

## 쥐 Sertoli 세포돌기의 주사전자현미경적 연구

박영석 · 이성호 · 권건오\*  
공주문화대학 애완동물과

### Scanning Electron Microscopic Study of the Sertoli Cell Processes in the Rat

Park, Y. S., S. H. Lee and G. O. Kwon\*

Department of Companion Animal, Kongju National Culture College

#### SUMMARY

The three-dimensional structure of the Sertoli cell in the rat was investigated by scanning electron microscopy. Morphologically, seven types of Sertoli cell processes were evident :

Short, flat and ramified processes are projected from the lateral side of the basal portion of Sertoli cell. Leaf-like processes are attached to the surface of spermatocytes and spermatids. Slender cord-like processes, flat and irregular shaped processes, sucker-like processes and club-like processes are observed in the middle and apical portion of seminiferous epithelium. The sheet-like processes rest upon more than one-thirds of the surface of each spermatogonium, spermatocytes and spermatids located in the proximity of the Sertoli cell. All Sertoli processes are originated from Sertoli cell column. Just before spermiation, the processes which are attached to the head of maturation spermatid are eliminated. Though the mechanism for elimination of residual body is not known, these observations suggest that the Sertoli cell process are thought to have a reciprocity with the germ cells.

(Key words : Rat, Sertoli cell processes, SEM)

#### I. 서 론

고환의 정세관에서 Sertoli 세포는 각종 정세포를 성숙시키며 정자발생 및 형성과정에 대단히 중요한 역할을 한다. Sertoli 세포는 정세포보다 크며, 표면으로부터 여러 형태의 수많은 세포돌기를 가진 나무모양의 불규칙한 원주형태로 정세관의 기저부로부터 내강으로 뻗어 있으며, 정자형성과정에서 Sertoli 세포는 세포돌기의 작용으로 정모세포를 내강으로 운반시키는 중요한 역할을 한다.

Sertoli 세포에 관한 미세구조의 관찰은 투과전자현

미경(transmission electron microscope; TEM)을 이용하여 Sertoli 세포와 발육하는 정자세포 사이의 상관적인 구조물에 대한 연구가 보고되었으며(Nagano, 1968), Sertoli 세포와 정자세포 사이의 특수한 구조의 결합에 관한 연구가 보고된 바 있다(Nicander, 1967; Flickinger와 Fawcett, 1975; Ross, 1975; Romrell과 Ross, 1979, 박과 이, 1992). Sertoli 세포돌기가 정자세포질내에 침입하여 상호 물질을 교환하는 역할과 고정시키는 기능을 가지고 있으며(Morales 와 Clermont, 1982; Vogl 등, 1985), 또한 침투된 Sertoli 세포돌기는 canal complex를 형성하여 불필요한 정자세포질인 잔류체를 제거한다고 주장하였다

\* 축협 당진 사료공장(Dang Jin Livestock Cooperative Feed Mill)

(Sakai 등, 1988; 1989).

근래 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 Syrian hamster의 Sertoli 세포돌기의 3차원적 구조가 보고(Gravis, 1978)된 이후, 쥐와 원숭이의 Sertoli 세포는 0.1 $\mu$ m 두께의 연속절편을 제작하여 투과전자현미경으로 관찰하고, 이 결과에 의해 Sertoli 세포를 3차원적으로 재구축하였으며(Wong과 Russell, 1983; Weber 등, 1983; Russell 등, 1983; 1986), 주사전자현미경을 이용하여 쥐의 Sertoli 세포를 3 종류의 primary 돌기와 basolateral 돌기의 3차원적 구조 및 연관성에 대한 연구가 보고되었다(Hamasaki, 1981; 1987). 또한 Park 등(1993)은 1 $\mu$ m 두께의 semi-thin 연속절편을 이용하여 개(犬) Sertoli 세포의 2차원적 윤곽을 computer로 조합하여 Sertoli 세포를 3차원 영상으로 재구축한 바 있다. 하지만 이러한 연구에도 불구하고 동물종에 따른 3차원적인 연구는 많지 않은 상태이며, 또한 같은 종을 대상으로 한 연구도 연구자에 따라 약간의 차이를 나타내고 있다.

