의 방법에 따라 구분한 후, 이탈기 (spermatation phase)를 추가하여 5기로 나누었고 (Lee *et al.*, 1992), 세포의 미세구조적 특징들을 토대로 하여 골지 (Golgi), 두모 (cap), 첨체 (acrosome), 성숙 (maturation) 및 이탈기 (Spermiation phase)들은 다시 각각 전 후기로 세분하여 정자변태의 전과정을 10단계로 나누었다 (Figs. 1~8).

골지기

① 골지전기

초기 정자세포에 있어 핵은 대개 구형 또는 타원형이

며, 핵질은 고운 섬유상으로 핵 내부에 골고루 분산되어 있었다. 세포질 내에는 잘 발달된 골기체와 풍부한 미토콘드리아들이 고르게 산재되어 있었다. 골기체 아래쪽에 침체과립을 함유한 작은 침체소포가 핵 가까이에 있으나 아직 핵막과 융합되지 않았다 (Fig. 1). 특히 핵 후반부 쪽의 세포질내에는 유염색질체 (chromatoid body)를 비롯하여 정자의 편모 (flagellum)가 세포질 밖으로 나와 있었다 (Fig. 1. Inset).

② 골지후기

침체과립을 함유한 침체소포가 핵막과 융합되어 약간 함입되어져 있으며, 여전히 세포질내의 골기체를 비롯한 미토콘드리아들이 침체소포 주변부에 인접되어 있었다 (Fig. 2).

두모기

③ 두모전기

이 시기에는 침체과립을 함유한 침체소포는 더욱더 핵을 함입시키고 침체포 (acrosomal vacuole)내의 침체물질 (acrosomal substance)은 아직 침체포 내부에 골고루 분산되지 않았다. 그리고 염색질 과립 (chromatin granule)들이 다소 응축되어 나타났다 (Fig. 3).

④ 두모후기

이 시기에는 핵의 표면에 볼록렌즈상의 형태를 취한 침체포 (acrosomal vacuole)가 핵의 후방부로 향해 넓게 퍼지고, 미토콘드리아들이 더욱더 핵의 후방부로 이동되어 나타났다 (Fig. 4).

침체기

⑤ 침체전기

이미 두모단계로부터 형성된 침체포내의 침체물질들이 충만하게 내재됨과 아울러 침체를 완전히 형성하였고, 이때 외침체막과 정자두부의 원형질막이 밀착되어 있었다. 직선상으로 뻗은 미세관 (microtubule)들이 핵의 장축에 부합하여 만세트를 형성함과 동시에 만세트가 핵의 후방부로 길게 신장됨으로서 핵은 신장화 되어졌다. 이와 때를 같이하여 상대적으로 볼록렌즈상의 침체의 첨단부가 핵의 앞방향으로 돌출되어졌다. 이 시기의 침체는 핵의 1/3 정도를 덮고 있으며, 만세트의 결합부위에 핵륜 (nuclear ring)이 보인다. 그리고 핵내에는 불규칙하고 전자밀도가 높은 염색질 과립들이 원형으로 응축되어져 있었다 (Fig. 5).

⑥ 침체후기

침체초기로부터 형성된 침체와 핵은 더욱더 길게 늘어남과 동시에 세장화되고, 침체가 핵의 후반부로 이동하여 핵 전장의 1/2부근에 접근하여 위치하고 있었으며, 핵륜도 핵의 중앙부위로 이동되어 나타났다 (Fig. 6).

성숙기

⑦ 성숙전기

이 시기의 침체와 핵은 최대로 신장되고 핵내의 염색질은 더욱더 응축되어졌다. 핵륜의 이동은 침체 전, 후기단계와 비교해 볼 때 다소 핵의 기저판 부위로 이동되어 나타났다. 그러나 침체형성에 있어 핵의 전반부는 완전히 전침체 부분 (=전침체역, preacrosomal region)을 형성하였으나, 핵 후반부 영역에서는 완전한 침체를 형성하지는 않았다. 이 시기에는 세포질의 체적 (부피)은 현저하게 감소되어졌다 (Fig. 7a)

⑧ 성숙후기

성숙전기와는 달리 핵의 전 후반부 모두에서 침체형성이 완료되어졌으며, 적도절 (equatorial segment)이 명확하게 나타났다 (Fig. 7b). 이 시기의 정자꼬리의 중편부의 외측섬유는 편자모양으로 배열되어져 있으며, 중편부의 외측섬유는 Nos. 1, 5, 6, 9가 다른것 보다 컸었다. 또한, 축사구조는 9+2이며, 축사 복합체는 A, B의 미세소관 (microtubules)과 디네인 팔 (dynein arms) 및 스포크 (spoke)가 중심 미세소관을 중심으로 방사고리 (형)으로 배열되어 있었다 (Fig. 7b, Inset).

