

# 소라, *Turbo cornutus*의 分化中인 精子的 微細構造\*

李 定 宰

(濟州大學校 海洋科學大學 增殖學科)

## The Fine Structure of Differentiating Spermatozoa in the Turban Shell, *Turbo cornutus*.

Jung - Jae LEE

(Dept. Marine Biology, Coll. Ocean Science & Technology, Cheju Nat. Univ.)

The fine structure has been examined, of the outer wall of testis, spermatogonia, spermatocytes, spermatids and mature spermatozoa in the gonad of *Turbo cornutus*. Changes in some organelles are linked with the phases of sperm cell differentiation, are presented.

1. The outer wall of testis consists of simple columnar epithelial cells with mucous gland cells and functionally unknown osmophilic cells.

Under the outer epithelial layer are fibromuscles compacted by collagenous fibers and muscle fibers.

2. Undifferentiated mesenchymal tissue and eosinophilic granular cells function as nutritive cells in the process of early stage of spermatogenesis.

3. The proacrosomal vesicles settles against the nuclear membrane where it will form the acrosome and mitochondrial differentiation also takes place in the cytoplasm of early spherical spermatids. The mitochondrial bodies are aggregated more largely and moves posterior portion of the nucleus.

4. The head of mature spermatozoa is approximately  $6\mu\text{m}$  in length and the flagellum is about  $50\mu\text{m}$ .

The formation of flagellum takes place initially at the base of the distal centriole. The axoneme of the flagellum consists of nine pairs of peripheral and one pair of central microtubules. Between the peripheral microtubules and outer wall of the flagellum connected with fibrous microtubular arms, and forms nine compartment chambers where contains low density materials.

5. The elongated conical acrosome at the anterior portion of the nucleus is distinguished into two different electron dense regions. There is clear space between the acrosome and nucleus and double fibrous microtubular axial rods are extended longitudinally from the clear space.

6. Five spherical mitochondria are circular arrangement around the proximal centriole. The fibrous microtubular connections between the proximal centriole and mitochondria, and between each mitochondria are evident.

\*이 논문은 1983년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

## 緒 論

精子形成過程中 生殖細胞의 分化와 完熟精자의 電子顯微鏡의 微細構造는 軟體動物을 包含하여 많은 動物에서 밝혀졌다. 특히, 이들 業績中에서 軟體動物의 腹足類 精子構造에 關한 報文을 綜合, 比較考察한 바 있는 Maxwell(1974)은 腹足綱에 屬하는 有肺類, *Gibbula umbilicalis*, *Arion hortensis*, *Lymnaea peregra*, 前鰓類, *Patella vulgata*, *Littorina littorea*의 完熟精자의 形態의인 構造를 比較研究한 結果 腹足類內에서도 種間에 形態의인 差異가 多樣하며 種特性이 있음을 밝히고, 계속하여 有肺類 數種의 精子構造에 關하여 發表한 바 있다(Maxwell, 1975, 1976, 1977).

精子完成에 必要한 營養分을 供給한다고 알려진 Sertoli 細胞와 分化하는 精子와의 關係 및 構造的 變化를 Joose와 Reitz(1969)는 *Lymnaea stagnalis*의 精巢를 光線顯微鏡으로 Rigby(1982)는 電子顯微鏡을 利用하여 精細胞까지의 微細構造와 Sertoli 細胞의 變化와의 關係를, de Jong-Brink等(1977)은 *Biomphalaria glabrata*, Parivar(1980)는 *Arionater*를 材料로 分化精자의 微細構造와 完熟精자의 形態等을 밝힌 바 있다. 그런데 以上에서 言及한 有肺類는 雌雄同體로서 體內授精種들이다. 그러나 雌雄異體이고 體外授精을 하는 腹足類들을 對象으로 研究한 報文으로서는 原始腹足類인 전복類의 光線顯微鏡의 精子形態(Fretter & Graham, 1964; Young & Demartin Demartini, 1970)와 電子顯微鏡構造(李, 1974)에 關한 報文 以外에 소라, (李 1983)의 生殖週期를 組織學的으로 研究하면서 精子形成過程을 光線 및 電子顯微鏡을 利用하여 言及한 것이 있으나 分化하는 精子의 各 단계별 構造 및 完熟精자의 形態의 構造가 詳細히 究明된 바 없어서 補充研究結果를 밝히고져 하였다.

## 材料 및 方法

소라의 精巢가 있는 꼬리突起의 中間位置에서  $2 \times 3 \times 4$ mm의 크기로 外皮層에서 內側으로 試片을 切取하여  $4^{\circ}\text{C}$ 下, 4% glutaraldehyde (phosphate buffer, pH 7.4)에 4時間 前固定한 後 Phosphate buffer로 3~4回 充分히 씻고, 이 溶液中에서 再차  $4^{\circ}\text{C}$ 下, 12時間 放置後, 2%  $\text{OsO}_4$ 로 後固定하였다(Sabatini et al., 1963). 이 試片을 Phosphate buffer로 다시 씻고 바로 alcohol 濃度順으로 脫水한 뒤 Propylene oxide로 置換하고 Epon-812 混合液에 包埋하여 Sorvall MT-2 Ultra-microtome으로 超薄片을 製作하여 部位를 確認한 後

Uranyl acetate와 Lead Citrate(Reynolds, 1963)로 二重染色하여 JEM 100 CX-II 電子顯微鏡(100Kv)으로 觀察하였다.

## 結 果

### 精巢의 外壁構造

精巢의 外壁上皮細胞層은 一定한 間隔을 두고 小窩를 形成하며, 上皮細胞의 自由面에는 不規則한 微細纖毛가 發達하고 그 表面은 粘液層으로 被覆되어 있다(Pl. I, Fig. 1). 小窩의 內面 基底部에는 隣接細胞間에 不連續의이나 뚜렷한 膠小體가 나타난다. 또한 円柱形의 上皮細胞에 비해 크고, 球形이며, Osmic acid에 黑染되는 円形의 分泌顆粒을 多數 含有하는 Osmophilic 細胞들이 上皮細胞層의 基底部에서 다소 上方에 位置하여 드문드문 存在하는데 上皮細胞의 自由面보다 다소 높게 突出되어 있어서 円柱上皮細胞나 粘液細胞와는 뚜렷이 區別된다. 한편 粘液細胞들은 分泌物의 含量에 따라 크기 및 形態變化를 하며 分泌物는 粘液性多糖類로서 크고 多角形의 顆粒들이 密集되어 있다(Pl. I, Fig. 2).