본 연구는 일련의 정자형성과정에 중요한 역할을 하는 Sertoli 세포 및 돌기와 연관된 각종 정세포에 대한 삼차원적인 연관관계에 대한 심도있는 기초자료를 얻기 위해 쥐를 대상으로 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

실험동물은 외견상 건강하고 성성숙한 6개월령 Sprague Dawley 쥐 5마리를 사용하였다. 실험에 사용한 쥐는 ether로 흡입마취한 후 복강동맥을 통하여 3% glutaraldehyde (0.1M phosphate buffer, pH 7.2)로 고환을 관류고정하고 안락사 시켰다. 일차 고

정된 쥐의 양측 고환은 적출하여 세분하였으며 관류고정에서 사용한 고정액으로 4 $^{\circ}$ C에서 하룻밤 동안 재 고정하였다. 재 고정된 고환은 주사전자현미경으로 관찰하기 좋은 크기인 2 $\times$ 2 $\times$ 5 mm로 세절하였으며, 세절된 시료는 8% saccharose가 첨가된 0.1M phosphate buffer(PB)로 세척하였다. 세척한 고환 시료는 8N hydrochloric acid 용액으로 60 $^{\circ}$ C에서 20분에서 40분 동안 처리하여 불필요한 조직세포를 분쇄하여 제거하였다. 일부 불필요한 조직세포가 제거된 시료는 PB로 세척한 후 초음파세척기를 이용하여 10분 동안 처리하여 일부 조직세포를 세척하였다. 세척된 조직은 1% osmium tetroxide로 후 고정하였다. 고정된 시료는 알콜로 탈수하였으며 critical-point dryer로 건조하였다. 건조된 시료는 gold로 코팅한 후 HHS-2R 주사전자현미경으로 20kV전압하에서 관찰하였다.

## III. 결 과

쥐의 정세관의 단면은 원형 또는 타원형의 형태를 나타내고 있었으며 기저막을 중심으로 정조세포, 정모세포와 Sertoli 세포가 부착된 기저층과 일부 정모세포, 둥근 정자세포 및 장축성장한 정자세포가 배열된 중간부, 정자세포가 내강으로 완전히 빠져나가 원형정자세포군으로 구성되거나 일부는 후기 성숙 정자세포와 잔류체가 산재된 첨단부로 구분할 수 있었다.

Sertoli 세포는 정세관의 기저부에서 시작하여 내강으로 뻗어 있는 원통형의 column형태를 나타내고 있었으며, Sertoli 세포의 column으로부터 여러 가지 형태의 돌기들을 관찰할 수 있었다.

