

精자의 微細構造와 그 運動機構

裴 大 植

(忠北大學校 農科大學)

Ultrastructure and Moving Mechanism of Spermatozoa

Dae Sik Bae

College of Agriculture, Chung Buk National University

I

光學顯微鏡의 發達로 液體로만 알고 있던 精液(semen)에서 움직이는 生命體인 精子(spermatozoa)가 Ham(1677)에 依하여 發見된 것은 周知의 事實이다.

精子는 單一細胞이면서도 運動性을 가진다는 點이 가장 큰 特性의 하나이다. 精子의 運動은 37~38°C에서 가장 活潑하고, 이들 精子全體가 運動하는 樣相은 소용돌이 치듯 流動하는 것을 觀察할 수 있다. 또한 個個의 精子는 긴 꼬리를 波狀으로 흔들며 縱軸에 따라 頭部를 螺旋狀으로 自轉하며 前進하는 것을 볼 수 있다. 또한 精子는 走流性(rheotaxis), 走化性(chemotaxis), 走觸性(thigmotaxis), 走電性(galvanotaxis), 및 走地性(geotaxis) 등의 趨向性이 있다는 것도 알려져 있다.

光學顯微鏡으로는 現在 1,500倍까지 擴大하여 觀察할 수 있는데, 그 解像力은 紫外線波長(4,000Å)의 1/2인 2,000Å(0.2μm)이다. 그런데 光學顯微鏡의 解像力은 理論적으로 限界點에 到達하고 있는 實情이다.

그리하여 1940년대부터 電子顯微鏡이 開發되면서 各科學分野에서 이를 널리 活用하고 있다. 現在 電子顯微鏡의 解像力은 2Å으로서 光學顯微鏡의 1,000倍에 達하고 있으나 理論上으로는 現在의 解像力의 100倍까지 可能한 것으로 알려져 있다. 最近에는 精子의 微細構造와 精子自體의 運動機構까지 研究가 進行되고 있는데 특히 transmission電子顯微鏡의 解像力이 增加함에 따라 哺乳動物精子의 內部微細構造까지 詳細하게 알려지고, 한편 生化學的方法을 適用하여 化學的 成分까지도 研究되고 있다.

그러나 精子自體가 어떻게 運動을 일으키고 卵子에 接近하여 受精이 일어나며, 精子內酵素가 어떻게 생기

고, 어떻게 分布되고, 어떻게 運動에 關與하는지에 對하여는 아직 明確한 解答을 얻지 못하고 있다.

精子運動의 機構를 研究하는데 模型으로 纖毛(cilia)가 利用되고 있다. 纖毛는 單一細胞인 protozoa에서 부터 人類의 粘膜上皮에 이르기까지 널리 存在하고 있는데, 이 纖毛는 運動性을 가지고 있으며, 그 基本構造인 中心纖維(central microtubles)와 內側纖維(doublet microtubles)로 된 軸索(axoneme)이 2+9의 類型으로 되었고, 그 基本機能은 液體의 흐름을 일으키게 하는 役割을 한다.

哺乳動物의 精子의 꼬리는 纖毛와 같이 軸索이 2+9의 基本構造를 가지고 있는데 그 周圍를 外側纖維(coarse fibers)가 包圍하여 軸糸(axial fiber bundle)를 構成하고 있다(Fawcett, 1975). 다른 細胞(筋肉)는 神經의 刺戟에 依하여 收縮과 弛緩作用으로 運動이 일어나는데 反하여 纖毛의 運動은 神經의 支配없이 本能的으로 일어나고 있는 것이 特徵이다.

이와 같이 精子研究의 模型인 纖毛를 통해서 알려진 것을 土臺로 精子의 微細構造와 關聯하여 그 運動機構를 살펴보고자 한다.

本原稿는 1977年 6月 11日 韓國家畜繁殖研究會 春季學術大會(場所: 建國大學校畜產大學)에서 發表한 內容을 整理한 것이며 이 資料의 蒐集과 整理에 勞苦를 아끼지 않으신 金鍾旭博士에게 深甚한 謝意를 表한다.

II

畜牛의 精子를 光學顯微鏡으로 보면 Wu and Newstead(1966)의 그림 1과 같이 頭部(head), 頸部(neck) 및 尾部(tail)로 大別하고, 尾部는 다시 中片部(middle-piece), 主部(principal-piece), 및 終部(endpiece)로 區分되며, 頭部의 前部는 尖體(acrosome), 後部는 後帽(post nuclear cap)로 덮이고, 그 內部에 核(nucleus)이

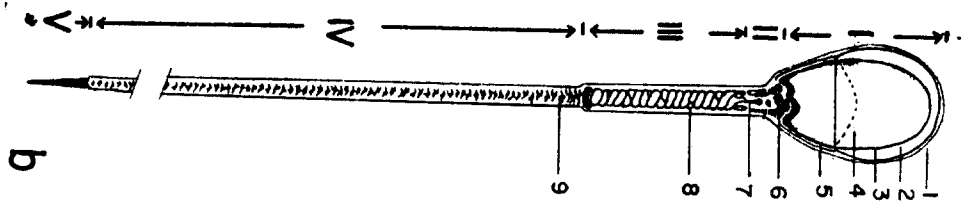


그림 1. 소精子模式圖 } I. 頭部; II. 頸部; III. 中片部; IV. 主部; V. 終部; 1. 細胞膜; 2. 尖體; 3. 核膜; 4. 核; 5. 後帽; 6. 基部 中心小體; 7. 體軸糸; 8. 마이토콘드리아鞘; 9. 纖維鞘

들어 있는데, 精子의 表面 全體가 細胞膜(cytoplasmic membrane)으로 덮여 있다.

細胞膜은 精子運動에 必要한 adenosine triphosphate(ATP)의 濃度와 마그네슘과 같은 이온濃度를 維持하는 役割을 하며, 中片部에 있는 마이토콘드리아(mitochondria)는 哺乳動物에만 存在하는 것으로, 體細胞의 마이토콘드리아는 分散되어 있는데 비해 精子의 마이토콘드리아는 中片部에 集中的으로 配列되어 螺旋狀(herix)을 이루고 있다. 主部를 둘러싸고 있는 纖維鞘(fibrous sheath)은 그 內部構造를 保護하고 精子運動에 彈力을 賦與하는 役割을 擔當한다.

Saacke and Almquist (1964 a,b)는 精子를 電子顯微鏡으로 觀察하고 第 2 圖와 같이 그 微細構造를 밝혔다.

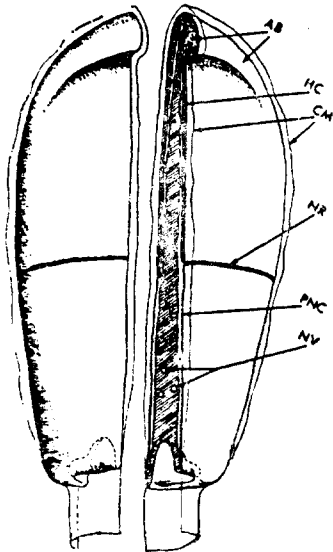


그림 2-1. 소精子 頭部의 微細構造: AB, 尖帽; HC, 頭帽; CM, 細胞膜; NR, 核被膜輪; N, 核; PNC, 後帽; NV, 空胞

頭部の 尖體前端部에 尖帽(apical body)가 있고, 尖體와 後帽의 境界部에 核被膜輪(nuclear ring)이 있다(그림 2-1). 그리고 核內部에 空胞(nuclear vacuoles)가 散見된다.

