Korean J. Zool. 38:395-404, 1995

한국산 등줄쥐(*Apodemus agrarius coreae*)에서의 정자변태

손성원 · 이정훈

경남대학교 자연과학대학 생물학과

한국산 등줄쥐(*Apodemus agrarius coreae*)의 정자변태 과정을 알아보기 위하여 세정관 상피의 세포분화에 따른 특징들과 정소상체 미부의 성숙정자의 형태적 특징들을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 세포구조물의 특징에 따라 골지, 두모, 첨체, 이탈단계는 각각 전 · 후기로 구분하였고 성숙단계를 1단계로 하여 한국산 등줄쥐의 정자변태의 전 과정을 9기(상)로 나눌 수 있었다. 핵질의 변화에 있어서, 염색질 과립들은 두모단계에서 응축하기 시작하여 첨체단계에서 구형의 형태로 진행되고, 성숙단계에서 균질화하여 완전히 정자의 핵을 형성하였다. 정자두부는 낫꼴모양을 가지며, 중편부의 외측섬유는 편자모양으로 배열되어 있고, 이들 외측섬유는 NO. 1, 5, 6, 9가 다른 것 보다 크다.

KEY WORDS: *Apodemus agrarius coreae*, Spermiogenesis

정자형성과정(Spermatogenesis)은 정소내 세정관 정상피가 일련의 연속적인 변화를 거쳐 정자로 되기까지의 과정을 말하며, 정모세포발생(Spermatocytogenesis)과 정자변태(Spermiogenesis)의 두 단계를 거쳐 완성되어진다. 이러한 일련의 단계적 변화를 Leblond와 Clermont(1952a)가 Periodic acid Schiff Technique으로 염색하여 광학적으로 세분하였고, 그 후 포유동물의 정자형성 단계의 규칙성이 제시되었다(Lebolnd and Clermont, 1952b; Burgos and Fawcett, 1955; Clermont and Leblond, 1955, 1959).

특히 정자형성에 관한 전자현미경적 연구로는 사람(Clermont and Leblond, 1955; de Kretser, 1969; Holstein, 1976; Holstein and Sch fer, 1978; Holstein and Schirren, 1979)을 비롯하여, 고양이(Burgos and Fawcett, 1955; Bedford *et al.*, 1979; Son *et al.*, 1994), 토끼(Swierstra and Foote, 1963; Plöen, 1971), 박쥐(Uchida and Môri, 1972; Oh *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 1993a, b), 개코원숭이(Chowdhury and Steinberger, 1976; Afzelius *et al.*, 1982), 뒤쥐(Plöen *et al.*, 1979), 소(Bae, 1984), 사향쥐(Phillips and Bedford, 1985; Môri *et al.*, 1991), 염소(Bae and Kim, 1985), 돼지(Kim, 1986), 캥거루(Kim *et al.*, 1987) 등의 정자형성과 관련한 정자변태에 관한 다수의 연구들이 수행되어져 왔다.

한편, 한국산 등줄쥐에 관한 연구에서 정자의 형태(Yang *et al.*, 1991)에 대한 보고를 제외하고는 정자변태에 관한 연구는 보고된 바 없다. 특히 본 종은 포유동물로서 육상과 지하생활을 겸하기 때문에 육상이나 지하생활만을 행하는 동물과의 상관관계를 규명하는데 매우 중요하며, 또한 본 종이 갖는 정자의 형태변화를 알아봄으로서 종을 규명하는데 분류학적 기준으로서도 의미가 있다.

따라서 본 연구는 한국산 등줄쥐(*Apodemus agrarius coreae*)의 정자형성과정 중의 정자변태과정을 광학현미경적, 전자 현미경적 관찰을 통하여 정자의 형태변화에 따른 특징을 알아보고자 시도하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 재료는 성숙한 등줄쥐 (striped field mouse, *Apodemus agrarius coreae*) 수컷 8개체를 사용하였으며, 각각의 실험군들은 경추파괴로 희생한 후 정소와 정소상체 미부를 적출하였다. 적출한 조직들은 3% glutaraldehyde(4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)와 1.33% OsO_4(4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)로 각각 3시간 전고정 및 2시간 후고정하였다. 고정이 끝난 조직들은 동일한 완충액으로 3회 수세한 다음 아세톤 상승농도 순으로 탈수하여 Epon 812 혼합액으로 포매하여 굳혔다. 포매가 끝난 조직들은 초박절편기(sorvall, MT-6000)을 이용하여 1 μm 두께로 세절하고 0.5% toluidine blue로 염색하여 정소내의 정상피 분화단계 중의 정자변태과정을 확인한 후, 이어서 60~90nm의 두께로 연속적인 절편을 얻어 uranyl acetate와 lead citrate 용액으로 이중염색하여 전자현미경(TEM, H-600, Hitachi)으로 관찰하였다. 또한 정소상체 미부의 성숙된 저장정자를 관찰하기 위하여 채취한 조직을 즉시 slide glass상면에 도말하여 광학현미경으로 관찰하였다.

결과

정자변태과정을 알아보기 위하여 전자현미경으로 이들 각각의 단계에서 나타나는 특징들을 토대로 하여 Lee 등(1992)의 방법에 따라 한국산 등줄쥐(*A. agrarius coreae*) 정자변태의 전과정을 9 상(phases)으로 나눌 수 있었다(Figs. 1~12).