이탈기

⑨ 이탈전기

이 시기의 핵질은 전자밀도가 매우높고 균질한 상태이며, 핵륜은 기저판 가까이에 인접되어 나타났다. 미토콘드리아는 축사를 중심으로 불규칙하게 배열되어 완전한 정자꼬리의 형태를 갖추지 않았다. 즉, 서틀리 세포 (Sertoli cell)로부터 완전히 이탈되지 않고 경부 (neck region) 및 중편부 (middle piece)에 여전히 세포질 소적 (cytoplasmic droplet)를 함유한 채로 서틀리 세포의 세포질막과 결합되어 있었다 (Fig. 8a).

⑩ 이탈후기

이 시기에서 핵륜의 이동은 핵의 기저판 아래로 내려오고 이와 때를 같이하여 미토콘드리아는 축사를 중심으로 나선형으로 감겨져 완전한 중편부를 형성하고 있었다.

이 시기에는 이탈전기와는 달리 정자세포들은 정자두부분 서툴리 세포의 세포질에 싸여져 있거나 거의 모든 정자세포들이 세포질 소적을 남긴채 내강으로 배출되어 진다 (Fig. 8b).

고 찰

정자변태 과정중에서 세정관 정상피의 분화단계를 보면, 사람은 Clermont와 Leblond (1955)가 12기로 구분한 이후, de Kretser (1969)가 정자세포 분화단계에서 침체와 핵의 발달에 기초를 두어 6기로, 다시 Holstein (1976) 및 Holstein과 Schirren (1979)는 침체와 핵 그리고 꼬리의 발달에 기초를 두어 8기로 나누었다. 토끼의 경우에는 Swierstra와 Foote (1963)는 8기로 구분하였으나, 그 후에 Plöen (1971)은 10기로 구분하였다. 또한, 개코원숭이의 경우 Chawdhury와 Steinberger (1976)가 12기로 나누었으나 Afzelius (1982) 등은 10기로 나누었다. 이러한 차이점은 관찰자가 세포 분화 단계에서 어느 한 부분의 특징을 토대로 기술하여 나타난 결과라고 생각되어진다. 그러므로 세정관 정상피의 주기성을 단계적으로 구분하는데 있어서 몇가지 고려되어야 할 사항으로서는, 첫째로 동일종이라 하더라도 각각의 개체에서도 세포분화 양상이 빠르거나 다소 늦게 일어날 수도 있다는 점과 둘째로, 성체인지의 여부를 비롯하여 관찰자가 정소망의 가까운 부위의 세정관만을, 혹은 멀리 떨어져 있는 세정관만을 토대로 조사한다거나 또는 어느 한시기의 부분만을 선택할 경우 정자완성의 정확한 결과를 얻기가 어렵다는 것을 제시하였다 (Son and Lee, 1995).

본 연구에서는 한국산 흰넙적다리 붉은쥐의 정자변태 과정을 정상피의 주기성을 고려하여 광학현미경으로 세포분화의 각 단계를 확인하여 Leblond와 Clermont (1952a, b)의 방법에 의해 골지, 두모, 침체, 성숙기로 구분한 후, Lee (1992) 등의 방법에 따라 이탈기를 추가하여 5기로 나누었으며, 각 기에서의 미세구적 차이점을 토대로 하여 다시 세분하였다. 즉 골지, 두모, 침체, 성숙 및 이탈기들을 각각 전·후단계로 하여 총 10단계로 나누었다 (Figs. 1-8). 이는 청여우 (Andersen, 1978), 개코원숭이 (Afzelius, 1982), 관박쥐 (Lee *et al.*, 1992), 고양이 (Son *et al.*, 1994), 긴날개 박쥐

(Son *et al.*, 1995) 등과 같았다. 그러나 각각의 동물들이 동일한 단계를 갖기는 하지만 정자변태 과정중의 세포구조물의 형태형성과 변화에 있어서는 다소 차이가 있는데, 정자변태 과정 중의 중요한 형태학적 변화로서는 핵과 세포질의 변화를 들 수 있다.