精巢를 싸고 있는 外壁의 上皮層 下方에 있는 筋纖維膜의 結締性纖維는 微細한 橫紋을 나타내는 膠原原纖維가 緻密하게 結束된 膠原纖維로서 이들은 서로 縱橫으로 直交하면서 數層의 緻密한 結束을 이루는데 이를 두껍고 넓은 彈性纖維膜이 싸고 있다(Pl. II, Fig. 3, 4)

## 精子形成

### 1. 精原細胞

精原細胞는 長徑이  $10 \mu\text{m}$  內外로서 球形 또는 卵形의 큰 核을 所有하는데 그 크기는 長徑이  $7 \mu\text{m}$  前後로서 細胞質은 核에 비해 매우 貧弱하다. 糸狀의 染色質이 核質 全般에 고루 分散되어 있고 一部는 濃縮되어 小形塊狀을 이룬다(Pl. III, Fig. 5). 精原細胞가 增殖分裂을 마치고 精母細胞로 移行되기 直前에는 染色質은 더욱 濃縮된다. 核內에 1個의 仁이 뚜렷이 나타나며 細胞質에는 球形, 또는 橢圓形의 糸粒體와 리보솜, 폴리리보솜 및 無顆粒小胞體가 核膜 周邊에 比較的 豊富하게 나타나지만 골지체는 不分明하다.

核膜은 二重膜으로 外核膜에 비해 內核膜은 보다 뚜렷하며 核孔도 觀察할 수 있다(Pl. III, Fig. 5, 6).

### 2. 精母細胞

精原細胞가 精母細胞로 移行됨에 따라 細胞의 크기

는 다소 작아져서  $7\mu\text{m}$  內外가 되고 細胞質은 精原細胞에 비해 훨씬 增加되며, 核은  $5\mu\text{m}$  內外로 작아진다.

核內 染色質은 더욱 濃縮되어 塊狀으로 되면서 核內에는 공허한 部分이 많이 나타난다 (Pl. III, Fig. 6).

第二次精母細胞는 第一次精母細胞에 비해 細胞나 核의 크기는 더 작아져서 細胞는  $5\mu\text{m}$ , 核은  $3\mu\text{m}$  內外이며 仁은 없어지고 糸粒體의 數는 增加된다. 리보솜은 稀少하며 골지顆粒들이 나타난다. 細胞質에는 電子密度가 높고 円形의 큰 顆粒들이 나타나는데 이 顆粒들은 活性化된 골지체나 無顆粒小胞體에서 生成된 것으로서 前尖體顆粒 (Proacrosomal granule) 形成과 關聯되어 있는 것 같다. 이들 顆粒들은 점차 융합되어 精核이 濃縮되는 時期에 장차 精子頭部가 形成될 前方位置의 細胞質로 移動된다.

### 3. 精細胞

精母細胞는 第二成熟分裂에 이어 精細胞로 移行되는데, 이들 精細胞는 뚜렷한 核의 形態變化가 일어나는데, 소라인 경우 核形에 따라 球形, 精円形 및 棒狀精細胞의 3期로 區分할 수 있다 (Pl. III, Fig. 6; Pl. IV, Fig. 7, 8).

#### (1) 球形精細胞

核은 長徑이  $2\mu\text{m}$  內外의 球形이며 核內 染色質은 濃縮된 塊狀으로 電子密度는 더욱 높아지고 核은 좀 더 작아지면서 円形으로 形態變化가 일어난다. 染色質은 核의 大部分을 차지하고 공허한 部分은 極히 一部에 限定된다.

細胞質에 分散되어 있던 糸粒體는 核 後端 核膜에 接해 凝集되어 크게 된다. 한편 核의 前端에서는 尖體形成이 이루어지며 이때 尖體는 球形으로 核에 密着하여 核의 上端部를 밀고 들어 간 形態로서 核의 上端部가 內側으로 彎曲을 이룬다.

核의 後端에는 基底中心小體가 核膜에 接해 位置하고 遠端中心小體는 基底中心小體와 直交하여 바로 後方に 位置한다. 精子의 尾部가 遠端中心小體에서 形成되기 始作한다 (Pl. III, Fig. 6).

#### (2) 精円形精細胞

球形精細胞의 円形核은 점차 精円形의 核으로 形態變化가 일어나는데 核은 장차 頭部와 尾部의 長軸方向으로 伸長되고 尖體는 초생달 모양으로 核 前端을 싸면서 核과 尖體사이에서 좁은 透明腔이 形成된다. 核 後

端에는 뚜렷한 5個의 糸粒體가 遠端中心小體를 中央으로 하고 環狀으로 排列된다.

透明腔內에는 纖維狀前軸桿物質이 充滿되어 있고 透明腔을 中心으로 核과 尖體를 區分하는 橫溝와 長軸方向의 縱溝가 뚜렷해진다. 核은 점차 棒狀으로 變形되면서 尾部는 더욱 伸長된다. 이 時期의 細胞質은 內容物이 매우 貧弱해지고 萎縮되며 一部の 精細胞는 細胞質에서 遊離된다 (Pl. IV, Fig. 8).

#### (3) 棒形精細胞

核은 棒形으로 좀더 伸長되어 長徑이  $3\mu\text{m}$ , 尖體는  $2\mu\text{m}$  內外가 된다. 透明腔에는 精細胞의 長軸을 따라 纖維狀의 二重管狀軸桿이 前方으로는 尖體의 電子密度 相異部 即 尖體의 中間位置까지, 後方으로는 核 後端까지 뻗는다.

尖體의 形態는 初期는 球形, 後期에는 先端이 다소 완만한 円錐形으로 形態變化가 일어나면서 더욱 伸長된다.

頭部를 싸고 있는 細胞質은 매우 稀薄해지며 大部分의 精細胞가 細胞質에서 遊離되어 頭部는 精巢小葉에 꼬리는 精巢小腔을 向해 尾束을 形成한다 (Pl. IV, Fig. 8).

### 4. 完熟精子

完熟精子는 頭部를 精巢小葉上에, 尾部는 精巢小腔을 向해 束狀으로 腔所內에 緻密하게 排列된다. 精子의 頭部 長徑은  $5\sim 6\mu\text{m}$ , 核의 短徑은  $1.2\mu\text{m}$  內外, 尾部는  $50\mu\text{m}$  內外가 되는데 完熟精子의 部分別 構造 및 形態의 特徵은 다음과 같다.

#### (1) 尖體

完熟精子의 尖體는 円錐形으로 電子密度가 相異한 부분으로 뚜렷이 區分된다. 即 尖體의 長軸方向으로 中央位置에서 前半部는 電子密度가 後半部에 비해 훨씬 낮고 電子密度의 境界部는 內側 方向으로 완만한 彎曲을 形成한다. 한편 尖體의 最先端은 다소 완만한 円錐形이다. 尖體의 크기는 核에 비해 다소 작아서  $2\mu\text{m}$  內外이다 (Pl. V, Fig. 9, 10).