골지단계

골지전기

초기 정자세포의 핵은 대개 구형 또는 타원형이고, 핵질은 고운 섬유상으로 핵 내부에 골고루 분산되어 있었다. 세포질 내에는 풍부한 골지체가 보이며, 미토콘드리아를 비롯한 활면소포체(Smooth endoplasmic reticulum)들이 고르게 분산되어 있었다. 특히, 골지체 아래쪽에 첨체과립을 함유한 작은 첨체소포가 핵 가까이에 있으나 아직 핵막과 융합되지 않았다(Fig. 1).

골지후기

이 시기에 도달한 정자세포의 첨체소포가 핵막과 융합되어 약간 함입되어져 있으며, 여전히 세포질내의 골지체가 핵의 상면에 존재하고 있다. 또한 미토콘드리아를 비롯한 세포질내의 소기관들이 고르게 분산되어 있었다(Fig. 2).

두모단계

두모전기

이 시기에는 첨체과립을 함유한 첨체소포는 더욱더 핵을 함입시키고 첨체소포내의 첨체물질(acrosomal substance)는 아직 첨체소포 내부에 골고루 분산되지 않았다. 여전히 세포질내에는 소기관들이 고르게 분산되어 있으나, 골지단계의 전·후기와는 달리 미토콘드리아들이 다소 핵의 후반부로 이동되었다. 또한 염색질 과립(chromatin granule)들이 다소 응축되어 나타났다(Fig. 3).

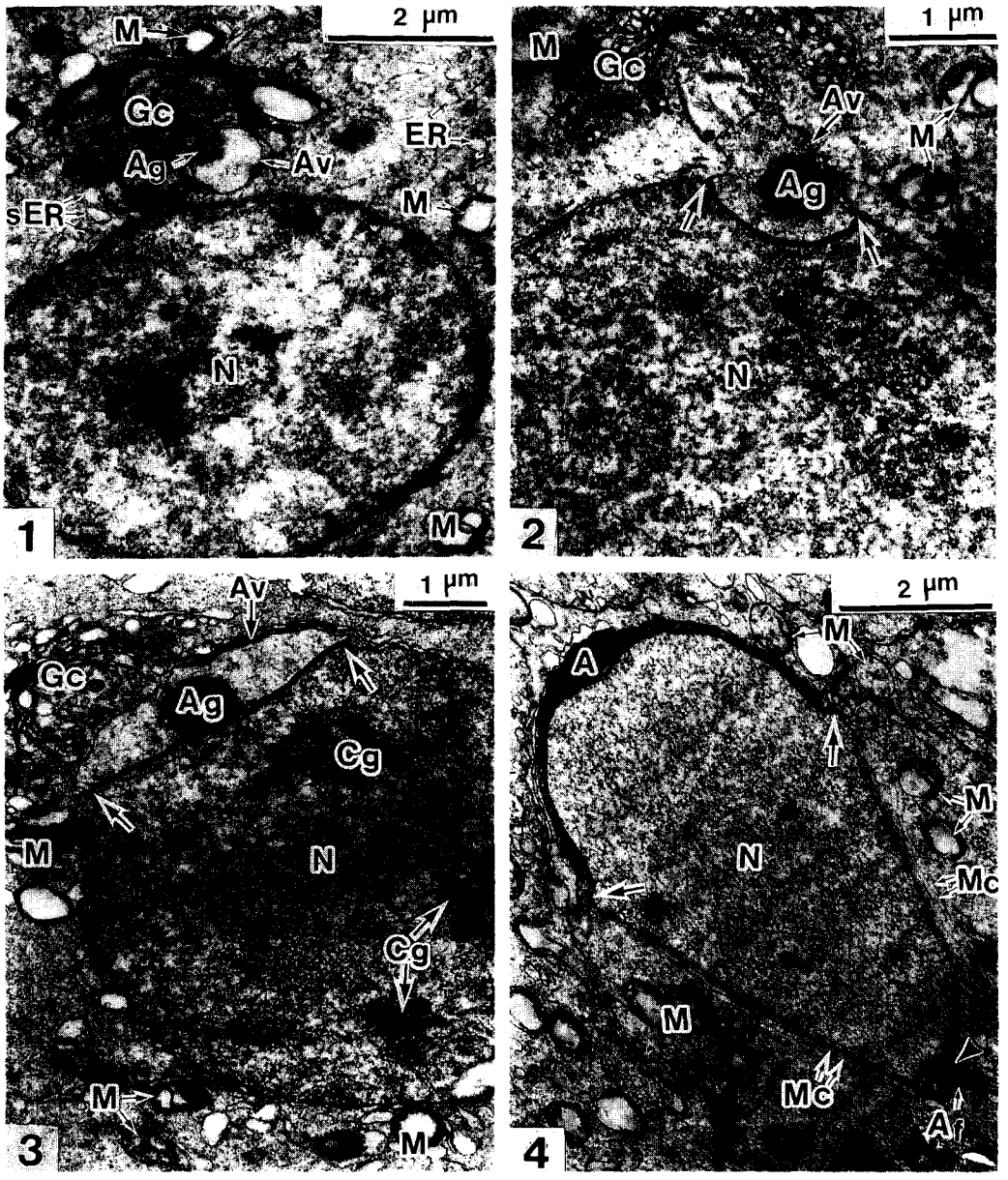
두모후기

이 시기에는 핵의 표면에 볼록렌즈상의 형태를 취한 첨체포(acrosomal vacuole)가 핵의 후방부로 향해 넓게 펴지고, 첨체과립들이 첨체포내에 서서히 응축되어 첨체를 형성하였다. 그리고 미토콘드리아들이 더욱더 핵의 후방부로 이동되어 나타났으며, 다소 핵의 신장과 아울러 만세트(mancette)의 구조물과 정자세포의 꼬리도 관찰되어졌다(Fig. 4).