정자변태의 초기과정 중에서 골지체의 역할은 침체형성에 기여하는 바 크며, 침체내로 많은 효소가 들어가기 때문에 정자세포의 분화단계를 파악하는데 매우 중요하다 (Suarez-Quian *et al.*, 1991). 골지체와 침체형성 사이의 관련성은 MC41항체 (Tanii *et al.*, 1992a, b)와 MN9항체 (Toshimori *et al.*, 1992)를 사용하여 반응한 결과, 물질이동의 경로는 침체로의 물질이동에 골지체가 관여하는 Golgi tract와 골지체의 관계없이 물질이동이 일어나는 Extra-Golgi tract로 구분되며, Golgi tract를 다시 Golgi-acrosomic granule tract와 Golgi-head cap tract로 세분한 후 전체의 물질이동의 경로를 3가지로 나누어 물질의 종류에 따라서 각각 다른 경로를 거친다 (Toshimori *et al.*, 1992). 또한, 단클론 항체 MN7을 mouse, rat, hamster정자에 반응시킨 결과 침체단백질이 침체 앞부분에서 나타났는데 이는 항원이 정자변태 과정의 초기동안에 골지기구로부터 유래되는 소포에 의해 침체내로 이동된다는 것을 의미한다 (Tanii *et al.*, 1994). 본 연구에서 골지전기에 골지체에서 분리된 소낭이 침체소포 주위에 인접되어 있는 것으로 보아 (Figs. 1, 2), Lee (1992) 등의 견해와 같이 세포질내에서 합성된 침체의 전구물질이 골지낭으로 이송되고 이송된 전구물질이 침체소낭으로 유입되는 것으로 판단된다. 또한, 종래에 기술된 과립상의 소포가 침체소포라고 명명되어 왔으나 이미 세포질내에 합성된 침체의 전구물질이 골지체로 이송되고 소포와 융합하여 큰 침체소포를 형성한다는 점에서 핵의 상단면과 융합되기 전의 소포는 침체소포라기 보다는 골지체로 유래된 골지낭이라 기술되어야 한다고 제시된 바 있다 (Lee *et al.*, 1992). 따라서 이러한 가설을 토대로 하여 볼때, 본 연구에서도 침체형성에 골지체의 역할이 큼을 시사하는 바 아마도 Golgi-acrosomic granule tract와 관련이 있으리라 여겨진다.

골지체의 이동은 침체부위로부터 점점 이동되어 정자세포의 꼬리부분으로 이동 되는데, 본 연구에서도 골지전기에서 골지체가 침체소포 주변부에서 (Fig. 1) 점점

이동하여 두모기에는 핵의 후방부로 미토콘드리아와 함께 이동되어 나타났다 (Fig. 4). 이는 골지체와 침체는 정자의 형태변화에 상호 직접적으로 관여함을 의미한다.

한편, 본 연구에서 골지전기에 유염색질체 (chromatoid body)가 핵의 후방부의 중심립 가까이 나타났다 (Fig. 1. Inset). 유염색질체의 기원은 정모세포의 미토콘드리아내에 덩어리에서 축적된 조밀하게 갈라진 틈이 있는 물질에서 발생하며, 중국산 hamster의 경우 유염색질의 잔여분이 annulus에 존재하는 하는 것으로 보아 편모와 관련이 있다고 제시하고 있으나 (Fawcett *et al.*, 1970), 유염색질의 기능은 정확히 알려져 있지는 않으며 어떠한 경로에 의한 것인지는 앞으로 세부적인 조사가 필요하다. 본 연구에서 정자세포는 골지기 (Figs. 1, 2)에서 두모기 (Figs. 3, 4)까지는 거의 원형이며, 침체포는 핵의 전방으로 돌출하여 마치 볼록렌즈상을 취하며 침체과립들이 응축되어 완전한 침체를 형성하였다. 대개의 포유동물과는 달리 *Suncus murinus*의 경우, 정자형성과정의 7단계에서 침체가 기저막을 향해 신장되고 9단계에서 신장은 최대에 달하여 13단계에서 fan모양의 침체를 형성하는데 이러한 침체의 신장과 그 후의 단계에서 침체가 짧아지고 평평해지는 것은 거대한 fan 모양의 침체를 형성하기 위한 유일한 과정이라 제시하였다 (Kurohmaru *et al.*, 1994).