#### (2) 透明腔

尖體와 核의 境界部는 尖體와 核쪽으로 둥근 彎曲을 形成하여 球形으로 된 透明한 區域이 存在하는데 이 腔所에는 纖維狀軸桿前驅物質이 充滿되어 있고, 이곳에서 纖維狀構造인 二重管狀의 軸桿이 上下로 뻗어 가는데 前方으로는 尖體의 電子密度 境界부와 前端과의 中央

位置까지, 後方으로는 核의 最後端까지 擴張되어 있으며 核과 尖體를 뚜렷하게 區分하는 橫溝가 存在한다. 따라서 外形의으로는 核과 尖體는 分離되어 있는 것 처럼 보인다 (Pl. V, Fig. 10).

### (3) 精 核

完熟精자의 核 形態는 前端과 後端에 核 中央을 向한 半球形의 彎曲이 있는 棒狀形으로 前端은 尖體와 後端은 尾部와 境界를 이룬다. 核의 長徑은  $3\mu\text{m}$  內外이고 短徑은  $1.2\mu\text{m}$  內外이다. 尖體에 비해 電子密度는 매우 높고 核膜은 二重膜이다 (Pl. V, Fig. 10).

### (4) 中心小體

中心小體는 管狀의 基底中心小體와 遠端中心小體로 되어 있다. 基底中心小體는 核의 後端 半球形 彎入部에 近接하여 位置하며 纖維狀軸桿物質과 連續되어 있고 5個의 糸粒體가 基底中心小體를 環狀으로 싸는 排列을 하고 있는데 管狀構造의 纖維가 基底中心小體와 糸粒體를 연결하고 있으며 糸粒體 사이에도 環狀의 管狀纖維에 의해 연결된다. 한편 遠端中心小體는 基底中心小體와 直交하여 바로 後方に 位置하고 精子꼬리가 여기에서 形成된다. 兩 中心小體의 電子密度는 核과 거의 類似하다 (Pl. V, Fig. 9, 10).

### (5) 精子꼬리

遠端中心小體에서 1個의 꼬리가 形成되며 軸糸構造는 典型的인 9+2型이다. 9雙의 周邊軸糸에서 9個의 環狀필라멘트(Ring filament)가 精子꼬리의 外壁과 連結되어 있어 9個의 房狀構造를 한다 (Pl. V, Fig. 10).

## 考 察

精巢의 上皮細胞層에서 電顯像으로 識別되는 円柱上皮細胞와 粘液細胞 以外에 機能을 알 수 없는 Osmic acid에 黑染되며 円形인 多數의 顆粒을 含有하는 Osmophilic 細胞가 存在한다. 이 細胞는 上皮細胞보다 크며 球形으로 上皮細胞層에 드문 드문 나타나며 李(1974)가 전복類의 上皮層에서 言及한 것과 同一한 細胞로 看做된다.

生殖巢의 外皮를 構成하며 上皮細胞層 直下方에 分布하는 筋纖維와 結締纖維는 매우 緻密하게 結束되어 筋纖維膜을 構成하기 때문에 精巢는 伸縮性이 있고 精子放出에 重要한 役割을 하게 된다. 그러나 腹足類이며 體外授精種인 전복類, *Haliotis lamellosa* (Bolognari,

1953), *H. tuberculata* (Crofts, 1929), *H. midae* (Newman, 1967)인 경우에는 筋纖維의 存在를 確認하지 못했으나 韓國產 전복類(李, 1974)와 *H. rufescens* (Young & Demartini, 1970)에는 筋纖維가 存在하며 精子放出에 關여한다고 報告하고 있다.

腹足類의 生殖巢에서 生殖細胞以外에 生殖細胞의 發達에 營養分을 供給하는 細胞들이 存在한다고 알려져 있다. 卽 腹足類中에서도 雌雄同體인 有肺類, *Lymnaea stagnalis* (Joosee & Reitz, 1969)에 副細胞(Accessory cell), 同種에서 Rigby(1982)는 Sertori 細胞로 言及하고 있으나 同種의 細胞라고 생각하고 있다. 이 種以外에도 *Arion ater* (Parivar, 1980)에서도 Sertoli 細胞의 存在를 確認하고 있다. 그러나 原如腹足類이며 體外授精種인 전복類(李, 1974)에는 Sertoli 細胞와는 形態의으로 相異한 一種의 未分化間充織細胞와 好酸性顆粒細胞가 營養細胞로서 作用한다고 알려져 있다.

소라에서도 전복類와 같이 核의 形態가 不規則하고 精巢小葉上에 多數 出現했다가 精巢가 完熟되어 감에 따라 점차 退化 또는 사라지는 細胞가 存在하는데 이들 細胞가 精細胞發達에 關여하는 未分化間充織細胞와 好酸性顆粒細胞로서 一種의 營養細胞들이라고 생각한다.

腹足類의 精子形成過程에서 精原細胞의 增殖分裂, 精母細胞의 成熟分裂에 따른 一聯의 連續過程에서 나타나는 細胞의 形態變化, 細胞質內 小器官 및 核染色質의 變化 등은 種에 關係없이 거의 類似하다. 그러나 精母細胞에서 精細胞로 移行되면서 부터 特히 精細胞의 核은 複雜한 形態變化가 일어나며 精子完成期間中에 精核은 種에 따라 特異한 形態變化를 거치게 된다.

核의 形態變化에 影響을 주는 要因에 關하여 生物學者間에 一致된 意見은 없으나, 一部 學者들은 精細胞를 둘러싸고 있는 微小管이 能動的으로 關여 한다 (McIntosh & Porter, 1967; Kessel, 1966, 1970; Stanley et. al., 1972)고 하는가 하면, 核의 濃縮은 染色質의 內的 濃縮에 의해 影響을 받는다 (Fawcett et. al., 1972)고도 하며, 또 核의 濃縮과 核의 形態는 核과 細胞質內 小器官 및 持柱細胞들의 相互作用이라고 말하고 있다 (Phillips, 1970; Rattner, 1972). 그러나 腹足類를 材料로 한 精核의 形態變化에 關한 報文은 없다.

소라의 精細胞에서 核膜과 染色質 및 微小管의 連關關係를 觀察해 보았으나 이들의 關係를 찾을 수 없어서 核의 形態變化에 關여하는 要因이 무엇인지는 確認할 수 없었고 앞으로 이에 關하여 더욱 研究되어야 할 것이다.