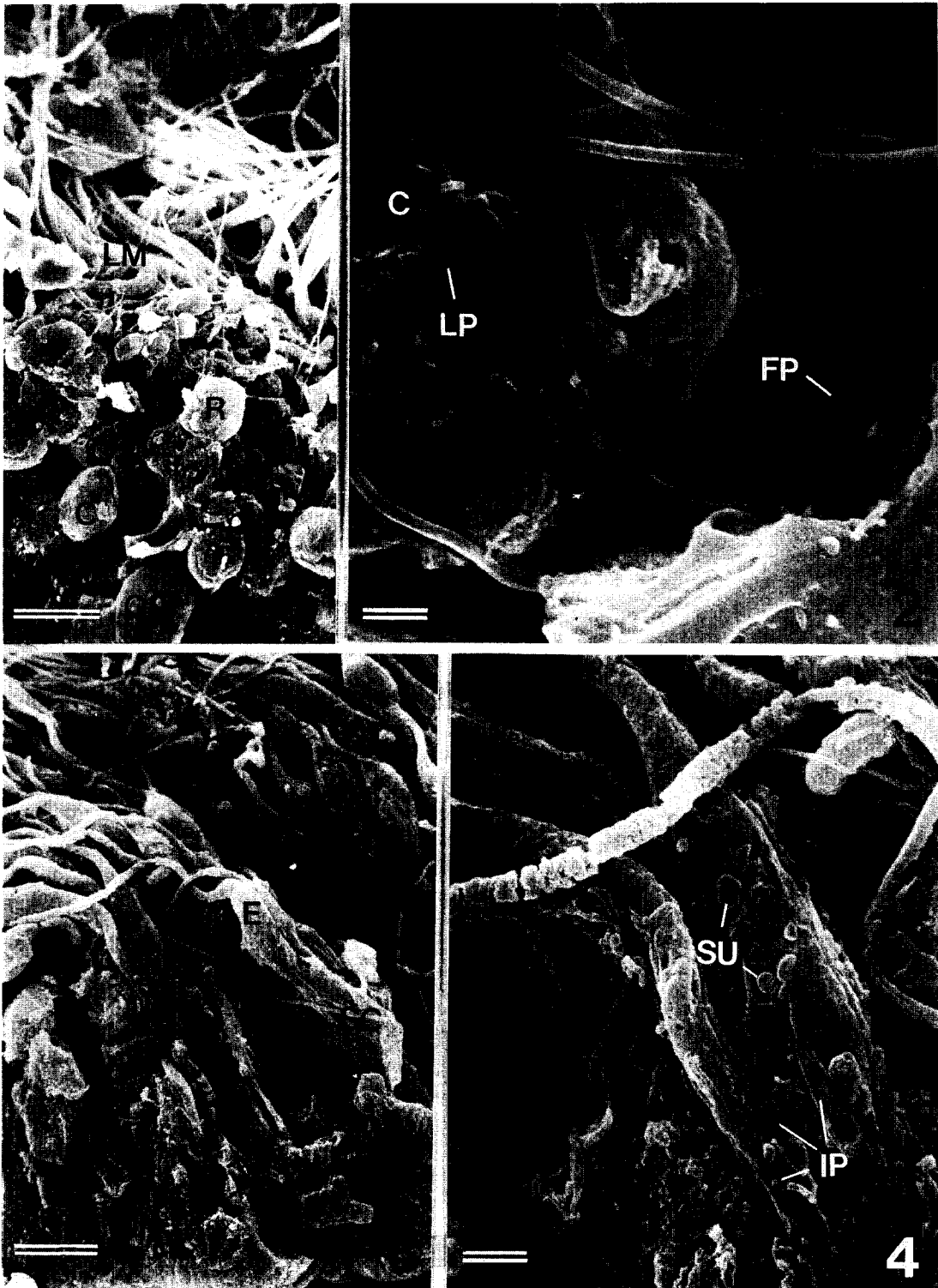
정세관 기저부에는 주로 타원형 또는 둥근모양의 정

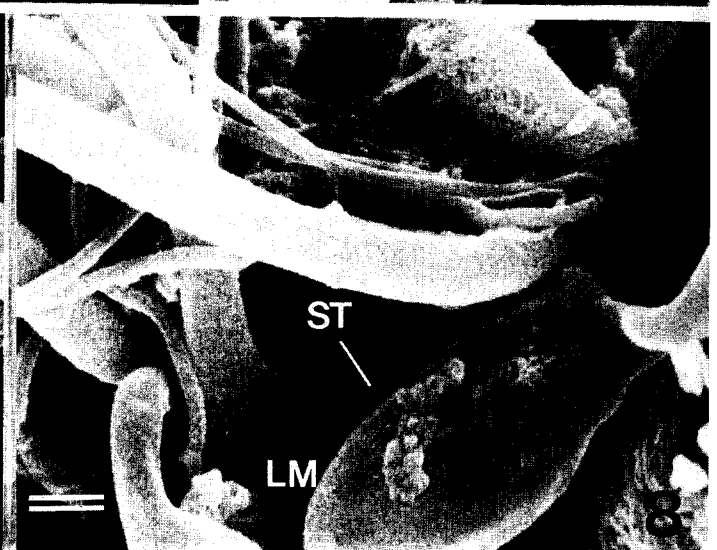
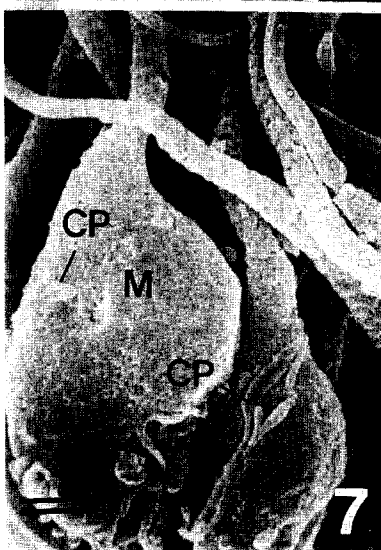
**Fig. 1. Spermatocytes(C) and round spermatids(R) which are attached to the middle part of the seminiferous epithelium can be seen. The late maturation spermatids(LM) are located in the apical portion. Also spermatogonia(G) which are more easily exfoliated(arrowhead) from the Sertoli cell column by the maceration can be observed. Bar is 10 $\mu$ m**

**Fig. 2. There are several short, flat and ramified processes(FP) which are projected from the lateral side of the Sertoli cell. The leaf-like process(LP) is attached to the surface of spermatocyte(C). Bar is 2 $\mu$ m**

**Fig. 3. Seminiferous epithelium from the basal portion to the apical portion. Elongated spermatids(E) are surrounded by Sertoli cell column(SC). Bar is 10 $\mu$ m**

**Fig. 4. Flat and irregular shaped processes(IP) and sucker-like