핵의 변화는 염색질의 응축과 더불어 진행되어진다. 돼지의 경우 (Kim, 1986)에는 두모후기에서, 캥거루 (Kim *et al.*, 1987)는 붕괴기 (collapsing stage)에서 침체소포가 붕괴된 후 핵돌출기 (nuclear protrusion stage)에서 침체형성과 더불어 염색질 응집이 일어난다. 염색질 과립의 생성시기와 소멸시기는 관박쥐 (Lee *et al.*, 1992)에서 처음으로 보고되었다. 고양이 (Son *et al.*, 1994)와 등줄쥐 (Son and Lee, 1995) 등은 관박쥐와 거의 동일하게 나타났다. 즉 골지후기에서 염색질 응축이 진행되어 성숙기에 염색질이 더욱 응축하여 원통상의 염색질과립을 형성하고 이탈기에 완전한 핵을 형성하는 반면에, 본 연구에서는 두모전기에서 염색질이 서서히 응축하기 시작하여 (Fig. 3) 침체전기에서는 응축된 염색질이 합쳐져 구형의 형태로 진행되고 (Fig. 5) 성숙기에는 균질화 되고 (Fig. 7a, b) 이탈기에 완전한 핵을 형성하였다 (Fig. 8a, b).

침체와 핵의 신장은 정자와 수정되는 난모세포와의 수

정에 중요한 역할을 담당하는데 (Franzén, 1983), 침체는 수정직전에 난자의 두명대를 통과하기 위하여 쓰인다 (Zaneveld *et al.*, 1973). Olson과 Wintrey (1994)는 또한 침체와 apical body의 구조적 영역의 차이는 침체반응 동안에 hydrolase의 방출을 조절하기 위한 효율적인 영역의 차이라는 가능성을 제시하였다.

만세트와 핵륜의 생성 및 소실 (소멸)시기에서 보면, 관박쥐 (Lee *et al.*, 1992), 소 (Bae, 1984), 양 (Bae and Kim, 1985)의 경우는 침체전기에서 만세트와 핵륜이 생성되어 성숙 전기에 소실되며, 돼지 (Kim, 1986)의 경우는 만세트와 핵륜의 생성시기는 소와 동일하나, 소멸시기가 성숙후기에서 소실된다. 캥거루 (Kim *et al.*, 1987)는 핵형성기에서 생성되어 성숙기에 소실되며, 등줄쥐 (Son and Lee, 1995)는 두모후기에서, 고양이 (Son *et al.*, 1994)는 침체후기에서 만세트가 생성하였다.

핵륜의 출현과 이동개시는 박쥐 (Lee *et al.*, 1992)와 동일한 양상을 보였는데 즉, 침체전기 (Fig. 5)에서부터 성숙기 (Fig. 7a, b)까지 나타났다. 그리고 소 (Bae, 1984), 돼지 (Kim, 1986), 관박쥐 (Lee *et al.*, 1992)와 본 연구에서도 침체전기에서부터 만세트의 구조물이 나타났다. 만세트의 생성과 핵륜의 생성은 정자의 핵의 신장과 관련이 있고 (Lee, *et al.*, 1992; Son *et al.*, 1994), 만세트의 미세소관의 수는 종에 따라 항구성을 가지며 (Rattner and Brinkley, 1972), 각각의 종마다 수와 형태의 차이를 나타내고 같은 품종이라 할지라도 정자머리의 형태에 영향을 미친다 (Fawcett *et al.*, 1971).

미세관 형태가 핵의 형태변화에 미치는 결과로서 나타나는 두부의 형태는 대개 포유동물의 경우 포환형을 가지는 반면에 설치류의 경우 Fan형 (Phillips and Bedford, 1985; Kurohmaru *et al.*, 1994) 및 낫꼴 모양 (Yanagimachi and Noda, 1970; Son and Lee, 1995)을 가짐을 볼때, 만세트의 미세소관 구조물의 역할이 정자두부 형성에 중요한 역할을 담당한다 (Son and Lee, 1995). 이는 정자세포의 핵 후반부 및 post-nuclear cap의 형태형성에 중대한 역할을 담당하는 것으로 (Uchida and Môri, 1972) 본 연구에서 전 침체와 후침체 사이에 적도절이 나타났는데 (Fig. 7b), 대개 포유류의 수정과정 중 정자와 난자의 최초의 융합이

정자두부의 post-nuclear cap부분의 plasma membrane과 난자의 plasma membrane과의 사이에서 일어난다는 것은 (Stefanini *et al.*, 1969; Yanagimachi and Noda, 1970) 포유류 정자의 수정능 획득에 중요한 역할을 담당하리라 여겨진다. 또한 성숙기에 postnuclear sheath가 두부와 경부의 결합을 유지하기 위한 막결합을 의미한다 (Koehler, 1972).