Rigby (1982)는 有肺類인 *Lymnaea stagnalis*의 精細胞 및 完熟精子의 核이 7-타이어型의 꼬임構造를 한다고 言及하고 있는데 소라에서는 核의 螺旋狀 꼬임은 나타나지 않는다. 이와같이 가까운 種間에 나타나는 核의 構造의 形態의 差異는 뚜렷한 種 特性으로서 分類學上 重要한 뜻을 갖는다. 그런데 소라 完熟精子의 構造와 形態가 같은 原始腹足類에 屬하는 전복類와 매우 類似하다 (Fretter & Graham, 1964; 李, 1974). 이 같은 事實도 分類學上 重要한 意義를 갖는다. 따라서 種間 類緣關係를 究明하는데 精子의 構造 및 形態가 重要한 資料로 利用되어야 할 것이다.

後期 精細胞에서 부터 觀察할 수 있는 尖體와 核間의 透明腔 (Clear space)은 最初로 Galtsoff와 Philpott (1960)가 굴, *Crassostrea virginica*의 完熟精子의 構造에서 밝혔고, 原始腹足類인 전복類의 完熟精子에서도 類似한 構造를 發見하였다 (Young & Demartini, 1970; 李, 1974). 이와 類似한 構造는 *Mytilus edulis* (Longo & Dornfeld, 1967)에서도 觀察하였고 透明腔에서 尖體의 中間部位 및 核 後端까지 上下로 뻗는 二重管狀의 纖維狀軸桿도 소라에서도 역시 觀察할 수 있었다.

基底中心小體를 環狀으로 둘러싸고 있는 糸粒體는 貝類中에도 種에 따라 그 數가 相異한데 二枚貝인 *Mytilus edulis* (Galtsoff & Philpott, 1960)에는 4個, 전복類 (Young & Demartini, 1970; 李, 1974)에서는 밝힌 바 없으나 소라에는 5個이며 基底中心小體와 微小管으로 연결되어 있고, 5個의 糸粒小體에도 서로 微小管에 의해 연결되어 있음을 확인할 수 있었다.

基底中心小體와 直交하는 管狀의 遠端中心體의 길이는  $0.3\mu m$  정도이고 精子꼬리는 遠端中心體의 後端에서 形成됨이 뚜렷하며 이에 關하여 報告된 바는 없다.

## 要 約

소라, *Turbo cornutus* 精巢에서 精巢外壁, 精原細胞, 精母細胞 및 完熟精子의 微細構造와 精子分化에 따른 몇몇 小器官의 變化에 關하여 밝히고자 하였다.

1. 精巢外壁은 單層柱上皮로 構成되어 있고 粘液細胞와 機能을 알 수 없는 Osmophilic細胞가 混在한다. 上皮細胞層 下方에는 結締性膠原纖維와 筋纖維가 緻密하게 結合된 筋纖維膜으로 構成되어 있다.

2. 未分化間充織 組織과 好酸性顆粒細胞들이 初期精子形成過程에 一種의 營養細胞로 作用한다.

3. 前尖體顆粒들이 球形精細胞의 核膜 밖 細胞質에

나타나며 糸粒體分化도 일어난다. 糸粒體는 점차 융합하며 커져서 精核의 後部로 移動한다.

4. 完熟精子의 頭部의 長徑은  $6\mu m$  內外이고 尾部는 約  $50\mu m$  程度이다.

尾部의 形成은 遠端中心體에서 이루어지며 軸糸構造는 9雙의 周邊軸糸와 1雙의 中心軸糸로 形成되어 있다. 周邊 微細小管과 꼬리壁間에는 纖維狀의 微細小管狀腕으로 연결되며 低濃度物質을 含有하는 9個의 房을 形成한다.

5. 精核 前端에 伸長된 円錐形의 尖體는 電子密度가 相異한 二區域으로 되어 있고 尖體와 精核 사이에는 前軸桿物質을 含有하는 透明腔이 存在하고 여기서 二重 纖維狀의 微細小管이 앞 뒤로 길게 뻗어 있다.

6. 5個의 球形糸粒體가 基底中心小體를 環狀으로 둘러싸고 있고 纖維狀의 微細小管이 基底中心小體와 糸粒體, 糸粒體와 糸粒體間을 連結하고 있다.

## REFERENCES

- Bolognari, A. (1953): Ricerche sulla sessualita di *Haliotis lamellosa*. Lam. Arch. Zool. Ital., 38, 361-402.
- Crofts, D. R. (1929): *Haliotis*. Liverpool Mar. Biol. Comm. Men., 29, pp. 174.
- Fawcett, D. W., W. A. Anderson and D. M. Phillips (1972): Morphogenetic factors influencing the shape of the sperm head. Dev. Biol., 26, pp. 220.
- Fretter, V. and A. Graham (1964): Reproduction. In K. M. Wilbur and C. M. Young (ed.). Physiology of Mollusca, Vol. I. Academic Press, New York, pp. 473.
- Galtsoff, P. S. and D. E. Philpott (1960): Ultra-structure of the spermatozoon of the oyster, *Crassostrea virginica*. J. Ultrastructure Res., 3, 241-253.
- Jong-Brink, M. de, H. H. Boer., J. G. Hommes, and A. Kodde (1977): Spermatogenesis and the role of Sertoli cells in the freshwater snail *Biomphalaria glabrata*. Cell and Tissue Res., 181, 37-58.
- Joose, J. and D. Reitz (1969): Functional anatomical aspects of the ovotestis of *Lymnaea stagnalis*. Malacologia, 9, 101-109.