頭部の 後端은 咬合窩(implantation fossa)를 이루고 있어서 頸部の 基部를 이루는 얇은層 即 咬合板(implantation plate)을 收容하도록 되어 있다(그림 2-2).

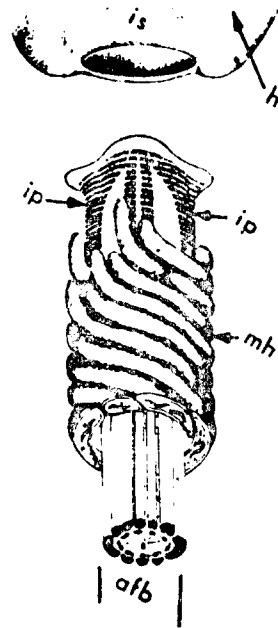


그림 2-2. 頭部의 微細構造: h, 頭部; is, 咬合窩; ip, 咬合板; mh, 마이토콘드리아 螺旋鞘; afb, 軸糸

中片部를 이루는 마이토콘드리아의 數는 사람과 소는 10~12個. 개는 15~17個, 새앙쥐(mouse)는 90個, 흰쥐(rat)는 350個 程度가 모여서 螺旋狀을 이루고 있다하며(Fawcett, 1970), 이는 TCA cycle의 回轉等を

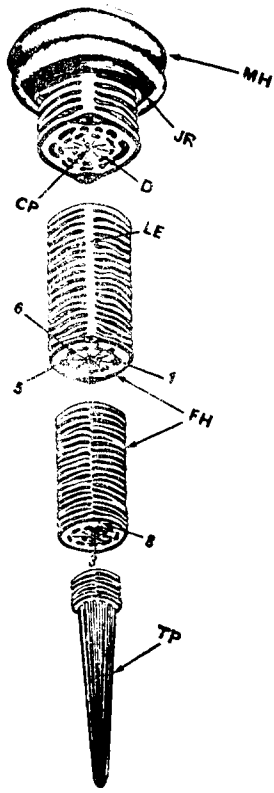


그림 2-3. 中片部와 主部의 一部: CM, 細胞膜; MH, 마이토콘드리아 螺旋鞘; MC, 마이토콘드리아; AFB, 軸系; JR, 環帶; FH, 纖維螺旋鞘 LE, 세로줄기

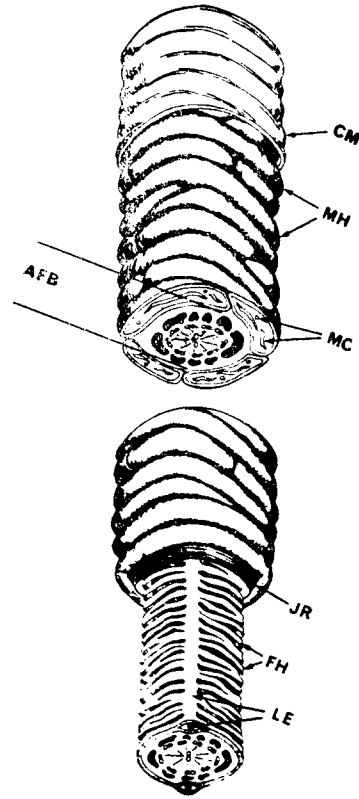


그림 2-4. 主部와 終部の 微細構造: MH, 마이토콘드리아 螺旋鞘; JR, 環帶; D, 內側纖維; CP, 中心纖維; LE, 세로줄기; FH, 纖維螺旋鞘; TP, 終部; 數字는 內側纖維와 外側纖維의 位置를 表示하는 番號

通하여 ATP를 生産供給하는 機能을 가지고 있다.

中片部の 마이토콘드리아鞘가 끝나고 主部の 纖維鞘가 始作되는 境界部는 環帶(anulus)를 形成하고 있는



그림 3-1. 纖毛斷面の 電子顯微鏡寫眞 (×100,000)

데 이것을 Jensen's ring이라고도 부른다. 中片部에서 主部下端까지의 斷面을 보면 中心纖維2本과 內側纖維9本으로 된 軸索이 같은 크기로 連結되어 있으며 그 周圍를 外側纖維(coarse fiber)가 둘러싸고 있는데, 이 外側纖維는 中片部에서 가장 굵고 主部の 下端으로 내려 감에 따라 가늘어져서 終部에 이르게 되면 外側纖維는 전혀 볼 수 없게 된다. 主部の 纖維鞘를 보면 세로줄기(longitudinal element)가 相對的으로 두줄기 떨어져 있는데, 그 사이를 纖維質이 螺旋狀으로 둘러싸고 있으나, 終部에는 纖維鞘가 없다.

精子內 軸索의 微細構造를 밝히기 위하여 지금까지 纖毛에 對한 研究結果를 模型으로 하여 살펴보면 그림 3과 같다.

Satir(1974)는 纖毛의 斷面을 찍은 寫眞으로 纖毛의 基本構造를 模式化하였는데, 이를 살펴보면 中心部에 1雙의 纖維가 있다. 이

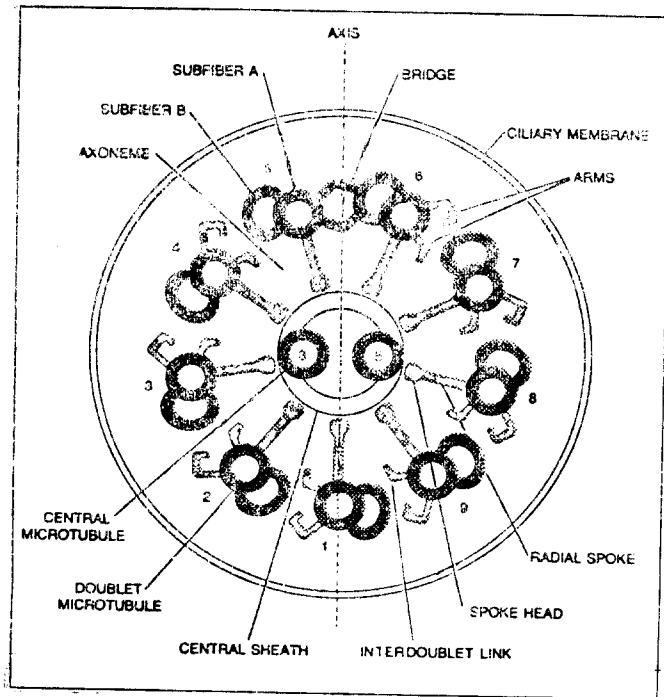


그림 3-2. 위 寫眞을 根據로 한 纖毛의 微細構造模式圖: Axis, 中心纖維의 中心을 지나가는軸; Bridge, 內側纖維사이를 連結하는 다리; Ciliary Membrane, 纖毛膜; Arms, 內側纖維 A에 붙어 있는 팔; Radial Spoke 內側纖維 A에서 中心纖維쪽으로 떨어진 放射狀살; Spoke Head, 放射狀살의 頭部; Interdoublet Link, 內側纖維連結; Central Sheath, 中心纖維鞘; Doublet Microtubule, 複微管으로된 內側纖維; Central Microtubule, 微細管으로된 中心纖維; Axoneme, 軸索(中心섬유+內側섬유); Subfiber B, 內側섬유 B; Subfiber A, 內側섬유 A