핵의 형태변화와 아울러 세포질의 변화도 동시에 진행됨을 알수 있는데 특히, 성숙단계의 정자 세포의 경우는 매우 주목할 만 하다. 즉 두부의 형성이 거의 완료 직전에 있으며 이때 세포질의 부피는 현저하게 줄어든다 (Fig. 11). 이는 축사를 중심으로 한 미토콘드리아의 완전한 배치 (배열)을 의미함과 동시에 나선상의 미토콘드리아 초를 형성하고 뒤이어 이탈단계에서의 정자의 꼬리 형성을 위한 준비단계를 의미한다.

정자꼬리의 생성시기의 경우, 판박쥐 (Lee *et al.*, 1992)는 두모전기에서, 고양이 (Son *et al.*, 1994)는 두모중기에서, 등줄쥐 (Son and Lee, 1995)는 두모후기에서, 사람 (Clermont, 1963; de Kretser, 1969)은 두모기에서 정자꼬리가 생성됨을 제시하였다. 본 연구에서는 유럽뒤쥐 (Plöen *et al.*, 1979)와 개코원숭이 (Afzelius *et al.*, 1982)와 동일한 결과를 얻었다. 즉 골지전기에서 이미 꼬리가 세포질 밖으로 돌출되어 있으며 (Fig. 1), 두모, 침체, 성숙 및 이탈단계를 거쳐 완전한 정자꼬리를 형성 하였다 (Fig. 8b) 이와 같이 각 종마다의 정자꼬리 생성이 다소 차이가 나는것은 관찰자가 각각의 세포분화 단계에서의 연속적인 절편을 통한 결과 인지에 대한 의문이 제기된다. 왜냐하면, 정자꼬리의 원기는 모든 동물이 특정부위에 나타나지 않기 때문에 조직의 방향성 요구와 하나의 세포를 처음부터 끝까지 완전하게 절편하여 얻은 상을 토대로 기술되어져야 할 것이다.

미토콘드리아의 형성과 재배치는 중편부 형성에 중요한 역할을 하며 (Olson and Winfrey, 1990), 대개 골지전기에서 세포질 전반에 걸쳐 분포하여 정자변태 과정을 거치면서 꼬리쪽으로 이동하여 축사를 중심으로 배열 되는데 꼬리형성에 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 골지전기에서 침체세포 주변부에 많이 산재되어 있다가 (Figs. 1, 2) 두모후기에는 거의 모든 미토콘드리아가 꼬리쪽으로 이동되어 나타났으며 (Fig. 4), 이탈기에 축사를 중심으로 배열되어 중편부를 형성하였다 (Fig. 8a,

b).

Afzelius (1982) 등은 축사가 세포질 내부에 있을 경우 세포막과 무관한 상태이며, 이것들이 분화과정 중에 계속적으로 길게 뻗어서 세포막 주변으로 이동하여 세포막에 접촉하면 세포막이 축사를 둘러 싸는 것으로 추정 하였다. 그럼에도 불구하고, 정자의 축사 주변에 미토콘드리아가 나선형으로 감겨져서 서툴리 세포로부터 이탈 도중에 정자의 머리는 서툴리 세포의 세포질에 거의 수직으로 향하고, 이때 꼬리는 내강쪽으로 향하는데 그렇다면, 세정관내의 정자들은 운동성이 없는데 어떻게 이탈 되는가에 대한 세부적인 조사가 필요하다.

Yang (1991) 등의 보고에 의하면, 정소상체 미부내의 정자의 중편부의 외측섬유는 Nos. 1, 4, 5, 9가 다른 것보다 다소 굵고 크다고 기술하고 있는 반면에, 등줄쥐 (Son and Lee, 1995)와 본 연구에서는 성숙기의 정자의 중편부의 외측섬유는 편자모양으로 배열되어 있고, 또한 외측섬유는 Nos. 1, 5, 6, 9가 다른 것보다 컸다 (Fig. 7b Inset). 축사구조는 9+2이며, 축사 복합체는 A, B 미세소관 (A, B microtubules)과 다네인 팔 (dynein arms)과 방사꼬리 (radial links)으로 구성되어져 있었다. 이탈전기에서는 정자의 꼬리에 미토콘드리아가 나선형으로 감겨져 중편부를 완성하고 (Fig. 8a), 이탈후기에 이르러 정자는 서툴리 세포 (Sertoli cell)의 세포질로부터 분리되어 잔여소체 (residual body)를 남기고 세정관의 내강으로 빠져나가게 된다 (Fig. 8b).