processes(SU) are attached to the surface of elongated spermatid(E). Bar is 2 $\mu$ m**





정세포와 정모세포들이 Sertoli 세포질에 묻혀있는 형태를 관찰할 수 있었으며(Fig. 1), 중간부의 Sertoli 세포에는 등근 정자세포(Fig. 1, 3)와 장축성장중인 정자세포(Fig. 3)의 두부가 파묻혀 있었다. 정세관 내 강측면인 침단부는 이출전의 정자세포가 관찰되었다(Fig. 1). 또한 정세관 기저부의 일부에서 과도한 조직의 분쇄(maceration)에 의해 정조세포가 떨어져나간 부분이 관찰되었다(Fig. 1, 3). 정조세포가 떨어져나간 부위에서 관찰된 Sertoli 세포 돌기는 Sertoli column으로부터 돌출되었으며, 형태는 짧으며 끝부분이 납작하고 가지를 치고 있는 돌기를 관찰할 수 있었으며, 정모세포에 부착되어 있는 잎모양의 돌기도 관찰되었다(Fig. 2). 또한 기저막 근처의 Sertoli 세포에서는 가는 코드형태의 돌기도 관찰되었다(Fig. 2). 정조세포와 정모세포는 모두 Sertoli 세포에 1/2에서 1/3정도 씩 묻혀 있었으며 노출된 부위는 마치 나무 가지에서 뻗은 끝이 넓은 잎모양 돌기가 부착되어 있었다.

정세관 중간부에서는 일부 정모세포와 등근 정자세포 및 장축성장한 정자세포가 Sertoli 세포의 세포질에 묻혀있는 형태를 나타냈으며 유선형 모양의 정자세포 두부는 Sertoli 세포 column으로부터 종이 형태의 돌기를 형성하여 감싸고 있었다. Sertoli 세포 column과 이 부위에서 형성된 종이 형태의 돌기(Fig. 5)로부터 가지가 쳐지고 얇으며 불규칙한 형태의 돌기가 돌출되어 있었으며, 흡판형태의 돌기가 관찰되었다(Fig. 4, 5, 6). 내강측으로 이동하는 장축성장한 정자세포의 두부는 끝이 곤봉 형태를 한 짧은 돌기와 코드 형태의 긴 돌기로 둘러싸여 있었다(Fig. 5, 6).