첨체단계

첨체전기

초기의 첨체 형성 단계에서 첨체포내에 첨체물질들이 충만하게 내재 되어있고, 이때 외첨체막과 정자두부의 원형질막이 밀착되어 있었다. 직선상으로 뻗은 미세관(microtubules)들이 핵의 장축에 부합하여 만세트를 형성함과 동시에 만세트가 핵의 후방부로 길게 신장됨으로서 핵은 더욱더 신장화 되어졌다. 이와 때를 같이하여 상대



Figs. 1-9. Electron micrographs showing Golgi, cap, acrosome, maturation and the subsequent spermiation phases. Note arrows in Figs. 2~6, of mark boundaries of cover of nuclear membrane by acrosome.

Fig. 1. Electron micrograph of the early Golgi phase showing a small acrosomal vesicle (Av) near the juxtanuclear Golgi complex region. Note well-developed Golgi complex (Gc), Mitochondria (M) and smooth endoplasmic reticulum (sER) appeared in spermatid cytoplasm. **Fig. 2.** Electron micrograph of the late Golgi phase in April sample showing a large acrosomal vesicle (Av) fixed to a recess of the nucleus (N). **Fig. 3.** Electron micrograph of a spermatid at the early cap phase in April sample. The Golgi complex is seen in the neighborhood of the acrosomal vesicle (Av). Note the formation of chromatin granules (Cg) in spermatid nucleus. **Fig. 4.** Electron micrograph of a spermatid at the late cap phase in May sample shows acrosome (A), manchette (Mc), developing connecting piece (arrowhead), and axial filament (Af). Note acrosomal vesicle (Av) spreading outward from the anterior pole of the nucleus (N) and flatting over almost the acrosomal materials was not yet completely distributed into the fold of the acrosomal cap.