中心纖維는 中心纖維鞘(central sheath)에 依하여 連結되어 있고 그 周圍를 一定한 距離와 間隔을 두고 9個의 內側纖維 卽 複微管(doublet microtubule)이 둘러싸고 있다. 複微管의 하나는 圓形으로 되었는데 이것을 Subfiber A라 하고 여기에 붙어 있는 다른 하나를 Subfiber B라고 부른다. Subfiber A에는 2개의 팔(arm)과 1개의 바퀴 밑줄과 같은 放射狀 살(radial spoke)이 붙어 있고 複微管和 複微管사이에는 內側纖維連結(interdoublet link)이 있다. Subfiber A에 붙어 있는 팔은 쪽 편이면 Subfiber B에 連結하여 다리(bridge)를 놓게 되고 같은 中心纖維를 向하여 떨어진 그 끝이 굽어져서 살머리(spoke head)를 이루고 있는데, 이것은 中心纖維鞘에 連結하여 一定한 距離를

維持한다.

內側纖維는 便宜上 位置에 따라 番號를 붙이는데, 2개의 中心纖維의 中央을 지나가는 軸을 그으면 이에 걸리는 內側纖維가 있는데 이것을 1番으로 하고 時計바늘 方向으로 차례로 9番까지 番號를 붙일 수 있다. 이렇게 해보면 中心纖維는 3番과 8番의 內側纖維의 살과 連結된다.

哺乳動物의 外側纖維도 內側纖維와 같은 方法으로 番號를 붙일 수 있다.

이와 같은 纖毛斷面의 微細構造를 立體的으로 表示하면 그림 4와 같다.

卽 中心纖維는 1雙의 微細管인데 이것을 中心纖維鞘가 一定한 間隔을 두고 螺旋狀으로 둘러싸고 있다. 또한 內側纖維도 팔과 살이 一定한 間隔으로 Subfiber A에 秩序整然하게 配列되고 있다.

이것을 더욱 擴大해서 觀察하면 많은 球狀의 微粒子가 排列하고 있는데 이 微粒子는 tubulin 蛋白質分子이고, tubulin蛋白質分子가 排列하여 原纖維(protofilament)를 形成하고 있다. Subfiber A는 tubulin α 로 된 原纖維 13個가 모여서 管을 이루고 Subfiber B는 tubulin β 로 된 原纖維 10個와 Subfiber A의 原纖維 4個가 連結되어 管을 形成하고 있다. 따라서 Subfiber B는 Subfiber A에 비하여 그 直徑이 若干 크다.

그리고 Subfiber A에 붙어 있는 팔은 dynein 蛋白質로 되었는데 이것은 ATP를 分解하는 酵素인 ATP ase活性을 가지고 있어서 纖毛運動의 源泉役割을 한다(Gibbons and Frank, 1972). 高에너지 化合物인 ATP가 磷酸分子를 放出하고 adenosine diphosphate(ADP)로 될 때 運動 에너지가 發生하므로 纖毛나 精子는 自體內의 ATP를 分解하여 自律적으로 運動을 일으킬 수 있는데, 다만 ATP ase인 팔이 있어야 된다(Gibbons, 1965).

卽 Gibbons(1965)는 그림 5와 같이 完全한 纖毛를 tris EDTA溶液에 16時間 處理하였더니 Subfiber A에 붙어 있던 팔이 없어졌다. 여기에 30S Dynein과 Mg^{2+} 을 添加하였더니 팔이 再生되는 同時에 ATP ase活性이 復活되는 現象을 觀察하게 되었다. 이것으로 보아 arm=Dynein=ATPase라는 것을 알 수 있다. Dynein에는 14S Dynein과 이의 重合體로 生覺되는 30S Dynein으로 區分되는바, 14S Dynein과 Mg^{2+} 을

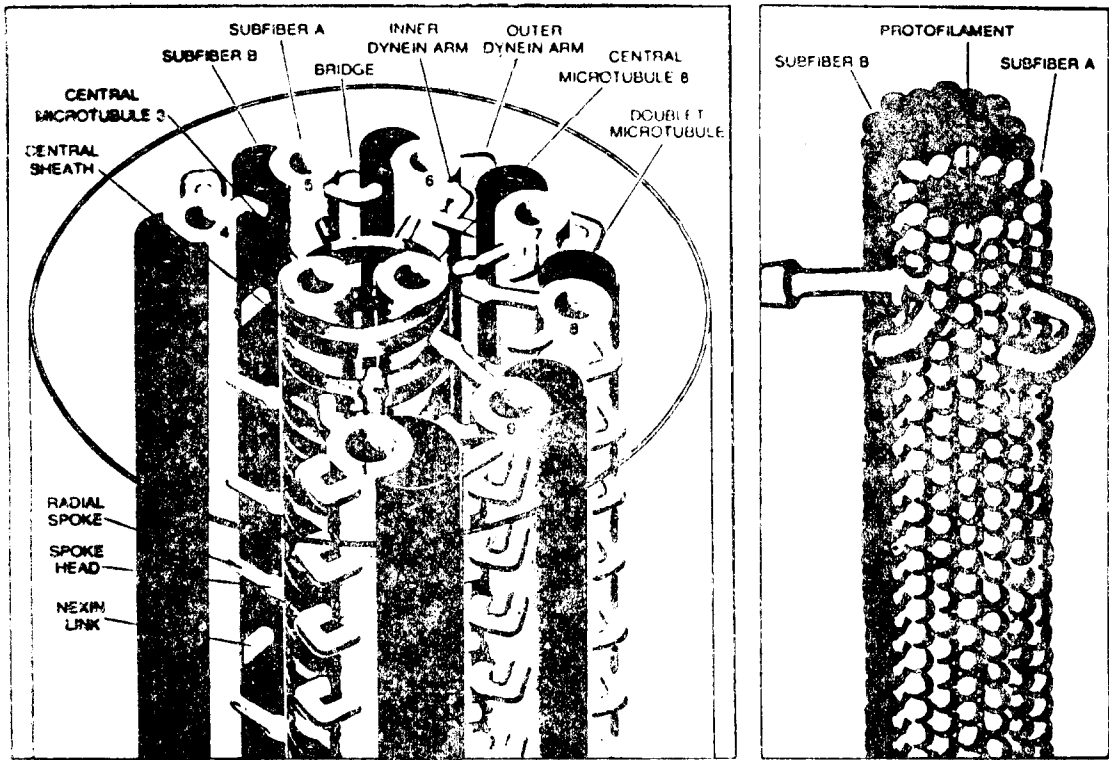


그림 4-1. 纖毛微細構造의 立體模式圖 : Central Sheath 中心纖維鞘가 螺旋狀을 만든 곳에 放射狀의 머리部分이 連結되어 있다 ; Central Microtubule 3, 微細管으로된 中心섬유 (번호 3) Sub fiber B, 內側섬유 B ; Subfiber A, 內側섬유 A ; Bridge, 內側섬유 A와 內側섬유 B를 連結하는 다리 ; Inner Dynein Arm, 內側다이나인팔 ; Outer Dynein Arm, 外側다이나인팔 ; Central Microtubule 8 ; 中心섬유(번호 8), Doublet Microtubule ; 複微管(二重 微細管으로된 內側섬유) ; Radial Spoke 放射狀살 ; Spoke Head, 放射狀살의 頭部 ; Nexin Link, 넥신담백질로된 內側섬유간의 連結