내강측의 침단부는 성숙단계에 있는 정자세포 두부를 감싸고 있는 끝이 넓어진 가지치진 곤봉형태의 돌기들이 관찰되었다(Fig. 7). 이출직전의 정자세포는 두부 표면이 매끄러우며 Sertoli 세포 돌기들을 탈락되어 관찰할 수 없었다. 정자세포질로 구성된 잔류체는 정자세포 목부위에 연결되어져 있는 잔류체경이 관찰되었다(Fig. 8).

#### IV. 고 찰

정세관에서 Sertoli 세포는 각종 정세포보다 크며, 여러 형태의 수많은 세포돌기를 가진 나무모양의 불규칙한 원주형태로 정세관의 기저부로부터 내강으로 뻗어있으며, 정조세포에서 정자로 완성되기까지 필요로 하는 영양의 공급, 노폐물의 제거 등 정자형성 과정에 대단히 중요한 역할을 하며, Sertoli 세포돌기는 작용으로 정모세포를 내강으로 운반시키는 중요한 역할을 한다(Fawcett, 1975; Russell 등, 1983, 1986; Webber 등, 1983; Wong과 Russell, 1983; Park 등, 1993).

정자형성과정에서 대단히 중요한 역할을 하는 Sertoli 세포와 돌기에 대한 3차원적 구조에 대한 형태학적 연구는 Gravis(1978)에 의해 햄스터를 대상으로 주사전자현미경으로 Sertoli 세포와 돌기를 관찰하여 최초로 보고되었다. 햄스터를 대상으로 한 이 연구에서 정자형성 과정별로 나타나는 Sertoli 세포 돌기들은 성숙정자세포 꼬리부위와 두부를 소매모양의 Sertoli 세포로 감싸고 있었으며, 소매부리 형태의 돌기는 정자유리를 위해 정자세포 두부를 둘러싸는 소매형태 돌기의 종말을 분리하며, 부속된 돌기는 정자 이출중

**Fig. 5. The club(CP) and slender cord-like processes(SP) originated from the apical area of the Sertoli cell column. These processes are wrapping head of elongated spermatid. The sheet-like processes(SLP) are observed in the upper-middle area of Sertoli cell column. Bar is 2 $\mu$ m**

**Fig. 6. SEM view of the Sertoli cell shows the slender cord-like processes (SP) originated from the Sertoli cell column(SCC) and sheet-like process. Bar is 2 $\mu$ m**

**Fig. 7. Maturation spermatids(M) in the apical portion of seminiferous epithelium. Flat, club-like ramified processes(CP) wrapping the head of elongated spermatid can be seen. Bar is 1 $\mu$ m**

**Fig. 8. View of the late maturation spermatids(LM). The processes attached to the spermatid head are eliminated just before spermiation. The stalk(ST) of residual body is severed. Bar is 1 $\mu$ m**

Sertoli 세포의 등부분에서 확장되어 정자 이출후 회번될 때까지 길어져 정자형성과정에서 Sertoli 세포와 돌기의 중요성을 제시되었다. 이러한 연구에 뒤이어 수행된 일련의 연구들은 동물별 Sertoli 세포와 돌기의 형태학적 구조와 기능에 대해 연구가 이루어져, 개 (Park 등, 1993), 쥐 (Wong 등, 1983; Hamasaki와 Murakami, 1986), Shiba goat (Kurohmaru와 Nishida, 1987), 원숭이 (Russell 등, 1986) 등을 대상으로 형태학적 연구와 정자형성과정에서 Sertoli 세포와 돌기가 수행하는 기능에 대한 연구가 수행되었다.