- Kessel, R. G. (1966): The association between micro-tubules and nuclei during spermiogenesis in the dragonfly. *J. Ultrastructure Res.*, 16, 293.
- Kessel, R. G. (1970): Spermiogenesis in the dragonfly with special reference to a consideration of the mechanisms involved in the development of cellular asymmetry. In comparative spermatology. B. Baceti (ed) Academic Press. Inc. New York. 531.
- 李定宰 (1983): 濟州道産 소라, *Turbo cornutus*의 生殖週期에 關한 組織學의 研究. 濟州大 海資研報, 7, 29-51.
- 李澤烈 (1974): 전복類의 生殖細胞 形成過程 및 生殖週期. 釜山水大 臨海研報, 7, 21-51.
- Longo, F. J. and E. J. Dornfeld (1967): The fine structure of spermatid differentiation in the mussel, *Mytilus edulis*. *J. Ultrastructure Res.*, 20, 462-480.
- Maxwell, W. L. (1974): Studies of spermiogenesis of molluscs. Ph. D. Thesis, Univ. Bristol.
- Maxwell, W. L. (1975): Scanning electron microscope studies of pulmonate spermatozoa. *The Veliger*, 18, 31-33.
- Maxwell, W. L. (1977): Freeze-etching studies of pulmonate spermatozoa. *The Veliger*, 20, 71-74.
- Maxwell, W. L. (1977 b): Development of the acrosome during spermiogenesis in *Arion hortensis* Ferussac (Stylommatophora, Pulmonata). 35th Annual Proceedings of the Electron Microscopy Society of America, Boston, Mass., 614.
- McIntosh, J. R., and K. R. Porter (1967): Microtubules in the spermatids of the domestic fowl. *J. Cell Biol.*, 35, 153.
- Newman, G. G. (1967): Reproduction of the South African abalone, *Haliotis midae*. Invest. Rep. Div. San. Fish. South Africa, 64, 1-24.
- Parivar, K. (1980): Differentiation of sertoli cells and post-reproductive epithelial cells in the hermaphrodite gland of *Arion ater* (L.) (Mollusca, Pulmonata). *Jour. Molluscan studies*, 46, 139-147.
- Phillips, D. M. (1970): Development of spermatozoa in the woolly opossum with special reference to the shaping of the sperm head. *J. Ultrastructure Res.*, 33, 369.
- Rattner, J. B. (1972): Nuclear shaping in marsupial spermatids. *J. Ultrastructure Res.*, 40, 498.
- Reynolds, E. S. (1963): The use of lead citrate at high pH as an electron opaque stain in electron microscope. *J. Cell Biol.*, 17, 208-212.
- Rigby, J. E. (1982): The fine structure of differentiating spermatozoa and sertoli cells in the gonad of the pond snail, *Lymnaea stagnalis*. *J. Molluscan studies*, 48, 111-123.
- Sabatini, D. D., K. G. Bensch and R. J. Barnett (1963): Cytochemistry and electron microscopy. The preservation cellular ultrastructure and enzymic activity by aldehyde fixation. *J. Cell Biol.*, 17, 19-58.
- Stanley, H. P., J. T. Bowman, L. J. Romrell, S. C. Reed and R. F. Wilkinson (1972): Fine structure of normal spermatid differentiation in *Drosophila melanogaster*. *J. Ultrastructure Res.*, 41, 433-466.
- Young, J. S. and J. D. Demartini (1970): The reproductive cycle, gonadal histology and gametogenesis of the red abalone, *Haliotis rufescens* (Swainson). *Calif. Fish and Game*, 56(4), 298-309.

### ABBREVIATIONS USED IN FIGURES

AC, Acrosome; AG, Proacrosomal granule; AV, Acrosomal vesicle; CF, Collagenous fiber; CP, Clear space; CR, Cytosomal residue; D, Desmosome; DC, Distal centriole; EF, Elastic fiber; EPC, Epithelial cell; F, Flagellum; M, Mitochondria; MC, Mucous gland cell; MSC, Mesenchymal cell; MV, Microvilli; N, Nucleus; PC, Proximal centriole; PRM, Proaxial rod material; SPC, Spermatocyte; SPG, Spermatogonia; SPT, Spermatid; OSC, Osmophilic cell.

## EXPLANATION OF PLATES

### PLATE I

- Fig. 1. Transverse section through outer epithelium of gonad. Note that irregular microvilli develop on the free surface of epithelial cell. Desmosomes are found at the luminal end of adjacent cells.
- Fig. 2. Osmophilic cell contains many electron-dense granules and mucous gland cell contains electron-low polygonal mucous granules of outer epithelial layer of gonad.

### PLATE II

- Fig. 3. A part of outer fibromuscular capsule showing collagenous fiber bundles and a thick elastic fiber surrounding collagenous fiber bundle.
- Fig. 4. Mesenchymal cells are seen in the outer fibromuscular layer and early spermatozoa in the lumen of testis.

### PLATE III

- Fig. 5. Micrograph showing the spermatogonia, spermatocytes in the germinal epithelium of testis.
- Fig. 6. Micrograph showing the spermatocytes and early spermatids.

### PLATE IV

- Fig. 7. Micrograph showing the proacrosomal granules in the spermatocyte and a vesicle in the spermatid.
- Fig. 8. Micrograph showing the early and middle stage of the spermatids. Note that acrosome formation, and proximal centriols are surrounded by five mitochondria.

### PLATE V

- Fig. 9. Micrograph showing the early spermatids and spermatozoa in the lumen of testis.
- Fig. 10. Micrograph of mature spermatozoa. Note that clear space contains proaxial rod materials between the acrosome and nucleus.