그림 4-2. Subfiber B, 內側 섬유 B는 10~11個의 튜브린 分子가 줄지어 圓筒을 形成 ; Protofilament, 튜브린 分子가 한줄로 늘어서 있는 ; Subfiber A, 內側纖維 A는 13個의 튜브린 分子로 되어 있다.

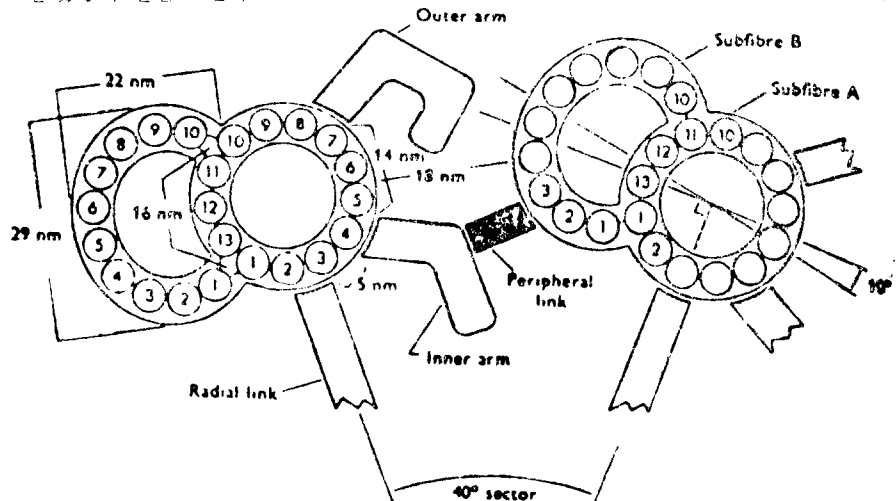


그림 4-3. 原섬유가 모여 複微管을 形成하고 있는 內側섬유 模式圖 ; Outer Arm, 外側팔 ; Subfiber B, 內側섬유 B는 10~11個의 原섬유로되었고 內側섬유 A의 原 섬유 3~5個와 連結되어 管을 이루고 있다 ; Subfiber A, 內側섬유 A는 13個의 原섬유가 모여 管을 形成하고 있다 ; Peripheral link, 內側섬유간連結 ; Inner arm, 內側팔, Radial link, 放射狀連結

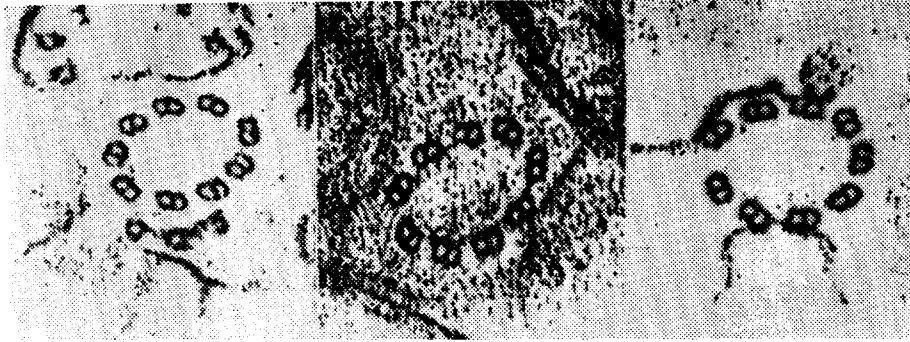


그림 5-1. 纖毛를 tris EDTA 溶液으로 16時間 透析한 後에 남은 固形成分의 電子顯微鏡寫眞(×10,000)

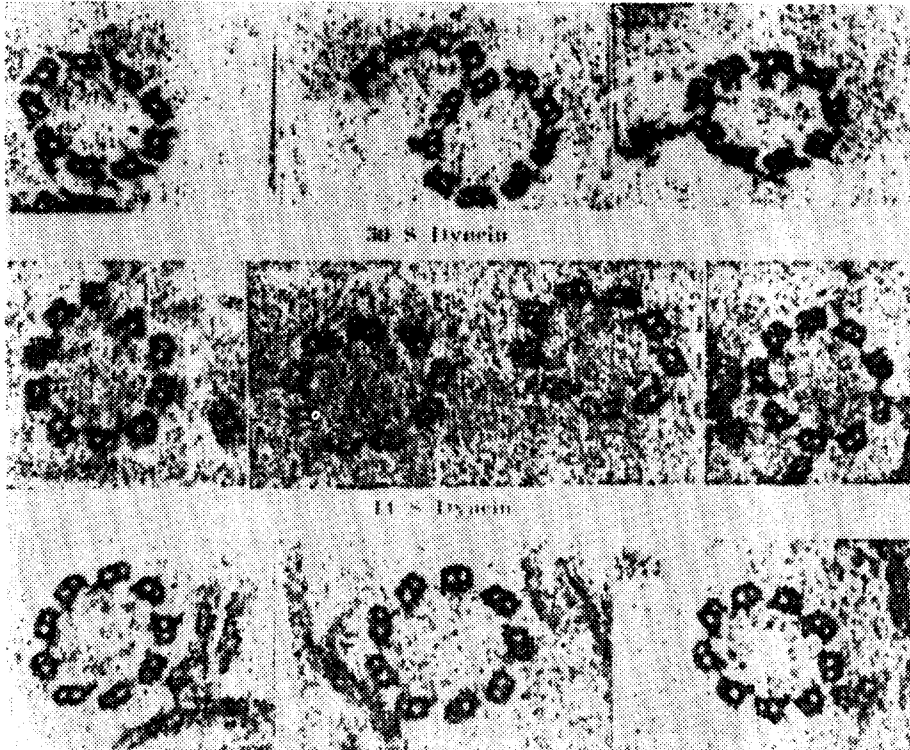


그림 5-2. 그림 5-1과 같이 處理하여 鬚이 없어진 纖毛에 對하여 Mg^{++} 存在下에 精製한 다이나인 30S와 14S를 添加한 實驗: 30S다이나인을 첨가하였을 때에는 鬚이 再生되었으나 14S다이나인 添加時는 鬚이 再生되지 않았다.

tris EDTA로 處理한 纖毛에 添加하여도 鬚은 再生되지 않았다. 이때 Mg^{++} 은 Dynein이 Subfiber A에 붙는데 必須要素로서 tris EDTA 處理하면 tris EDTA는 ' Mg^{++} '과 結合하여 Dynein 軸索에서 떨어져서 鬚이 없어졌다는 것을 알 수 있다.