본 연구에서 쥐의 Sertoli 세포의 관찰은 상기 연구자의 방법에 따라 정세관을 기저부, 중간부 및 첨단부로 나누어 관찰하였다. 동물종에 따라 정세관의 형태와 각종 정세포의 배열 등은 약간의 차이는 있으나 대부분 유사한 배열을 나타내고 있었다. 본 연구에서 나타난 Sertoli 세포 돌기의 종류는 기저부 Sertoli 세포로부터 돌출한 납작하고 가지쳐진 돌기와 일형태의 돌기가 정세포와 정모세포에 부착되었으며, 가는 코드형태의 돌기, 종이 형태의 돌기, 가지 쳐지고 얇으며 불규칙한 형태의 돌기, 곤봉형태의 돌기 및 흡판형태의 돌기들은 중간부 및 첨단부 등에 위치한 장축성장한 정세포 두부 부분에 분포되어 있어서 각종 정세포와 물질교환에 필요한 통로역할을 수행하며, 물리적으로 정세포들을 매어두는 역할 (Russell과 Clermont, 1976; Malone, 1979; Russell, 1979a, 1980; Morales와 Clermont, 1982; Vogl 등, 1985; Sakai 등, 1988; Sakai와 Yamashina, 1989; 박과 이, 1992)을 수행하리라 사료된다. 또한 정자이출 직전에서는 정세포 두부에 부착된 곤봉형태 돌기들이 제거되어 있음이 관찰되었고, 정세포의 불필요한 세포질로 구성된 잔류체는 정세포 목부위에서 잔류체경을 형성하여 Sertoli 세포 column 첨단부위에 위치하였다. 정자이출 직전의 이 시기에서 정세포는 Sertoli 세포로부터 더 이상의 물질교환은 불필요하며, 자유롭게 정자 이탈을 수행하기 위해 물리적으로 붙잡아 매어두는 역할의 필요성이 없어진 상태로 생각된다. 따라서 이러한 관찰의 결과에서 Sertoli 세포와 돌기는 정자형성 과정에 밀접한 상호 연관성이 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에 이용되었던 쥐와는 품종이 다른 40일령 Winster종 쥐의 Sertoli 세포 돌기에 대한 연구 (Hamasaki와 Murakami, 1986)에서는 Sertoli 세포로 부

터 돌출된 일차적인 돌기를 4가지 형으로 구분하였다. 즉 나무가지형태, 종이 또는 옷소매형태, 수축된 돌기 및 포장지형태 돌기 등으로 구분하였다. 또한 첨단부 돌기들은 수포상, 나무형태 및 가지쳐진 덩굴형태 등 부속물에 의해 3가지 형태로 구분하여 보고하였다. Kurohmaru와 Nishida(1987)는 shiba goat를 대상으로 Sertoli 세포를 3차원적으로 관찰한 결과에 의하면 정세포 표면은 가지쳐진 돌기들로 싸여 있음을 보고하였다. 또한 Park 등(1993)이 개의 Sertoli 세포 돌기를 3차원적으로 재 구축한 결과는 쥐나 산양에서 보여지는 돌기들과는 다른 형태를 보여주었다. 본 연구에서 구분된 7가지 돌기들은 산양이나 개의 일부 돌기들과는 다른 형태를 나타내고 있으며, Winster 쥐를 대상으로 한 결과와는 일부 돌기에서 유사성을 보였으나, 연구자의 연구 접근방법과 견해에 따라 돌기의 분류방법이 차이가 있었다. 즉, Hamasaki와 murakami(1986)가 구분하였던 일차적인 돌기 중에서 가지쳐지고 덩굴의 가지형태 돌기는 본 연구에서 가는 코드형태 돌기, 곤봉형태 돌기 및 흡판형태 돌기로 세분화 되었다. 본 연구에서 구분한 종이형태 돌기는 Sertoli 세포 column에서 분지되어 마치 나무껍질 형태로 존재하며 여기에서 여러 돌기들이 기원하고 있는데 반해 Hamasaki와 Murakami(1986)는 종이 또는 옷소매형태 돌기가 나무형태이고 덩굴이 분지된 형태로 기술하여 본 연구와는 차이를 보이고 있었다. 하지만 본 연구 결과에서는 Park(1993) 등이 보고한 개의 돌기 형태 중 곤봉형태 돌기와 가늘고 긴 코드형태 돌기와 비슷한 형태를 나타내고 있었으며, 출현하는 부위도 비슷하였다. 하지만 종이형태 돌기는 이름은 같지만 동물종의 차이로 인하여 형태적으로는 상이하였다. 즉, Park 등(1993)이 보고한 종이형태 돌기의 두께는 대단히 얇으며 정모세포나 정세포를 감싸고 있지만, 본 연구에서 나타난 종이형태 돌기는 두터우며, 정세포 또는 Sertoli 세포 column을 감싸고 있었 약간의 차이를 인정할 수 있었다.