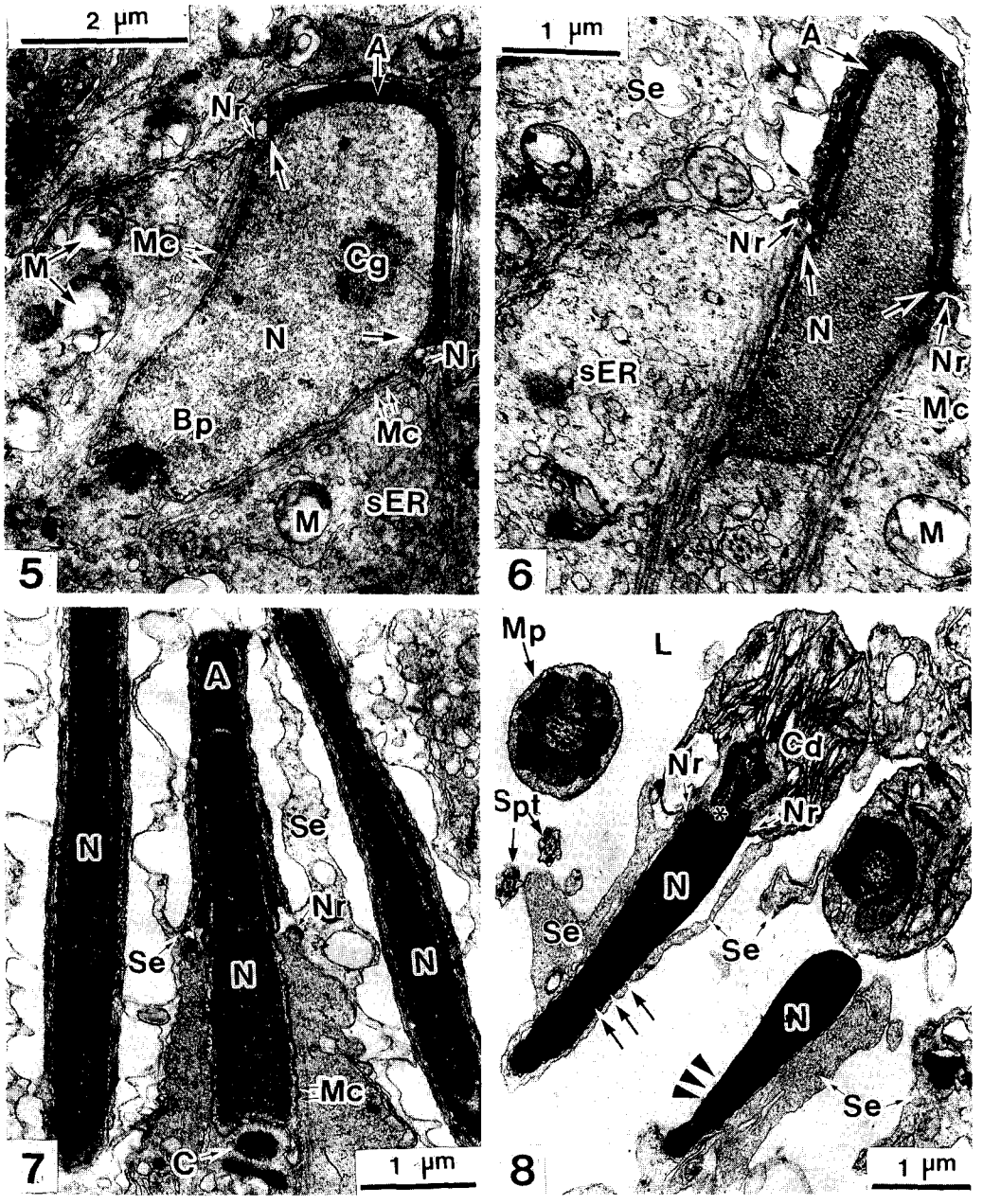


Fig. 5. Electron micrograph of a spermatid at the early acrosome phase. The acrosome spreads over the anterior one-third of the nuclear. Note the appearance of manchette (Mc) and nuclear ring (Nr) in the early acrosome phase. And, the condensation of a cylindrical chromatin granules in nucleus. **Fig. 6.** Electron micrograph of a spermatid at the late acrosome phase. This phase had the better elongation of nucleus and acrosome more than the early acrosome phase. Note the acrosomic vesicle spreads to one-half cap of the nuclear surface. **Fig. 7.** Electron micrograph of a spermatid at the maturation phase. Note this phase had the better condensation of chromatin granules in nucleus and the more decrease of the volume of spermatid cytoplasm than acrosome phase. **Fig. 8.** Electron micrograph showing spermiation phases. Note the nuclear ring (Nr) migrated near the basal plate (asterisk) of nucleus and the immature spermatids must contain cytoplasmic droplet (Cd) in late spermatid just before spermiation (arrows). And, the nuclear ring was located under the basal plate of sperm neck in late spermatid just after spermiation phase (arrowheads).

Fig. 9. Electron micrograph showing the tail of mature sperm in spermiation phase.
Figs. 10-12. Micrographs showing the mature epididymal sperm.
Fig. 10. Transection of the middle (Mp), principal (Pp), and end piece (Ep) of the epididymal spermatozoa showing extensively developed 9 outer dense fibers (Od), a pair of mitochondria and the 9+2 microtubular structure. Note Outer dense fibers of middle Piecem arranged in a horseshoe fashion, and the outer dence fiber number 1, 5, 6 and 9 are larger than others. **Fig. 11.** Light micrograph showing mature sperms in the cauda epididymis. **Fig. 12.** Electron micrograph showing numerous sperm and stored sperm to contain large cytoplasmic droplet (Cd) in the lumen (L).

적으로 볼록렌즈상의 첨체의 첨단부가 앞방향으로 돌출되며 첨체는 더욱더 농축되어 진다. 이 시기에서 첨체는 핵의 $\frac{1}{3}$정도를 덮고 있으며 만세트의 결합부위에 핵륜(nuclear ring)이 보였다. 그리고 핵의 중앙부위에 불규칙하고 전자밀도가 높은 염색질 과립들이 원형으로 농축되어 졌다(Fig. 5).

첨체후기

초기의 첨체단계로부터 형성된 첨체와 핵은 더욱더 길게 늘어남과 동시에 세장화 되고, 핵륜은 핵의 기저판 쪽으로 조금씩 이동하여 핵 전장의 1/2부근에 접근하여 위치하고 있었다(Fig. 6).

성숙단계

성숙기

첨체형성이 완전히 끝난 후로부터 첨체와 핵은 최대로 신장되고 핵내의 염색질은 더욱더 응축되었다. 그리고 핵륜의 이동은 첨체후기 단계와 비교해 볼때 다소 핵의 기저판 부위로 이동되어 나타났으며, 세포질의 체적(부피)은 현저하게 줄었다(Fig. 7).

이탈단계

이탈전기

이 시기의 핵질은 전자밀도가 매우 높고 균질한 상태를 유지하며 미토콘드리아가 중편부를 형성하고 있으나 이 시기에는 완전한 정자의 형태를 갖추지 않았다. 즉, 서톨리 세포로부터 완전히 이탈되지 않고 여분의 세포질 소적(cytoplasmic droplet)를 함유한 채로 서톨리 세포의 세포질 내에 박혀져 있었다(Fig. 8, arrows).

이탈후기

이 시기에서 핵륜의 이동은 핵의 기저판 아래로 내려오고 이와 때를 같이하여 미토콘드리아는 축사를 중심으로 종륜(또는 환상부, Annulus) 부위까지 나선형으로 감겨져 완전한 중편부를 형성하고 있었다. 또한, 정자 세포들은 서톨리 세포로 부터 이탈하여 완전한 정자로서 내강 쪽으로 배출된 후(Fig. 8, arrowheads), 정소상체를 이행하여 미부에 저장된다(Fig. 10). 저장정자의 중편부의 축사구조는 9+2이며, 외측 섬유(outer dense fiber)는 No. 1, 5, 6, 9가 다른 것 보다 다소 굵고 크다(Fig. 10). 성숙된 저장정자는 낫꼴 모양의 두부를 비롯하여 중편부와 주부 및 미부를 가지고 있었다(Fig. 11). 또한, 미부의 내강에는 다수의 완전한 형태를 갖춘 정자를 비롯하여 세포질 소적을 함유한 다수의 정자세포들도 관찰되었다(Fig. 12).