Afzelius等(1975)은 繁殖不能인 青年兄弟를 對象으로 調査하였던 바 이들은 慢性靜脈洞尖과 氣管枝炎에 걸려 있었는데 그중 한 사람은 慢性中耳炎과 氣管枝擴張症까지 併發하고 있었으나 이들은 性機能이나 內分泌機能에는 異常이 없었다.

이들 兄弟의 精液을 採取하여 酸素消費量과 乳酸生産量을 調査하였던바, 모두 正常이었으나 精子生存率은 55~77%이었는데 그중 生存精子도 運動性은 없었다. 그리하여 精子가 精漿의 影響을 받은 것인지를 確認하기 위하여 이 兄弟의 精液을 다른 사람의 正常精子에 代置하여 보았더니 精子의 運動性에는 異常이 없었다.

다시 이 兄弟의 精子를 電子顯微鏡으로 觀察하였던바 다같이 軸索의 Subfiber A에 鬚이 없다는 것을 알게 되었다(그림 6).

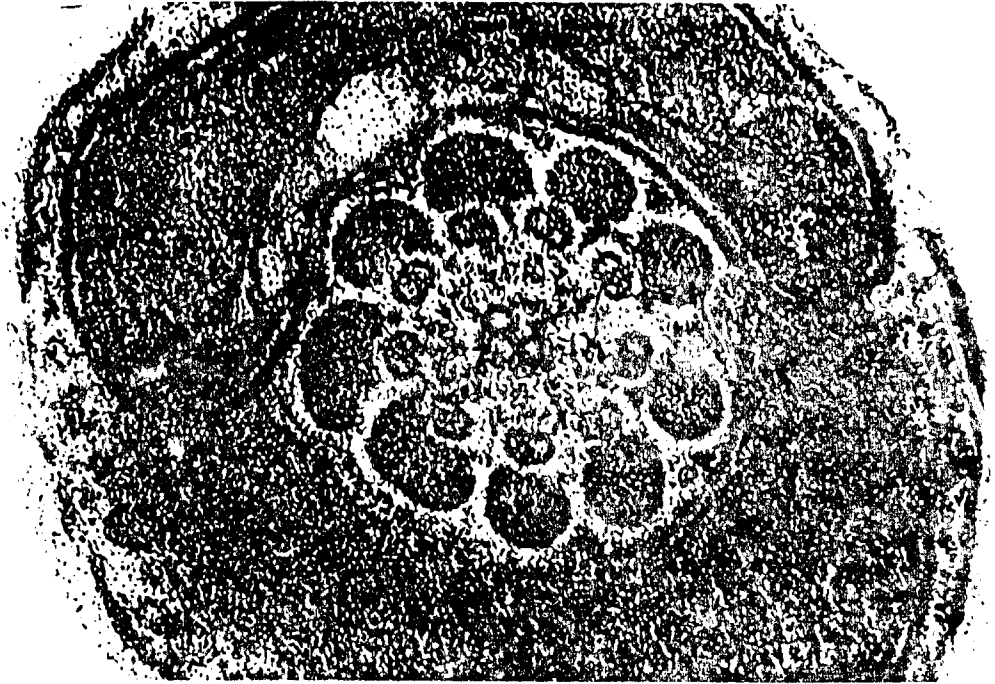


그림 6-1. 繁殖不能靑年의 精子中片部斷面의 電子顯微鏡寫眞(×150,000) : 軸糸는 2+9+9型을 나타내고 있으나 內側纖維에 다이 나인 팔이 없고, 外側纖維의 形態가 不規則的이다.

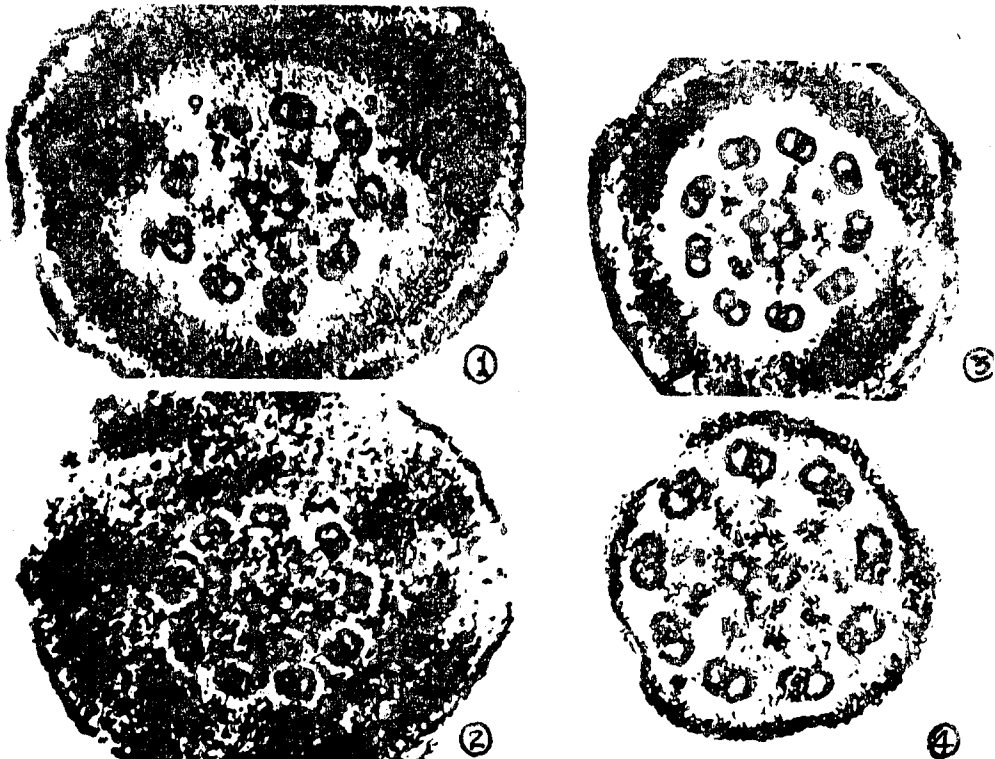


그림 6-2. 精子尾部の 主部에서 終部까지의 段階의斷面의 電子顯微鏡寫眞(①×140,000, ②, ③110,000×④175,000) : 모두 다이 나인 팔이 없고 세로줄 기의 位置가 非正常的이다.