이상과 같은 본 연구의 결과에서 분류된 7가지 형태의 Sertoli 세포 돌기는 부위에 따라 존재하는 돌기형태가 다르며, 이들의 역할은 각종 정세포들이 성장함에 따라 특유의 역할을 수행하리라 생각된다. 즉, Sertoli 세포와 돌기는 정자형성과정에서 각종 정세포들과 상호 물질교환을 이루는 통로로서의 역할을 하며,

성숙 중인 정세포들을 붙잡아 매어두는 물리적 역할도 함께 수행하리라 추정할 수 있으나, 이 돌기들의 정확한 기능은 더욱더 심도있는 연구를 통해 밝혀져야 한다고 사료된다.

## V. 적 요

쥐의 Sertoli세포 돌기를 주사전자현미경으로 연구하였다. 형태학적으로 Sertoli 세포 돌기는 7가지로 구분되었다. 짧으며 납작하고 가지가 처진 돌기는 기저부의 Sertoli 세포 측면으로부터 돌출되었으며, 앞모양의 돌기는 정모세포와 정자세포의 표면에 부착되어 있었다. 가늘고 긴 코드형태의 돌기, 얇으며 불규칙한형태의 돌기, 홈판형태 돌기 및 곤봉형태 돌기들은 정세관의 중간부 및 침단부에서 관찰되었다. 종이형태 돌기는 정조세포, 정모세포 및 정자세포를 1/3이상 감싸고 있었으며 Sertoli 세포에 근접되어 있었다. 모든 돌기는 Sertoli 세포 column에서 기시되었다. 정자이출 직전, 성숙정자세포 두부에 부착되었던 돌기는 탈락되어 관찰할 수 없었다. 비록 정자세포질의 잔류체 제거에 대한 기전은 명확치 않지만, 본 연구결과에서 Sertoli 세포 돌기는 각종 정세포들 사이에 상호의존적 관계가 있음을 시사한다.

## VI. 인용문헌

1. Gravis, C. J. 1978. Scanning electron microscopic study of the Sertoli cell and spermiation in the Syrian hamster. *Amer. J. Anat.*, 151:21-38.
2. Fawcett, D. W. 1975. Ultrastructure and function of the Sertoli cell. In:(ed. by) D. W. Hamilton and R. O. Greep: *Handbook of physiology, Sect. 7: Endocrinology, Vol. V: Male reproductive system.* American Physiological Society, Washington, D. C., 21-55.
3. Flickinger, C. J. and D. W. Fawcett. 1967. The junctional specialization of Sertoli cells in the seminiferous epithelium. *Anat. Rec.*, 158:207-222.
4. Hamasaki, M and M. Murakami. 1986. Thr-