고찰

계절형 생식유형을 취하는 동물을 비롯한 수많은 포유동물 있어서의 정자형성과정은 정소내 세정관 정상피가 일련의 연속적인 변화를 거쳐 정자가 되기까지의 과정으로서 정모세포발생과 정자변태의 두 단계를 겨쳐 완성되어진다.

정자변태과정에서 세정관 정상피의 분화단계를 보면, 사람의 경우는 Clermont와 Leblond (1955)가 12기로 구분한 이후, de Kretser (1969)가 6기로, Holstein(1976) 및 Holstein과 Schirren(1979)는 8기로 나누었다. 토끼는 Swierstra와 Foote(1963)가 8기로 구분하였으나, 그 후에 Plöen(1971)은 10기로 구분하였다. 개코원숭이는 Chowdhury와 Steinberger (1976)가 12기로 나누었으나 Afzelius 등 (1982)은 10기로 나누었다. 돼지의 경우는 Frankenhuis(1982)등이 12기로 나누었으나, 金 등(1986)은 9기로 나누었다. 이러한 정자변태 과정을 구분해서 볼때, 동일종이라 하더라도 각각의 개체에서 세포분화의 양상이 빠르거나 다소 늦게 일어날 수도 있으며, 정자형성파의 개념과 같이 정소망의 가까운 부위의 세정관만을, 혹은 멀리 떨어져 있는 세정관만을 토대로 관찰한다면 정자완성의 정확한 결과를 얻기 어려울 뿐만 아니라, 어느 한 시기의 부분만을 선택하는 점도 다소 무리가 있다. 즉 발정기와 비 발정기, 혹은 교미기와 비 교미기 그리고 성체인지의 여부가 고려되어야 한다고 생각된다.

한편, 일부 동면을 취하는 동물들 중에는 세정관 정상피외 세포분화가 월별에 따라 그 분화양

상이 단계적으로 구분되어 나타나는데, 이는 교미시기를 적절히 조절함으로서 번식조절을 위한 것이라고 시사하였다(Lee *et al.*, 1993a).

본 연구에서는 한국산 등줄쥐의 정자변태의 전 과정을 미세구조에 따라 편의상 5단계로 나누어 이를 다시 세분하였다. 즉 골지단계, 두모단계, 첨체단계 및, 이탈단계를 각각 전,후기로, 그리고 성숙단계는 1단계로 하여 총 9기로 나누었다.

본 실험의 결과, 한국산 등줄쥐는 9기로서 소, 염소, 캥거루, 돼지와 같지만 정자변태 과정중의 세포구조물의 형태에 다소 차이가 있다. 즉 정자꼬리의 생성시기에 있어서, 소(Bae, 1984), 염소(Bae and Kim, 1985) 그리고 돼지(Kim, 1986)에서는 골지단계의 전기에서 세포막에 싸이지 않은 꼬리의 원기가 나타나서 첨체기에 꼬리가 핵에 붙기 시작한다고 기술하고 있다. 한편, 유럽뒤쥐(Plöen *et al.*, 1979)와 개코원숭이(Afzelius *et al.*, 1982)에서도 골지전기에서 꼬리의 원기가 관찰되어졌다. 이에 반하여, 등줄쥐의 경우는 두모단계 후기에 이미 완전한 중심립을 가지는 것으로 보아(Fig. 4) 아마도 관박쥐(Lee *et al.*, 1992)와 같이 두모전기에 생성되었을 것이라 여겨진다. 한편, Afzelius(1982) 등은 축사가 세포질 내부에 있을 경우에 세포막과 무관한 상태이며, 이것들이 분화과정 중에 계속적으로 길게 뻗어서 세포막 주변으로 이동하여 세포막에 접착하면 세포막이 축사를 둘러싸는 것으로 추정하였다. 그럼에도 불구하고, 정자의 축사 주변에 미토콘드리아가 나선형으로 감겨져서 서톨리 세포로부터 이탈 도중에 정자의 머리는 서톨리 세포의 세포질에 거의 수직으로 향하고, 이때 꼬리는 내강쪽으로 향하는데 그렇다면, 세정관내의 정자들은 운동성이 없는데 어떻게 이탈되는가에 대한 세부적인 조사가 필요하다.