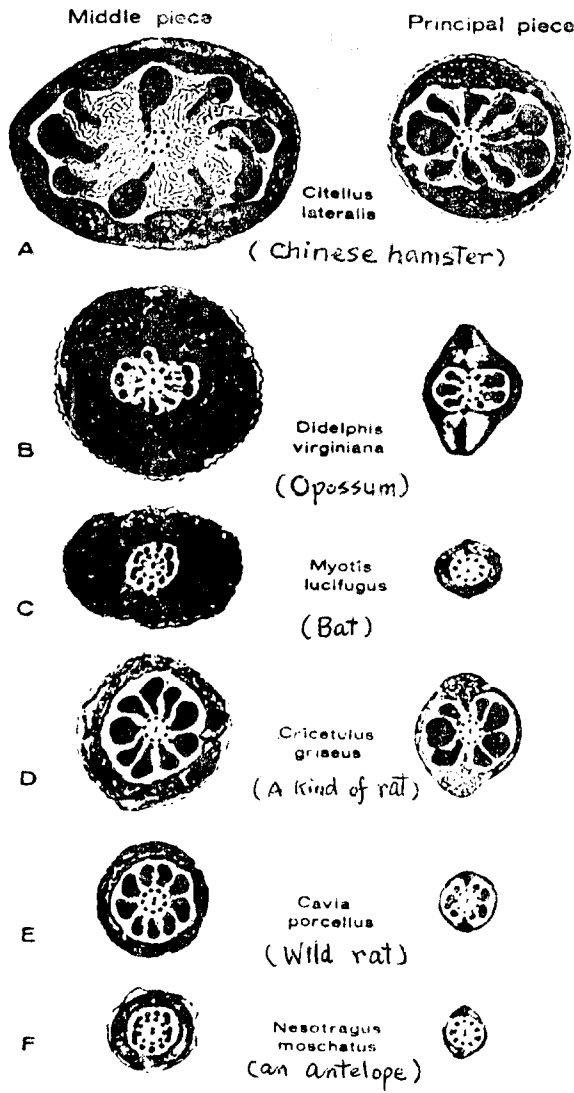


그림 7. 6種의 哺乳動物精자의 中片部와 主部の 橫斷面比較. 이 그림들의 擴大比率은 거의 비슷한 것으로서 各動物間의 尾部直徑이 差異가 있고 外側섬유의 크기의 差異가 顯著하다. A, 中國系쥐(Chinese hamster); B, 주머니쥐; C, 박쥐; D, 쥐의 一種; E, 들쥐; F, 羚羊의 一種

사람의 正常精자 外側纖維의 크기는 1,5,6番이 큰 것이 普通인데 이들 兄弟의 것은 一定한 傾向을 나타내지 않았다.

이 結果를 考察컨데 이 兄弟의 精자는 Dynein蛋白質을 合成하지 못하거나 合成한다 하더라도 팔을 形

成하지 못하는 것으로 볼 수 있으며, 팔이 없기 때문에 ATP ase의 活性이 없어서 生存精자라 할지라도 運動을 하지 못할 것으로 推理되었다. 그리고 靜脈洞炎과 氣管枝炎도 그 上皮의 纖維形成에 異常이 있는 것으로 짐작되어 이 患者는 遺傳的 原因에 基因한 것으로 볼 수 있다.

哺乳動物의 中心纖維와 內側纖維는 2+9의 類型으로서 그 크기도 거의 같으나 外側纖維는 種에 따라 크기의 差가 甚하고 大體로 1,5,6番이 크고 間或 9番이 큰 것도 있다(그림 7).

精자는 中心纖維를 軸으로 하여 運動을 하는데, 外側纖維가 가늘은 토끼의 精자는 꼬리를 많이 굽히는 데 反하여 흰쥐는 外側纖維가 굵어서 많이 굽히지 못하는 狀態를 볼 수 있다(그림 8).

纖維가 運動할 때 終部近處의 複微管을 觀察하여 纖維가 구부러 질때의 軸索末端部狀態를 Satir(1974)가 模式化한 것이 그림 9이다. 纖維의 最末端部를 보면 Subfiber A가 B보다 若干 長다.

윗 部分 中央의 寫眞은 纖維가 반듯할 때의 狀態로서 Subfiber A와 B가 다같이 나타나고 있는데, 左上의 寫眞은 纖維가 1~2番쪽으로 굽었을 때의 狀態로서 9番에서 3番까지는 Subfiber A와 B가 다같이 나타나고 있으나, 4~8番사이는 Subfiber A만이 나타나고 있으며 右上의 寫眞은 그와 反對로 굽었을 때의 狀態이다.

이와 같이 纖維의 末端部에서 9個의 內側纖維의 Subfiber A와 B가 全部 나타나지 않고 구부러지는 方向에 따라 Subfiber A만 觀察되는 것은 Subfiber A와 B사이에 미끄러짐(slide) 일어났기 때문이라고 解釋되고 있다.

그리고 Subfiber A와 B사이에 미끄러짐이 일어나면 微細管이 밀려서 길이에 差異가 생기므로 直線運動이 일어나게 될 것이나 이 미끄러짐은 放射狀 살의 牽制로 因하여 구부러짐(bending)으로 바뀌게 된다(그림 10-1).

이와 같이 미끄러짐이 일어나는 것을 前提로 프로그램(programing)하여 전자계산기(computer)로 運動曲線을 그려냈던바 海膽(sea urchin)精자의 實際運動을 120回/秒로 連續攝影한 寫眞과 一致된 結果를 얻었다(그림 10-2).

以上の 結果는 精자가 ATP를 에너지源으로서 다이나인팔(Dynein arm)인 ATPase의 作用으로 軸索이 미끄러짐을 일으킨 것이 波狀運動으로 變한다는 것을 立證한 것이다.