- ee-dimensional profiles of Sertoli cell processes and Associated appendices as viewed by SEM. *J. Electron Microsc.*, 35:132-143.
5. Hamasaki, M. 1987. Interrelationships between germ cell differentiation and transformation of Basolateral profile of Sertoli cells during rat speratogonial cycle. *Arch. Histol. Jap.*, 50:209-221.
6. Kurohmaru, M. and T. Nishida. 1987. Three-dimensional structure of the Sertoli cell in the shiba goat. *Arch. Histol. Jap.*, 50:515-523.
7. Malone, J. 1979. A study of Sertoli-spermatid tubulobulbar complexes in selected mammals(abstract). *Anat. Rec.*, 193:610.
8. Morales, C. and Y. Clermont. 1982. Evolution of Sertoli cell processes invading the cytoplasm of rat spermatids. *Anat. Rec.*, 203:233-244.
9. Nagano, T. 1968. Fine structural relation between the Sertoli cell and the differentiating spermatid in the human testis. *Z. Zellforsch.*, 89:39-43.
10. Nicander, L. 1967. An electron microscopical study of cell contacts in the seminiferous tubules of some mammals. *Z. Zellforsch.*, 83:357-397.
11. Park, Y. S., M. Abe, K. Takehana and K. Iwasa. 1993. Three-dimensional structure of dog Sertoli cells: A computer-aided reconstruction from serial semi-thin sections. *Arch. Histol. Cytol.*, 56:65-73.
12. Romrell, L. and Y. Clermont. 1979. Anchoring device between Sertoli cells and late spermatids in rat seminiferous tubules. *Anat. Rec.*, 185:259-278.
13. Ross, M. H. and J. Dobler. 1975. The Sertoli cell junctional specialization and their relationships to the germinal epithelium as observed after efferent ductule ligation. *Anat. Rec.*, 183:267-282.

14. Russell, L. D. and Y. Clermont. 1976. Anchoring device between Sertoli cells and late spermatids in rat seminiferous tubules. *Anat. Rec.*, 185:259-278.
15. Russell, L. D. 1979a. Spermatid-Sertoli tubulobulbar complexes as devices for elimination of cytoplasm from the head region of late spermatids of the rat. *Anat. Rec.*, 194:233-246.
16. Russell, L. D. 1979b. Further observations on tubulobulbar complexes formed by late spermatids and Sertoli cells in the rat testis. *Anat. Rec.*, 194:213-232.
17. Russell, L. D., R. T. Gardner and J. E. Weber. 1986. Reconstruction of a type-B configuration monkey Sertoli cell: Size, shape and configurational and specialized cell-to-cell relationships. *Amer. J. Anat.*, 175:73-90.
18. Sakai, Y., T. Nakamoto and S. Yamashina. 1988. Dynamic changes in Sertoli cell processes invading spermatid cytoplasm during mouse spermiogenesis. *Anat. Rec.*, 220:51-57.
20. Sakai, Y. and S. Yamashina. 1989. Mechanism for the removal of residual cytoplasm for spermatids during mouse spermiogenesis. *Anat. Rec.*, 223:43-48.
21. Vogl, A. W., L. J. Soucy and V. Foo. 1985. Ultrastructure of Sertoli cell penetrating processes found in germ cells of the Golden-mantled ground squirrel (*Spermophilus lateralis*). *Am. J. Anat.*, 172:75-86.
22. Weber, J. E., L. D. Russell, V. Wong and R. N. Peterson. 1983. Three-dimensional reconstruction of a rat stage V Sertoli cell: II. Morphometry of Sertoli-Sertoli cell and Sertoli-germ cell relationships. *Amer. J. Anat.*, 167:163-179.
23. Wong, V. and L. D. Russell. 1983. Three-dimensional reconstruction of a rat stage V Sertoli cell: I. Methods, basic configuration, and dimensions. *Amer. K. Anat.*, 167:143-161.
24. 박영석, 이재홍. 1992. 진도건의 정자형성과 Sertoli 세포 특수 연결부의 미세구조: II. Sertoli 세포 특수 연결부의 미세구조. *대한수의학회지*, 32(3):295-308.  
(접수일자: 1998. 7. 20. / 채택일자: 1998. 8. 20.)