PLATE I

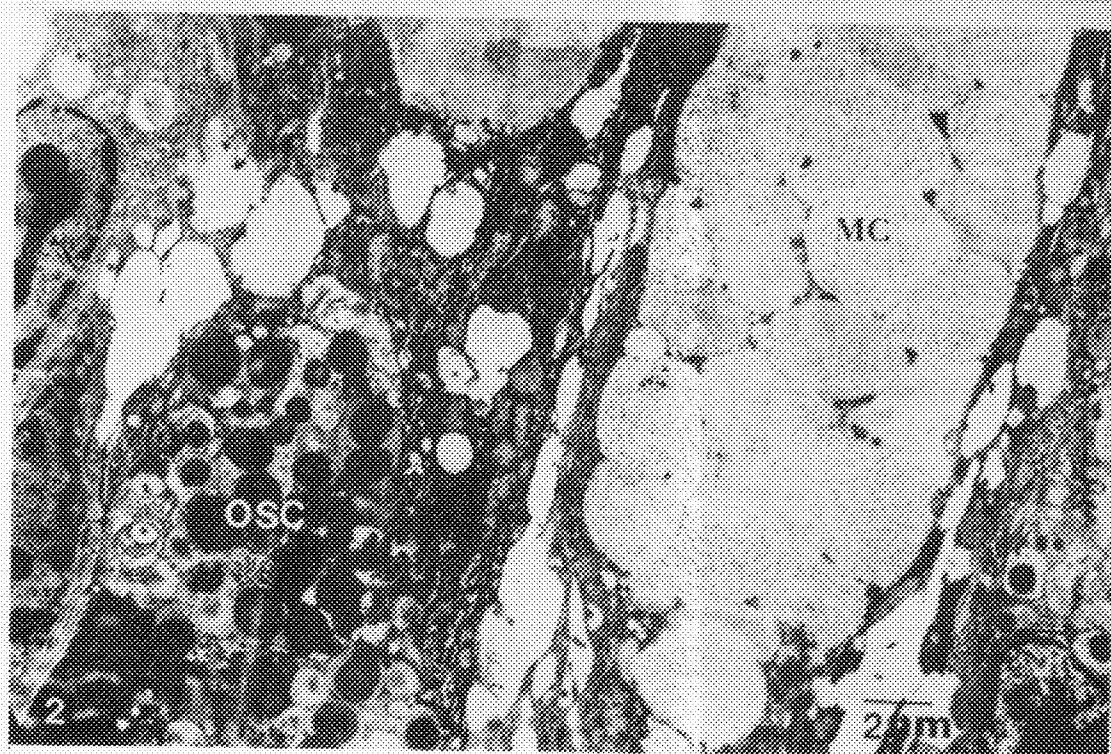
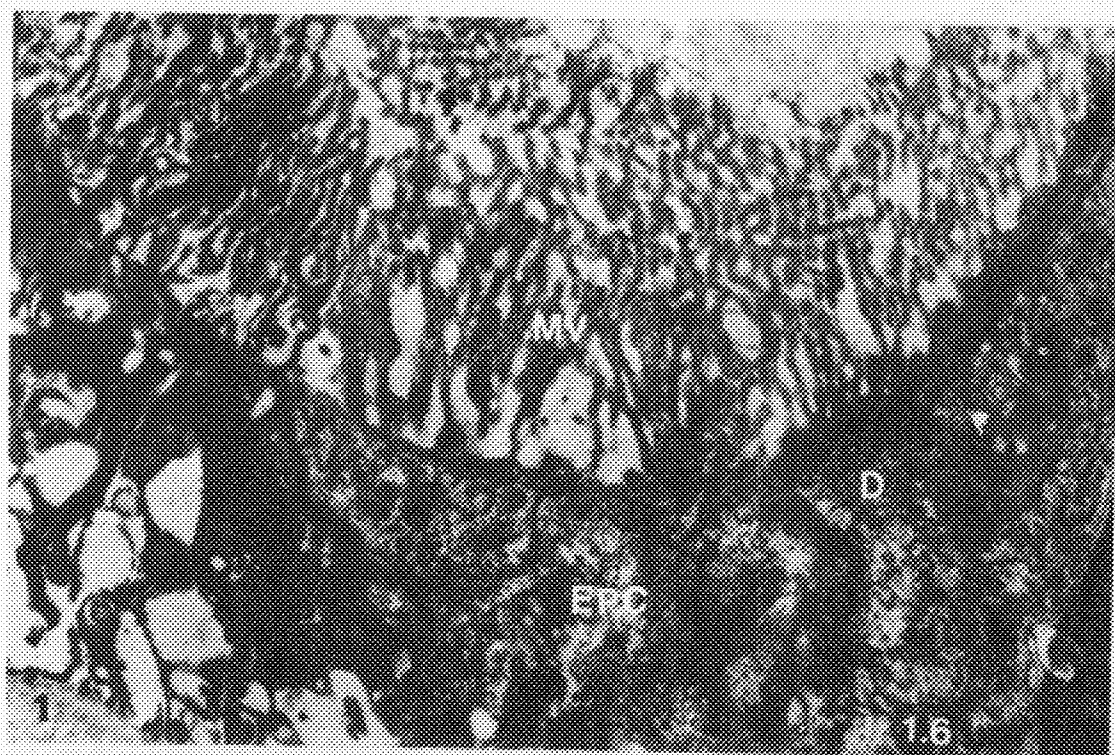




PLATE II

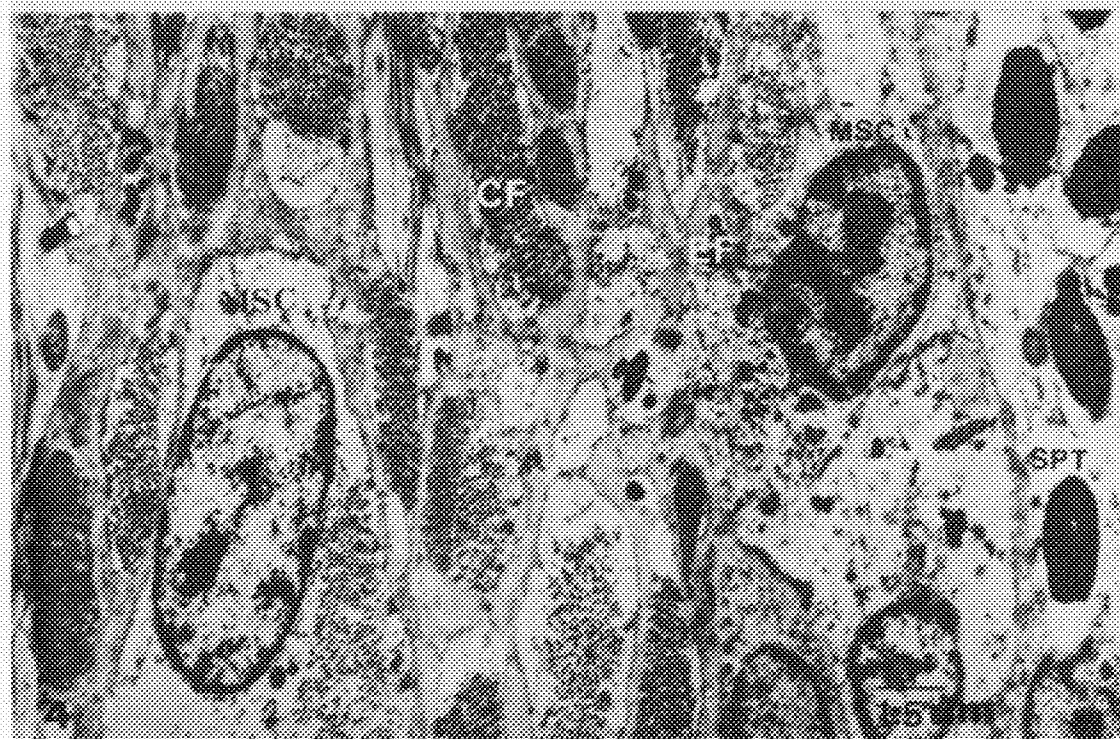
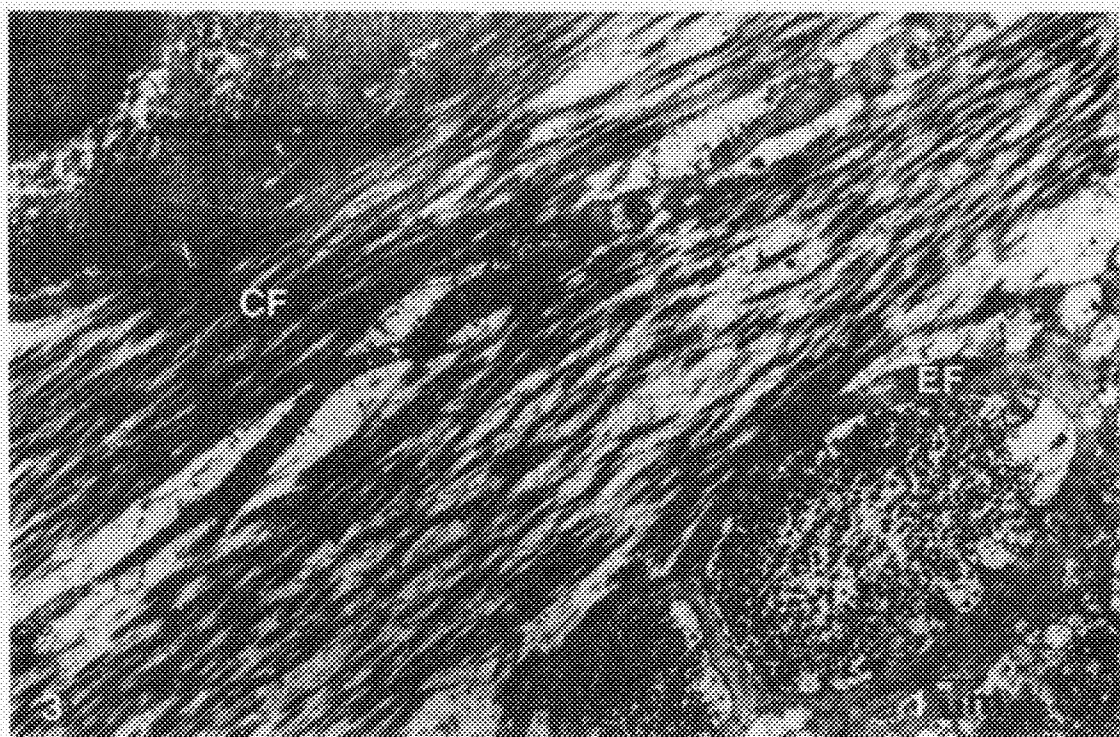