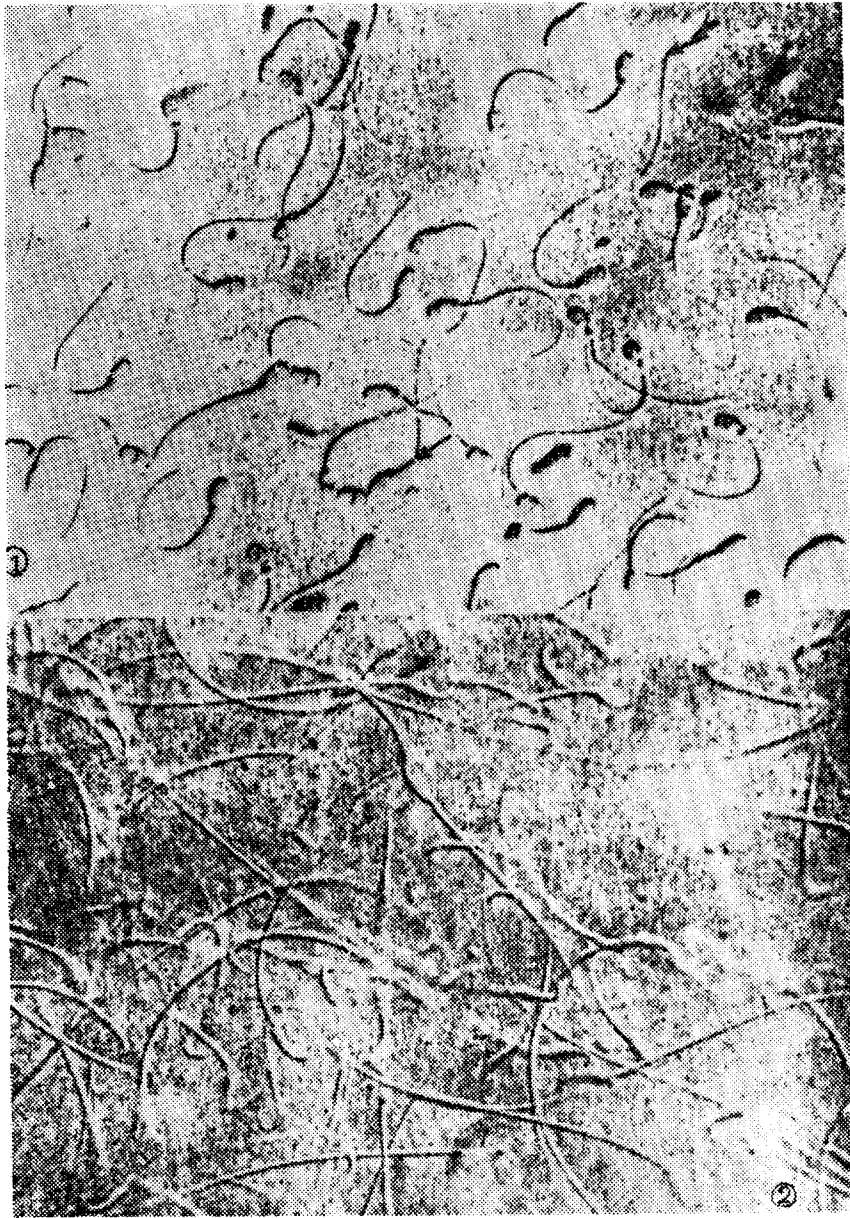


그림 8-1. 토끼 精子의 運動狀態(×400) 外側섬유가 比較的 가늘어서 運動時에 꼬리가 잘 구부러진다. 화살표
 한 部分은 外側섬유가 파괴되어 많이 구부러진 印象을 준다.
 그림 8-2. 쥐 精子의 運動狀態(×320) 外側 섬유가 굵어 꼬리가 많이 구부러지지 않는다.

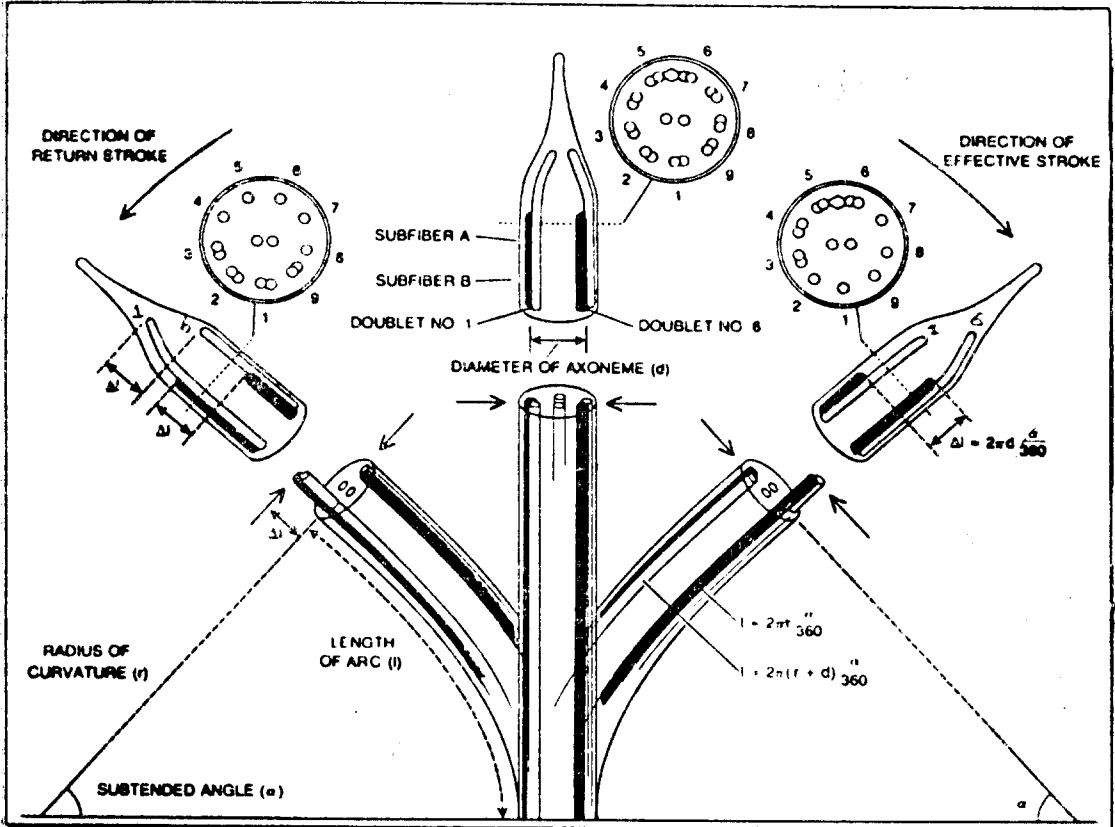


그림 9. 細管의 미끌어짐: 纖毛의 內側섬유 A와 B사이에서 미끌어짐과 구불어짐이 일어나면 纖毛끝部分의 横斷面에 나타나는 複微管의 狀態가 달라진다. 윗그림은 電子顯微鏡에 나타난 寫眞으로서 이것을 模式化한 것이 아래 그림이다. 卽 內側섬유 1番쪽으로 구불어졌을 때에는 4~8番은 內側섬유 A만 나타나고 9~3番까지는 複微管 그대로 나타난다. 이와 反對로 6番쪽으로 구불어졌을 때에는 3~6番까지는 複微管이 그대로 나타나고 있으나 7~2番까지는 內側섬유 A만이 나타난다. 이것으로 보아 內側섬유 A와 B사이에서 미끌어짐이 일어나는 것을 알수있고 이 미끄러짐이 일어날때 放射狀의 牽制로 因하여 꼬리의 구부러지는 現象으로 바뀌게 된다.

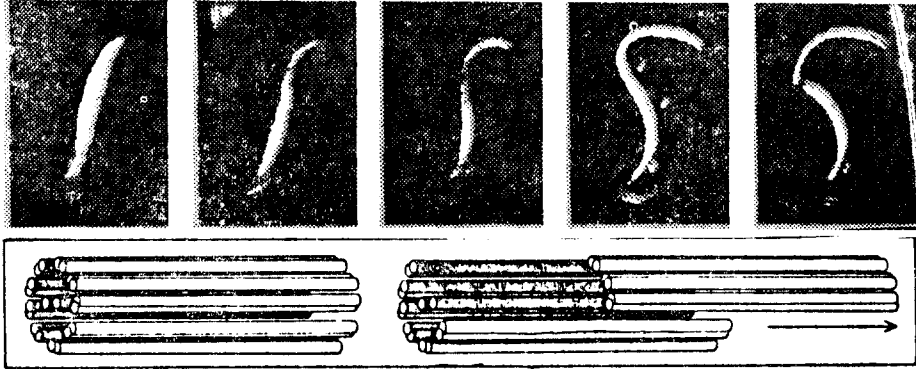


그림 10-1. 內側 섬유의 미끌어짐과 구불어짐 : 성체 精子의 꼬리를 detergent(淸淨劑)과 트립신으로 處理한 다음 ATP를 添加하면 放射狀살이 分解되어 牽制作用을 하지 못함으로 內側섬유의 미끌어짐이 구불어 지는 狀態로 變化하지 못한다. 위 그림은 에너지 源인ATP가 內側섬유를 미끌어지게 할 때 軸索이 가늘게 늘어나게 된다. 아래 模式圖는 放射狀살이 없어졌을 때 미끌어짐이 일어나는 狀態를 그 린 것이다.