핵내의 염색질의 변화에 있어서, 대개 포유동물은 균일하게 이루어 지나 사람의 정자핵 내에는 공포가 형성되는데(Pedersen, 1974), Fawcett(1958)는 공포의 형성은 분비물질과 관련이 있다고 보고하였고, Bedford 등(1979)은 핵의 가장자리에 나타나서 대개 수축된 양상을 보여주는 이 부위를 적도절(equatorial segment)이라고 하였다. 이와 관련하여 볼때, 염색질 과립의 생성시기와 소멸시기는 박쥐(Lee *et al.*, 1992)에서 처음으로 보고 되었다. 고양이(Son *et al.*, 1994)와 등줄쥐(Figs. 3-8)에서도 박쥐와 거의 동일하게 나타났다. 돼지의 경우(Kim, 1986)에는 두모단계 후기에서, 캥거루(Kim *et al.*, 1987)는 붕괴기(collapsing stage)에서 첨체소포가 붕괴 된 후 핵돌출기(nuclear protrusion stage)에서 첨체형성과 더불어 염색질 응축이 일어난다. 본 조사에서는 두모단계 전기부터 서서히 응축하여 나타나기 시작해서(Fig. 3), 첨체전기에서는 더욱 응축하여 환형으로 나타나는데(Fig. 5) 성숙기에는 거의 응축되고 나중에는 서톨리 세포로 부터 이탈될때 완전히 응축되고 균질화하여 비로소 완전한 정자의 핵을 형성하였다(Fig. 8).

한편, 정자세포는 두모단계 전기까지는 거의 원형이며(Fig. 3), 두모단계 후기에 만세트의 구조물이 나타났으며(Fig. 4), 첨체소포는 핵의 전방으로 돌출하여 마치 볼록렌즈상을 취하며, 첨체과립들이 응축되어 첨체를 형성한다. 소, 돼지, 박쥐등은 첨체전기에서부터 만세트의 구조물이 나타났으며, 고양이는 첨체후기에서부터 만세트의 구조물이 나타났다. 만세트의 생성과 핵륜의 생성은 정자의 핵을 신장시키는 것과 관련이 있는 바(Lee, *et al.*, 1992; Son *et al.*, 1994) 만세트의 기원과 형태발생에 관한 연구에서 보면, 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). 돼지는 다자 모양이나 링자모양의 이중환구조이며(Kim, 1986), 고양이는 원통상의 구조물(Son *et al.*, 1994)을 갖는데 이러한 미세관의 형태가 핵의 형태변화에 미치는 결과로서는 대개 설치류의 경우 정자두부가 낫꼴 모양인 반면에 포유동물의 정자의 두부가 둥글거나 포환형을 가짐을 볼때 만세트의 미세관 구조의 역할이 정자의 두부형성에 중요한 역할을 담당하리라 여겨진다.

만세트와 핵륜의 생성 및 소실(소멸)시기에서

보면, 소의 경우 첨체전기에서 만세트와 핵륜이 생성되어 성숙전기에 소실되며, 돼지의 경우는 만세트와 핵륜의 생성시기는 소와 동일하나, 소멸시기가 성숙후기에서 소실되며, 캥거루는 핵형성기에서 생성되어 성숙기에 소실되어 짐을 볼때 다소의 차이를 나타낸다. 본 연구에서도 핵륜의 출현과 이동개시는 박쥐(Uchida and Môri, 1974; Lee *et al.*, 1992)와 동일한 양상을 보였는데 즉, 첨체전기(Fig. 5)에서부터 이탈단계(Fig. 8)까지 나타났다. 이는 정자세포의 핵 후반부 및 post-nuclear cap의 형태형성에 중대한 역할을 한다고 시사하고 있는데(Uchida and Môri, 1972), 대개 포유류의 수정과정중 정자와 난자의 최초의 융합이 정자두부의 post-nuclear cap부분의 원형질막과 난자의 원형질막의 사이에서 일어 난다는 것은(Stefanini *et al.*, 1969; Yanagimachi and Noda, 1970) 포유류 정자의 수정능 획득에 중요한 역할을 하리라 생각되어 진다. 정자변태과정 중에서 사람(Holstein and Schäfer, 1978)의 정자세포 5단계에서 세포질내에 꽃모양구조(flower-like structure)가 나타나는데 고양이(Son *et al.*, 1994)의 경우에는 이탈전기에서 관찰된 바 있으나 본 연구에서는 관찰되지 않았다. 그러나 꽃모양구조에 대한 세부적인 기능은 알려져 있지 않은 실정이다.

이탈전기에서는 정자의 꼬리에 미토콘드리아가 나선형으로 감겨져 중편부를 완성하고(Fig. 9), 이탈후기에 이르러 정자는 세정관의 내강으로 빠져나가게 되고(Fig. 8) 정소상체를 이행하여 미부에 저장되어진다(Figs. 10-12). 그리고 미부의 내강에는 다수의 정자들을 비롯하여 정소로부터 유입된 세포질 소적을 함유한 다수의 미성숙한 정자세포들이 관찰되었다(Fig. 12). Yang등(1991)의 보고에 의하면, 저장정자의 중편부의 외측섬유는 No. 1, 4, 5, 9가 다른 것 보다 다소 굵고 크다고 기술하고 있는 반면에, 본 연구에서는 저장정자의 중편부의 외측섬유는 편자모양으로 배열되어 있고, No. 1, 5, 6, 9가 다른 것 보다 굵고 크다(Fig. 10). 그리고 중편부의 축사구조는 9+2이며, 낫꼴모양의 두부를 비롯하여 중편부와 주부 및 미부를 가지고 있었다(Fig. 11). 한편, 반수서동물인 *Suncus murinus*의 경우(Phillips and Bedford, 1985)와 일본산 Soricidae과에 속하는 *Sorex shinto*, *Chimarrogale himalayica* (Soricinae)와 *Crocidura dsinezumi*, *Suncusmurinus*(Crocidurinae)의 4종에 대한 보고(Môri *et al.*, 1991)에 의하면 이들 모두에서 중편부의 외측섬유는 편자모양의 형태로 배열되어 있다는 점에서는 본 연구와 일치하나, 이들 모두의 중편부의 외측섬유의 No. 1은 양측으로 돌출되어 있고, No. 5, 6의 섬유가 다른것보다 크며, 잘 발달된 satellite fiber는 Nos. 5와 6의 섬유들이 내면으로 모여져 발견된다는 점이 한국산 등줄쥐와 차이가 있다.