PLATE III

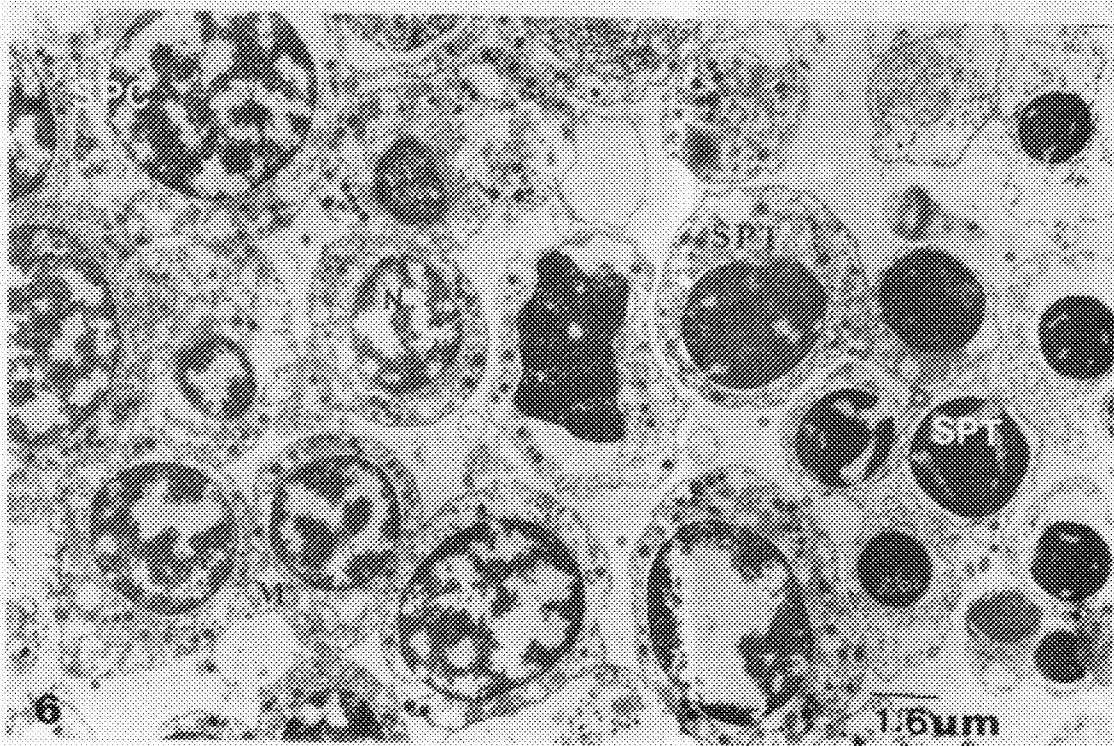
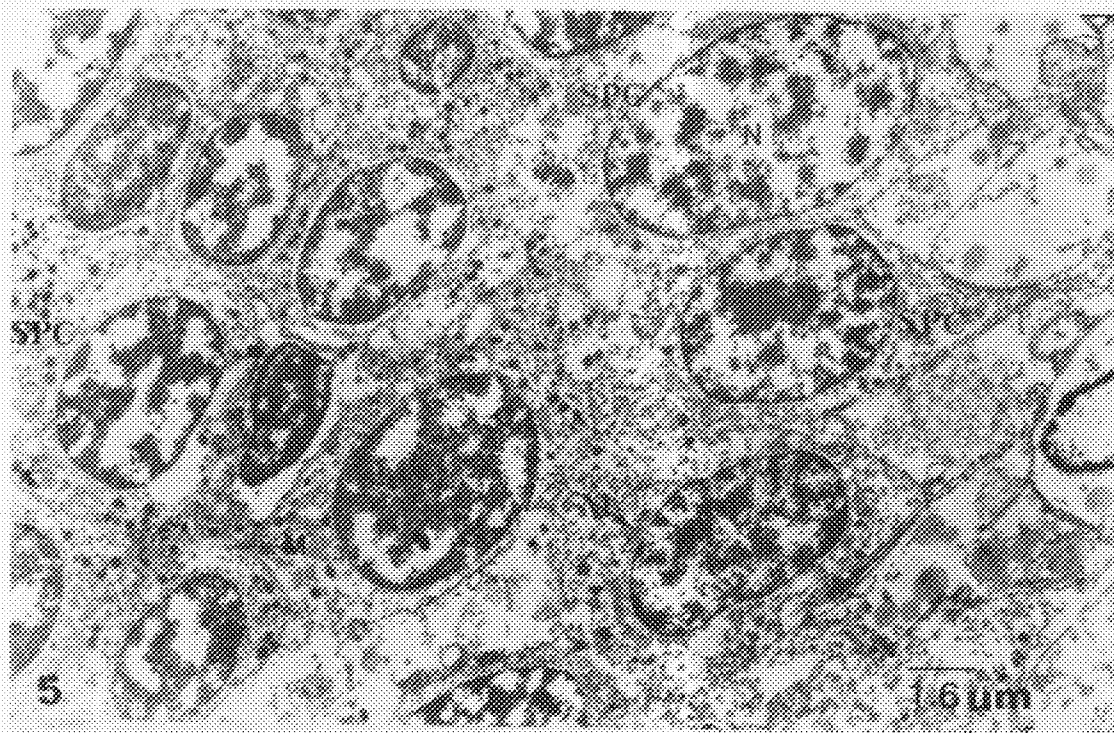