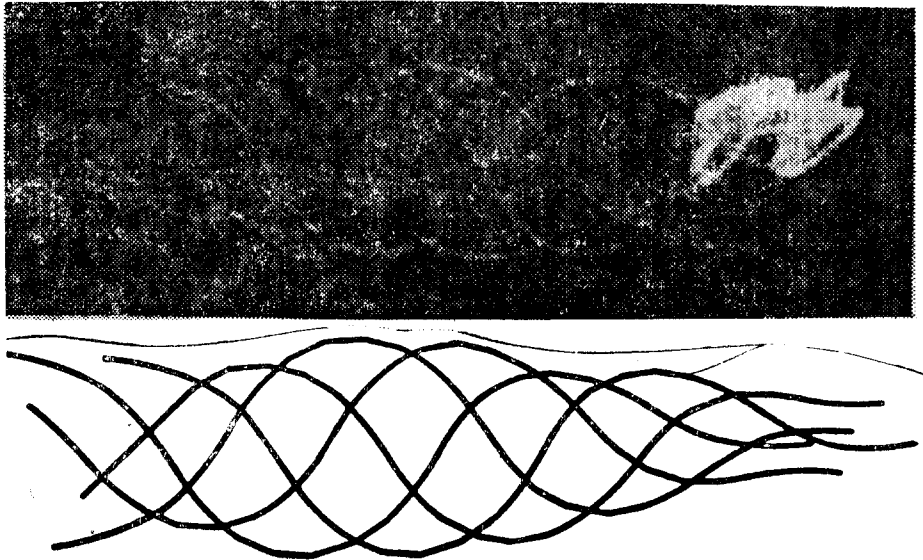


그림 10-2. 精子의 實際運動寫眞과 電子計算機로 프로그램한 模式圖와의 比較; 위 그림은 精子運動이 內側섬유의 미끌어짐으로 因하여 일어난다는 假定下에 프로그램하여 電子計算機로 運動回線을 그린 것이다. 아래 그림은 성체 精子의 實際運動을 秒當 120回 連續攝影한 寫眞으로서 왼쪽의 흰部分은 머리의 連續인 運動을 나타낸 것이다.

III

電子顯微鏡의 解像力의 增加로 精子內部の 微細構造가 밝혀지는 한편, 生化學的 研究方法의 進展으로 그 構成分과 機能도 漸次알려지고 있다.

이와 같은 精子에 對한 研究를 하기 위하여 至極히 簡單한 構造를 가지고 있으면서 運動性이 있는 纖毛를 類型으로 하여 그 研究가 活潑히 進行되고 있다.

纖毛는 中心纖維와 內側纖維가 2+9의 構造로 軸索을 形成하고 있는데, 哺乳動物의 精子의 꼬리(中片部, 主部, 終部)에도 이와 基本構造가 같은 中心纖維와 內側纖維가 2+9의 形態로 軸索을 이루고, 그 周圍를 9개의 外側纖維가 둘러싸서 軸索을 形成하고 있다.

精子의 頭部, 頸部 및 尾部의 表面은 細胞膜으로 덮이고 中片部는 마이토콘드리아가 螺旋狀으로 密集하여 軸索을 包圍하고 主部는 纖維鞘가 둘러싸고 있다. 中心纖維와 內側纖維는 微粒子로 된 tubulin 蛋白質分子

가 한줄로 늘어서서 이루어진 原纖維가 모여서 管을 形成하고 있는데 中心纖維는 2개의 微細管이고, 內側纖維는 微細管 2개가 합친 複微管이 9개 있다. 內側纖維인 複微管은 Subfiber A와 B로 되었는데 Subfiber A에는 Dynein蛋白質로 된 2개의 팔(arm)이 이웃하고 있는 複微管을 向하여 一定한 間隔으로 排列되고 또 nexin蛋白質로 된 1개의 살(radial spoke)이 中心纖維를 向하여 一定한 間隔으로 排列되어 있다. 精子運動의 에너지源은 ATP이다. Subfiber A에 붙어 있는 다이내인 팔은 ATPase活性을 가지고 있어서 이것이 ATP를 分解할 때 얻어지는 에너지로 이웃하고 있는 複微管사이에 미끄러짐이 일어나는데 이때 中心纖維와 Subfiber A사이에 있는 살이 一定한 距離를 維持하므로 그 牽制作用으로 軸索이 구부러져 結果적으로 波狀運動을 일으키게 된다. 이때 軸索을 둘러싸고 있는 外側纖維의 굵기에 따라 그 抵抗의 程度에 差異가 있어서 種에 따라 運動할 때 구부러지는 程度가 달라진다.

이와 같은 原理로서 精子는 自律的 運動을 일으킬 수 있을 뿐 아니라 그 趨向性에 따라 卵子에 接近하게 되고 結局에는 酵素와의 共同作用으로 受精現象이 일어나는 것으로 믿어진다.

摺稿를 대담함에 있어 添言할 것은, 微細한 單一細胞인 精子가 이와 같이 合目的的인 原則下에 組織적이고 纖細하며 巧妙하게 構成되어 酵素의 도움을 받아 自體運動을 일으킬 수 있도록 創造한 生命의 神秘에 感嘆하지 않을 수 없다.

IV. 引用文獻

- 1) Afzelius, B.A., R. Eliassen, O. Johnsen and C. Lindholmer. 1975. *J. Cell Biol.*, 66 : 225~232.
- 2) Fawcett, D.W. 1970. *Biol. Reprcd.*, (Suppl.) 2 : 90~127.
- 3) Fawcett, D.W. 1975. *Dev. Biol.*, 44 : 394~436.
- 4) Gibbons, I.R. 1965. *Arch. Biol. (Liege)*, 76 : 317~352.
- 5) Ham, J. 1677. cited by Hughes A. 1955. *J.R. Micr. Soc.*, 75 : 1~22.
- 6) Phillips, D.M. and G. Olson. 1975. Mammalian sperm motility-structure in relation to function. pp.117~126 in B.A. Afzelius (ed.), *The functional anatomy of the spermatozoon*. Pergamon Press, Oxford.
- 7) Saacke, R.G. and J.O. Almquist. 1964a. *Am. J. Anat.*, 115 : 143~162.
- 8) Saacke, R.G. and J.O. Almquist. 1964b. *Am. J. Anat.*, 115 : 163~184.
- 9) Satir, P. 1974. *Sci. Am.*, 231(Oct) : 44~52.
- 10) Warner, F.D. and P. Satir. 1973. *J. Cell Sci.*, 12 : 313~326.
- 11) Wu, S.H. and J.D. Newstead. 1936. *J. Anim. Sci.*, 25 : 1186~1196.