외형적으로 미성숙한 정자세포를 비롯한 정자의 세포질 소적은 경부와 중편부에 존재하고 그 내부에는 구부러진 미세관과 소형의 소포를 포함한 세포질이 충만하며(Bloom and Nicander, 1961) 이러한 세포질 소적을 함유한 정자가 정소상체 두부에서 체부로 이행하는 동안 소실된다고 보고하고 있으나(Amann and Almquist, 1962), 사정 후의 정자에도 존재한다(Kojima and Ishikawa, 1963). 또한 박쥐(Lee *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 1993b)와 고양이(Son *et al.*, 1994)을 비롯하여 본 연구에서도 정소상체 미부에서 다수의 세포질 소적을 함유한 정자들이 관찰되었다. 이러한 정자세포들이 수정에 관여하는지의 여부는 앞으로 연구되어야 할 과제라고 생각된다.

사사

본 연구는 1993년도 경남대학교 학술연구 조성비에 의하여 수행되었음.

인용문헌

Afzelius, B.A., R.E. Johnsonbaugh, J.W. Kim, L. Plöen, and E.M. Ritzn, 1982. Spermiogenesis and testicular

spermatozoa of the olive baboon (papio anubis). *J. Submicrosc. Cytol.* **14:** 627-639.

Amann, R.P. and J.O. Almquist, 1962. Reproductive capacity of dairy bulls. VII. Morphology of epididymal sperm. *J. Dairy Sci.* **45:** 1516-1526.

Bae, D.S., 1984. Electron microscopic studies on the spermiogenesis and the structure of the korean cattle spermatozoa. *Korean J. Anim. Sci.* **26:** 509-526.

Bae, D.S. and J.W. Kim, 1985. Electron microscopic studies on the spermiogenesis of the Korean goats. Proc. 3rd AAAP. *Anim. Sci. Cong.* **1:** 390-392.

Bedford, J.M., H.D.M. Moore, and L.E. Franklin, 1979. Significance of the equatorial segment of the acrosome of the spermatozoon in eutherian mammalian testis. I. Differentiation of the spermatids in the cat (Felis domestica). *J. Biophys. Biochem. Cytol.* **1:** 287-315.

Bloom, E. and L. Nicander, 1961. On the ultrastructure and development of the protoplsmic droplet of spermatozoa. *Z. Zellforsch.* **55:** 833-844.

Burgos, M.H. and D.W. Fawcett, 1955. Studies on the fine structure of the mammalian testis. Ⅰ. Differentiation of the spermatids in the cat (*Felis domestica*). *J. Biophys. Biochem. Cytol.* **1:** 287-300.

Chowdhury, A.K. and E. Steinberger, 1976. A. study of germ cell morphology and duration of spermatogenetic cycle in the baboon, *Papio anubis*. *Anat. Rec.* **185:** 155-170.

Clermont. Y. and C.P. Leblond, 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. and C.P. Leblond, 1959. Differentiation and renewal of spermatogonia in the monkey, *Macacus rhesus*. *Am. J. Anat.* **104:** 237-255.

de Kretser, D.M., 1969. Ultrastructural features of human spermiogenesis. *Z. Zellforsch.* **98:** 477-505.

Fawcett, D.W., 1958. The structure of the mammalian spermatozoon. *Int. Rev. Cytol.* **7:** 195-234.

Fawcett, D.W., W.A. Anderson, and D.M. Phillips, 1971. Morphogenetic factors influencing the shape of the sperm head. *Dev. Biol.* **26:** 220-251.

Frankenhuis, M.T., M.F. Kramer, and D.G. de Rooij, 1982. Spermatogenesis in the boar. *Vet. Q.* **4:** 57-61.

Holstein, A.F., 1976. Ultrastructural observations on the differentiation of spermatids in man. *Andrologia* **8:** 157-165.

Holstein, A.F. and E. Schäfer, 1978. A further type of transient cytoplasmic organelle in human spermatids. *Cell. Tissue. Res.* **192:** 359-361.

Holstein, A.F. and C. Schirren, 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, J.W., 1986. Electron microscopic studies on the spermiogenesis of the swine. *Korean J. Electron Microscopy* **16:** 1-13.

Kim, T.W., H.R. Harding, and C.D. Shorey, 1987. Electron-microscopic studies on the spermiogenesis and spermatozoa of the Allied Rock Wallaby(*petrogale assimilus*). *Korean J. Electron Microscopy* **17:** 1-15.