결 론

한국산 흰늪적다리 붉은쥐 (Korean manchurian field mouse, *Apodemus spesciosus peninsulae*)의 정자변태 과정을 알아보기 위하여 성숙한 응성생식기의 정소내의 세포분화에 따른 형태적 특징들을 기초로 하여 전자현미경으로 관찰한 결과는 다음과 같다.

1. 한국산 흰늪적다리 붉은쥐의 정자변태 과정은 골지, 두모, 침체, 성숙 및 이탈기로 구분하였고, 세포구조물의 특징들에 의해 이들을 각각 전·후기로 세분하여 한국산 흰늪적다리 붉은쥐의 정자변태의 전과정을 10단계로 나누었다.
2. 염색질 변화는 두모전기에서 서서히 응축하여 성숙기에서 균질화되고, 이탈기에서 완전한 핵을 형성

하였다.

3. 정자꼬리의 형성시기는 골지전기에서 형성하기 시작하여 이탈기에서 완성되었다.
4. 중편부의 외측섬유는 편자모양으로 배열되어 있고, 외측섬유는 Nos. 1, 5, 6, 9가 다른 것 보다 크다. 그리고 중편부의 축사구조는 9+2이며, 축사 복합체는 A, B 미세소관 (A, B microtubules)과 다네인 팔(dynein arms)과 방사고리(radial links)으로 구성되어져 있었다.

참 고 문 헌

- Afzelius BA, Johnsonbaugh RE, Kim JW, Pl en L, Ritzn EM, 1982. Spermiogenesis and testicular spermatozoa of the olive baboon (*papio anubis*), J. Submicrosc. Cytol. 14(14), 627-639
- Andersen K, 1978. Fine structure of developing spermatids used as a basis for staging of the spermateleosis in the blue fox (*Alopex lagopus*), Zdl. Vet. Med. C. Anat Histol. Embryol. 7, 164-184
- Bae DS, 1984. Electron microscopic studies on the spermiogenesis and the structure of the korean cattle spermatozoa, Korean J. Anim. Sci. 26, 509-526
- Bae DS, and Kim JW, 1984. Electron microscopic studies on the spermiogenesis of the korean goats, Proc. 3rd AAAP. Anim. Sci. Con. 1, 390-392
- Burgos MH, Fawcett DW, 1955. Studies on the fine structure of the mammalian testis. I. Differentiation of the spermatids in the cat (*Felis domestica*), J. Biophysic. Biochem. Cytol. 1, 287-300
- Chowdhury AK, Steinberger E, 1976. A. study of germ cell morphology and duration of spermatogenic cycle in the baboon, *Papio anubis*, Anat. Rec. 185, 155-170
- Clermont Y, 1963. The cycle of seminiferous epithelium in man, Am. J. Anat. 112, 35-51
- Clermont Y, Leblond CP, 1955. Spermiogenesis of man, monkey, ram and other mammals as shown by the periodic acid schiff techique, Am. J. Anat. 96, 229-254
- Clermont Y, Leblond CP, 1959. Differentiation and renewal of spermatogonia in the monkey, *Macacus rhesus*, Am. J. Anat. 104, 237-255
- Fawcett DW, Eddy EM, Phillips DM, 1970. Observation on the fine structure and relationship of the chromatoid body in mammalian spermatogenesis, Biol. Reprod. 2, 129-153
- Fawcett DW, Anderson WA, Phillips DM, 1971. Morphogenetic factors influencing the shape of the sperm head, Dev. Biol. 26, 220-251
- Franzén A, 1983. Ultrastructural studies of spermatozoa in three bivalve species with notes on evolution of elongated sperm nucleus in primitive spermatozoa, Gamete Res. 7, 199-214
- Holstein AF, 1976. Ultrastructural observations on the differentiation of spermatids in man, Andrologia. 8, 157-165
- Holstein AF, Schirren C, 1979. Classification of abnormalities in human spermatids based on recent advances in ultrastructural reseach on spermatid differentiation. In: The spermatozoon (Fawcett D.W. and J.M. Bedford, eds.). Urban and Schwarzenberg. Inc., Baltimore. pp.341-353
- Kim JW, 1986. Electron microscopic studies on the spermiogenesis of the swine, Korean J. Electr. Micros. 16, 1-13
- Kim JW, Harding HR, Shorey CD, 1987. Electron -microscopic studies on the spermiogenesis and spermatozoa of the Allied Rock Wallaby (*Petrogale assimilus*), Korean J. Electr. Micros. 17, 1-15
- Koehler JK, 1972. Human sperm head ultrastructure: A freeze-etching study, J. Ultrastr. Res. 39, 520-539
- Koehler JK, 1977. Fine structure of spermatozoa of the asiatic musk shrew, *Suncus murinus*, Am. J. Anat. 149, 135-151
- de Kretser DM, 1969. Ultrastructural features of human spermogenesis, Z. Zellforsch. 98, 477-505
- Kurohamaru M, Kobayashi H, Hattori S, Nishida T, Hayashi Y, 1994. Spermiogenesis and