PLATE IV

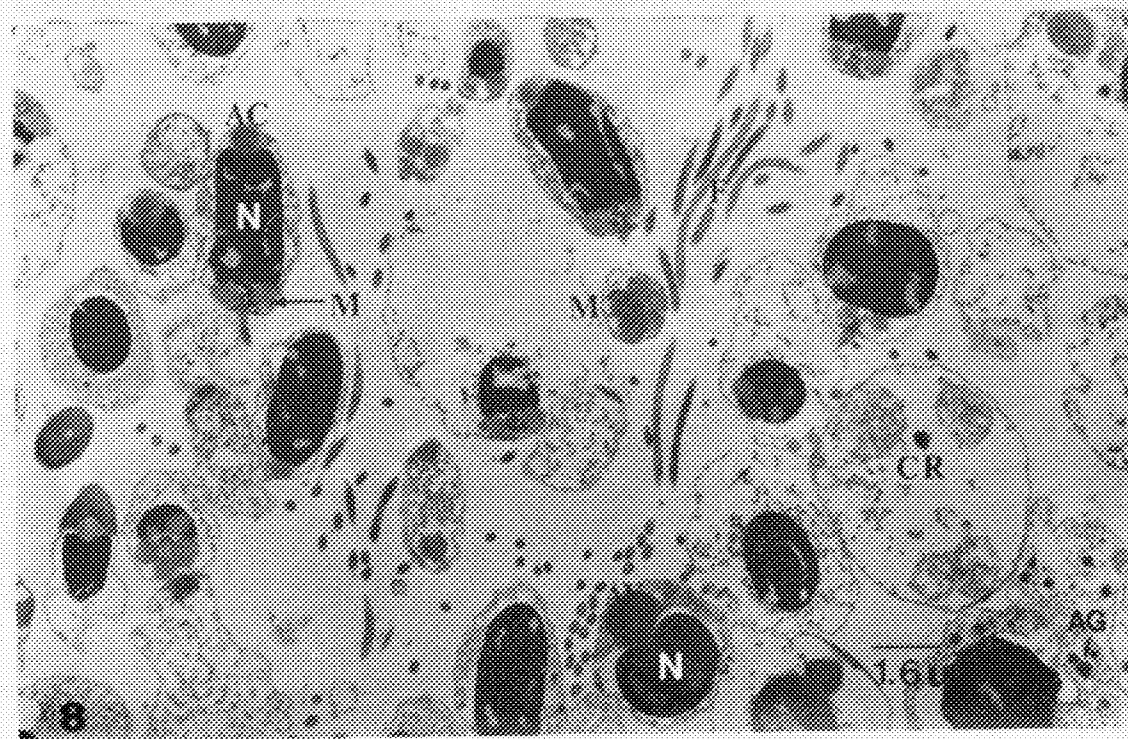
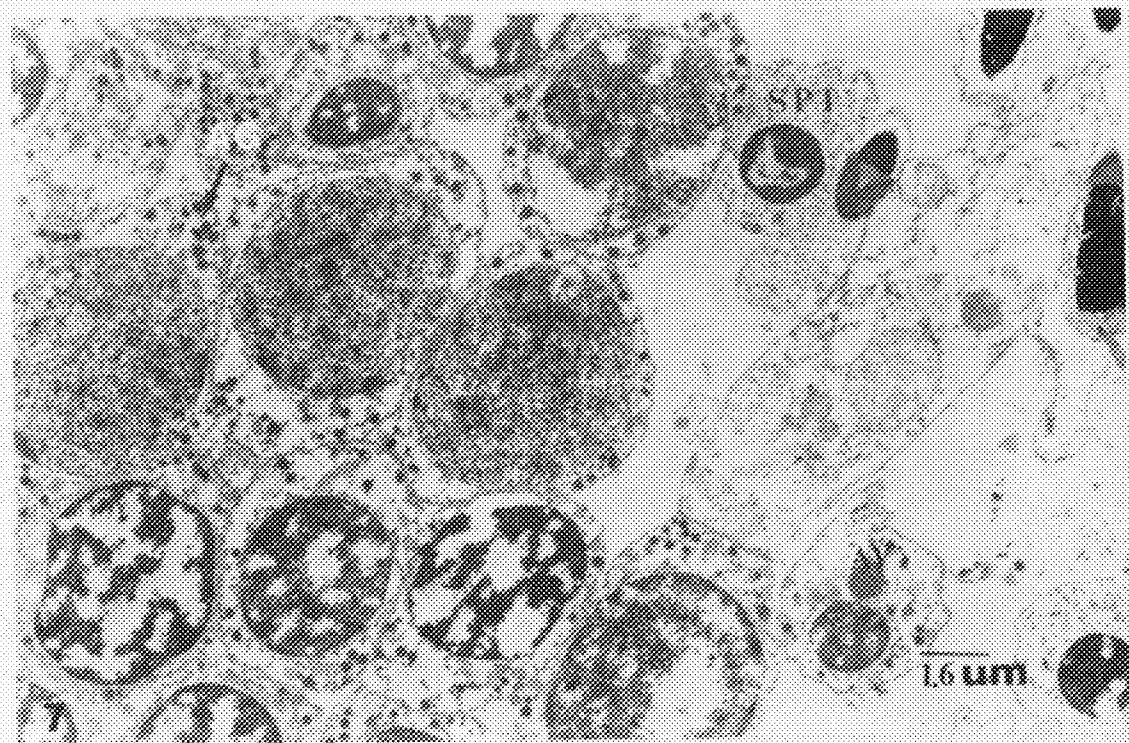


PLATE V