Kojima, Y. and T. Ishikawa, 1963. Etude au microscope électronique de la gouttelette protoplasmique observee dans le spermatozoide chez les taureaux. *Jpn. J. Vet. Res.* **11:** 152-158.

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

Leblond, C.P. and Y. Clermont, 1952b. Definition of the stages of the seminiferous epithelium in the rat. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **55:** 548-573.

Lee, J.H., B.J. Choi, and S.W. Son, 1992. Spermiogenesis in the Korean greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum korai*. *Korean J. Electron Microscopy* **22:** 97-117.

Lee, J.H., S.W. Son, T. Môri, and S. Shiraishi, 1993a. Studies on the reproductive pattern in the male of Korean greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum korai*. Ⅰ. The cycle of seminiferous epithelium and histological changes of testis. *Korean. J. Zool.* **36:** 36-50.

Lee, J.H, S.W. Son, T. Môri, and S. Shiraishi, 1993b. Studies on the reproductive pattern in the male of Korean greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum korai*. Ⅱ. Histological changes of cauda epididymis by sperm entrance, storage and disappearance. *Korean. J. Zool.* **36:** 51-66.

Môri, T., S. Arai, S. Shiraishi, and T.A. Uchida, 1991. Ultrastructural observations on spermatozoa of the soricidae, with special attention to a subfamily revision of the Japanese water shrew *Chimarrogale himalayica*. *J. Mammal. Soc. Jpn.* **16:** 1-12.

Oh, Y.K., T. Môri, and T.A. Uchida, 1985. Spermiogenesis in the Japanese greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum nippon*. *J. Fac. Agric. kyushu. Univ.* **29:** 203-209.

Pedersen, H., 1974. The human spermatozoon. *Danish Med. Bull. Suppl.* **21:** 1-36.

Phillips, D.M. and J.M. Bedford, 1985. Unusual features of sperm ultrastructure in the musk shew *Suncus*

murinus. J. Exp. Zool. **235:** 119-126.

Plöen, L., 1971. A Scheme of rabbit spermateleosis based upon electron microscopical observation. *Z. Zellforsch.* **115:** 553-564.

Plöen, L., H. Ekwall, and B.A. Afzelius, 1979. Spermiogenesis and the spermatozoa of the european common shrew (*Sorex araneus* L). *J. Ultrastruct. Res.* **68:** 149-159.

Rattner, J.B. and B.R. Brinkley, 1972. Ulrasturcture of mammalian spermiogensis. Ⅲ. The oragnization and morphogenesis. of the manchette during rodent spermiogenesis. *J. Ultrastruct. Res.* **41:** 209-218.

Son, S.W., J.H. Lee, Y.M. Choi, and Y.M. Jeoung, 1994. Spermiogenesis in the Korean cat (*Felis domestica*). *Korean J. Zool.* **37:** 416-427.

Stefanini, M., C. Oura, and L. Zamboni, 1969. Ultrastructure of fertilization in the mouse. 2. Penetration of sperm into the ovum. *J. Submicrosc. Cytol.* **1:** 1-23.

Swierstra, E.E. and R.H. Foote, 1963. Cytology and kinetics of spermatogenesis in the rabbit. *J. Reprod. Fertil.* **5:** 309-322.

Uchida, T.A. and T. Môri, 1972. Electron microscope studies on the fine structure of germ cells in Chiroptera. Ⅰ. Spermiogenesis in some bats and notes on its phylogenetic significance. *Sci. Bull. Fac. Agric. Kyushu Univ.* **26:** 399-418.

Uchida, T.A. and T. Môri, 1974. Electron microscopic 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 schreibersi fuliginosus. Sci. Bull. Fac. Agric. Kyshu Univ.* **3:** 177-184.

Yanagimachi, R. and Y.D. Noda, 1970. Ultrastructural changes in the hamster sperm head during fertilization. *J. Ultrastruct. Res.* **31:** 465-485.

Yang, B.G., H.D. Jeong, and H.S. Koh, 1991. Sperm morphology of two species oh the Genus *Apodemus* (Rodentia, Mammalia) in *Korea. Korean J. Zool.* **34:** 59-63.

(Accepted June 13, 1995)

Spermiogenesis in the Korean Striped Field Mouse *Apodemus agrarius coreae*

Sung-Won Son and Jung-Hun Lee (Department of Biology, College of Natural Sciences, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea)

In order to study the process of spermiogenesis of the Korean striped field mouse *Apodemus agrarius coreae*, the cell differentiation of seminiferous epithelium and morphological features of mature sperm in cauda epididymis was examined and the results are as follows:

Spermiogenesis was divided, according to the features of cell structure; Golgi, cap, acrosome and spermiation phases were further subdivided into two steps of early and late phases respectively, and maturation phase has only one step. Hence, the spermiogenesis consists of nine phases. In the changes of the chromatin in nucleus, the chromatin granules began to be condensed in the cap phase and the condensation proceeded to form a globular of nucleus at the acrsome phase. Finally, the chromatin regularization was completed and perfect nucleus of sperm was formed at the maturation phase. Sperm head had the falciform, and the outer dence fibers of middle piece were arranged in a horseshoe fashion. The outer dence fiber number 1, 5, 6 and 9 was larger than other fiber number 2, 3, 4, 7, 8.