- ultrastructure of peculiar acrosomal formation in the musk shrew, *Suncus murinus*, J. Anat, 185, 503-509
- Leblond CP, Clermont Y, 1952a. Spermogenesis of rat, mouse, hamster and guinea pig as revealed by the "periodic acid-fuchsin sulfuric acid" technique, Amer. J. Anat, 90, 167-215
- Leblond CP, Clermont Y, 1952b. Definition of the stages of the seminiferous epithelium in the rat, Ann. New York Acad. Sci. 55, 548-573
- Lee JH, Choi BJ, Son SW, 1992. Spermogenesis in the Korean greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum korai*, Korean J. Elec. Micros. 22(2), 97-117 (in Korean with English abstract)
- Môri T, Arai S, Shiraishi S, Uchida TA, 1991. Ultrastructural observations on spermatozoa of the soricidae, with special attention to a subfamily revision of the Japanese water shrew *Chimarrogale himalayica*, J. Mamm. Soc. Japan. 16(1), 1-12
- Olson GE, Wintrey VP, 1994. Structure of acrosomal matrix domains of rabbit sperm, J. Ultrastr. Biol. 112, 41-48
- Phillips DM, Bedford JM, 1985. Unusual features of sperm ultrastructure in the musk shrew *Suncus murinus*, J. Exp. Zool. 235, 119-126
- Plöen L, 1971. A scheme of rabbit spermatogenesis based upon electron microscopical observation, Z. Zellforsch. 115, 553-564
- Plöen L, Ekwall H, Afzelius BA, 1979. Spermogenesis and the spermatozoa of the european common shrew (*Sorex araneus* L), J. Ultrastr. Res. 68, 149-159
- Rattern JB, Brinkley BR, 1972. Ultrastructure of mammalian spermogenesis. III. The organization and morphogenesis of the manchette during rodent spermogenesis, J. Ultrastr. Res. 41, 209-218
- Sandoz D, 1970. Evolution des ultrastructures au cours de la formation de l'acrosome du spermatozoïde chez la souris, Microscopie. 9, 535-558
- Son SW, Lee JH, 1995. Spermogenesis in the Korean striped field mouse *Apodemus agrarius coreae*, Korean J. Zool. 38(3), 395-404
- Son SW, Lee JH, Choi YM, Jeoung YM, 1994. Spermogenesis in the Korean cat (*Felis domestica*), Korean J. Zool. 37(3), 416-427 (in Korean with English abstract)
- Son SW, Lee JH, Choi BJ, Shin HJ, 1995. Spermogenesis in the Korean longed-fingered bat (*Miniopterus schreibersi fuliginosus*), Korean J. Zool. 38(3), 405-416
- Stefanini M, Oura C, Zamboni L, 1969. Ultrastructure of fertilization in the mouse. 2. Penetration of sperm into the ovum, J. Submicrosc. Cytol. 1, 1-23
- Suarez-Quian CA, An QU JN, Dym M, 1991. The Golgi apparatus of rat pachytene spermatocytes during spermatogenesis, Anat. Res. 229, 16-26
- Swierstra, EE, Foote RH, 1963. Cytology and kinetics of spermatogenesis in the rabbit, J. Reprod. Fertil. 5, 309-322
- Tanii I, Toshimori K, Araki S, Oura C, 1992a. Appearance of an intra-acrosomal antigen during the terminal step of spermogenesis in the rat, Cell Tissue. Res. 267, 203-208
- Tanii I, Toshimori K, Araki S, Oura C, 1992b. Extra-Golgi pathway of an acrosomal antigen during spermogenesis in the rat, Cell Tissue. Res. 270, 451-457
- Tanii I, Araki S, Toshimori K, 1994. Intra-acrosomal organization of a 90-kilodalton antigen during spermogenesis in the rat, Cell Tissue. Res. 277, 61-67
- Toshimori K, Tanii I, Araki S, Oura C, 1992. Characterization of the antigen recognized by a monoclonal antibody MN9: Unique transport pathway to the equatorial segment of sperm head during spermogenesis, Cell Tissue. Res. 270, 459-468
- Uchida TA, Môri T, 1972. Electron microscope studies on the fine structure of germ cells in chiroptera. I. Spermogenesis in some bats and notes on its phylogenetic significance, Sci. Bull. Fac. Agr. Kyushu Univ. 26, 399-418

- Yanagimachi R, Noda YD, 1970. Ultrastructural changes in the hamster sperm head during fertilization, J. Ultrastruct. Res. 31, 465-485
- Yang BG, Jiong HD, Koh HS, 1991. Sperm morphology of two species of the Genus *Apodemus* (Rodentia, Mammalia) in Korea, Korean J. Zool. 34(1), 59-63
- Zaneveld LJD, Polakoski KL, Williams WL, 1973. A proteinase and proteinase inhibitor of mammalian sperm acrosomes, Biol. Reprod. 9, 219-225

FIGURE LEGENDS

- Figs. 1-8.** Electron micrographs showing the Golgi, cap, acrosome, maturation and the subsequent spermiation phases in the Korean manchurian field mouse, *Apodemus speiosus peninsulae*.
- Fig. 1.** Electron micrograph of the early Golgi phase. The Golgi complex were formed at the anterior pole of the nucleus, and a small acrosomal vesicle (arrowheads) was appeared in upper on nucleus but the vesicle was not fixed. Note the appearance of flagellum and chromatoid body in cytoplasm (Inset). Fg, flagellum; Gc, Golgi complex; M, mitochondria; N, nucleus.
- Fig. 2.** Electron micrograph of the late Golgi phase showing a large acrosomal vesicle fixed to a recess of nucleus, and the Golgi complex and mitochondria are seen in the neighborhood of the acrosomal vesicle (arrowheads). Ag, acrosomal granule; Gc, Golgi complex; M, mitochondria; N, nucleus.
- Fig. 3.** Electron micrograph of the early cap phase. The acrosomal vecuole (Avo) spread outward from the anterior pole of nicleus but acrosomal granule was not flattened. Note formation of chromatin granules in spermatid nucleus. Ag, acrosomal granule; Cg, chromatin granule; Gc, Golgi complex; M, mitochondria; N, nucleus.
- Fig. 4.** Electron micrograph of a spermatid at the late cap phase showing the acrosome spread over the anterior one-third of the nucleus. Note Numerous mitochondria are seen in cytoplasm of posterior pole of the nucleus. A, acrosome; Av, acrosomal vesicle; Cg, chromatin granule; Fg, flagellum; M, mitochondria; N, nucleus.
- Fig. 5.** Electron micrograph of the early acrosome phase. The cytoplasm is shifted to the posterior parts of the cell. Note the appearance of manchette and nuclear ring, and the condensation of chromatin granules in nucleus. A, crosome; Cg, chromatin granule; M, mitochondria; Mc, manchette; N, nucleus; Nr, nuclear ring; Se, Sertoli cell.
- Fig. 6.** Electron micrograph of the late acrosome phase. Note acrosome spread over the anterior a half of the nucleus. Especially, the condensation of chromatin granules and elongation of nucleus. had better the late acrosome phase more cap phases. A, acrosome; M, mitochondria; Mc, manchette; N, nucleus; Nr, nuclear ring; Se, Sertoli cell.
- Fig. 7a and b.** Electron micrographs showing the maturation phases. a, Electron micrograph of the early maturation phase. Note nuclear condensation is almost completed. b, Electron micrograph of the late maturation phase. The nuclear ring migrated near the basal plate of nucleus. And, transverse section of middle piece of the late maturation phase (Inset). Note nine outer doublets and two central singlet microtubules. The axonemal complex consists of A and B microtubules, dynein arms (D) and radial links(R). And, number of 1, 5, 6, 9 of the outer dense fibers were larger than the others (Inset). A, acrosome; An, annulus; Es, equatorial segment; M, mitochondria; Mc, manchette; N, nucleus; Nr, nuclear ring; Odf, outer dense fiber; Pf, perforatorium; Se, Sertoli cell.
- Fig. 8a and b.** Electron micrographs showing spermiation phases. a, Electron micrograph of early spermiation phase. Note head and middle piece of immature sperm surrounded by cytoplasm Sertoli cells. b, Electron micrograph of late spermiation phase. Only the head of immature sperm was surrounded by cytoplasm Sertoli cells. And, separated sperm from Sertoli cells is seen in the lumen of seminiferous tubule. A, acrosome; Cd, cytoplasmic droplet; Fg, flagellum; L, lumen; M, mitochondria; N, nucleus; Rb, residual body; Se, Sertoli cell; Spt, sperm tail.





