

중국얼룩날개모기 유충내에 있는 중장 상피세포들의 미세구조

류 재 혁

인하대학교 이과대학 생명과학과

Ultrastructure of the Midgut Epithelial Cells in the Mosquito Larvae, *Anopheles sinensis* Wiedemann

Chai Hyeock Yu

Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 402-751 Korea

(Received August 12, 2004; Accepted August 24, 2004)

ABSTRACT

The midgut epithelium of the last instar larva in the mosquito larvae, *Anopheles sinensis* was observed with electron microscopes. The midgut epithelium of the mosquito larva is composed of a single-layered columnar absorptive cells, regenerative cells and secretory granular cells. The free surface of the columnar absorptive cells has a regular array of microvilli "brush border", while cell membranes close to the basal lamina are extremely infolded and a lot of mitochondria are concentrated in those processes. The columnar absorptive cells also contain cell organelles expected to be found in absorptive cell. Midgut regenerative cells which are positioned basally in the epithelium form the groups, which are called "nidi", composed of 1 or 2~3 cells, they show darker appearance than the columnar absorptive cells. The secretory granular cells contain numerous electron dense granules, 200~400 nm in diameter. The cone shaped secretory granular cells are located in the basal portion of the midgut epithelium. The epithelium is surrounded by the subepithelial space and muscle bundles. The subepithelial space, which is filled with fibrous connective tissue, is innervated by many axon cells and tracheoles.

Key words : *Anopheles sinensis* (Culicidae), Epithelial cell, Midgut, Ultrastructure

서 론

곤충의 소화관은 각 종마다 형태와 크기가 조금씩 다르지만, 전장 (foregut), 중장 (midgut), 그리고 후장 (hindgut) 등 크게 3부분으로 구분된다. 전장과 후장은

외배엽에서 발생되어 장내면이 얇은 큐티클 층으로 덮여 있으며, 전장에서는 섭취물의 일시적 저장 및 물리적 소화를 후장에서는 물과 이온들의 재흡수 기능을 수행한다. 따라서 소화 물질의 분해와 흡수작용, 즉 소화작용은 대부분 중장에서 일어나는 것이 곤충의 특징이다 (Wigglesworth, 1972).

* 이 논문은 2003년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음 (INHA-30286)

* Correspondence should be addressed to Dr. Chai Hyeock Yu, Department of Biological Sciences, College of Natural Science, Inha University, 253 Yonghyun-Dong, Nam-ku, Incheon 402-751 Korea. Ph: (032) 860-7693, FAX: (032) 874-6737, E-mail: chy@inha.ac.kr

중장의 상피조직은 소화물질을 흡수하는 원주상흡수세포 (columnar absorptive cell), 재생세포 (regenerative cell), 분비과립세포 (secretory granular cell), 그리고 배상세포 (goblet cell) 등 각기 다른 기능과 형태로 분화된 4종류로 구성된 단층의 점막상피를 이루고 있다. 그러나 보고된 바에 따르면 원주상 흡수세포와 재생세포는 모든 곤충의 중장에서 관찰되나 분비과립세포와 배상세포는 없는 종이 있다. 중장 상피의 대부분을 차지하고 있는 원주상 흡수세포는 장내강으로부터 분해된 물질을 흡수하여 체강의 혈림프로 보내는 소화의 주기능을 수행하는 전형적인 물질 흡수세포 형태를 하고 있다. 재생세포는 원주상 흡수세포가 노화하여 퇴행되면 새로운 원주상흡수세포로 분화되거나, 성장 변태할 때 새로운 장상피를 만드는 세포들로서 분화능력을 가지고 있다. 분비과립세포는 내분비성 세포로서 분비과립을 갖는 것이 특징이며, 배상세포는 단세포로서 내강이 크게 변형되었으며 점액질을 분비한다 (Chapman, 1985).

이와 같이 영양물질의 분해와 흡수기능을 수행하는 중장에 대한 연구는 다각적으로 수행되어지고 있는데, 세포, 조직 등의 구조와 형태에 관한 연구로서는 변태를 하지않는 하등곤충인 낫발이목, 톱토기목에 속하는 곤충에서부터 불완전변태를 하는 바퀴목과 지시목 곤충 그리고 완전변태를 하는 인시목, 딱정벌레목 곤충 등 많은 곤충들을 대상으로 연구 보고된 바 있다. 그 중에서 위생곤충이 많이 속해 있는 파리목 (Diptera) 곤충인 *Calliphora erythrocephala* (Priester, 1971), *Glossina morsitans* (Brown, 1980), 그리고 *Drosophila melanogaster* (Filshie et al., 1971) 등의 연구가 보고된 바 있다. 한편 본 실험 대상 종이 속한 파리목 모기과는 전염병을 매개하는 곤충으로서 소화관 형태에 관해 많이 연구보고 되었다. 그 중 *Aedes aegypti* (Hecker et al., 1971a,b; Rudin & Hecker, 1976; Brown et al., 1985)와 *Culex tarsalis* (Houk, 1977; Houk & Hardy, 1979), *C. pipiens quinquefasciatus* (Davidson, 1979), *C. pipiens fatigans* (Hecker, 1977) 등을 재료로 하여 발생 과정에 따른 장 상피세포의 분화와 방제를 위한 기초 연구로서 중장의 세포형태를 보고하였다. 그런데 아프리카, 동남아시아 등지에서 말라리아를 매개하는 *Anopheles gambiae* (Hecker, 1977)과 *A. stephensis*

(Schneider et al., 1986)는 연구보고 되었지만, 우리나라에서 말라리아를 매개하는 모기로 알려진 *Anopheles sinensis* 종에 관한 연구는 보고된 바가 있다. 따라서 본 연구에서는 이에 발표된 여러 종의 중장에 대한 자료를 참고로 하여 말라리아 원충을 매개하는 중국얼굴날개모기 방제를 위한 기초연구 자료로서 중장의 상피조직에 대한 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

본 실험에서는 중국얼굴날개모기 (*Anopheles sinensis* Weidemann; Culicidae)를 $26 \pm 2^\circ\text{C}$ 되는 항온실에서 인공먹이를 주고 사육하여, 종령 유충인 4령 유충을 암·수 구별없이 실험재료로 사용하였다.

상기 유충을 해부현미경하에서 해부하여 중장만을 적출하여 2% paraformaldehyde (0.1 M phosphate buffer, pH 7.4) 혼합고정액 (4°C)에 12시간 전고정하였다. 그 후 4°C 의 0.1 M phosphate buffer 용액으로 3시간 동안 3회 세척한 후, 다시 1% osmium tetroxide (0.1 M phosphate buffer, pH 7.4)로 2시간동안 후고정하였다. 고정된 재료를 ethyl alcohol의 농도를 증가시켜 탈수하고, propylene oxide로 치환하여 epoxy resin (Epon-812혼합액)에 침투시켜 포매하였다. 60°C 에서 36시간 동안 열중합시켜 블록을 제작하였으며 포매된 재료를 semi-section하여 methylene blue와 basic fuchsin으로 염색하여 광학현미경하에서 조직을 관찰하였다. 그리고 LEICA ULTRACUT R을 이용해 70~90 nm로 절편한 후 uranyl acetate (20분간), lead citrate (10분간) 이중 염색하여 투과전자현미경 (Philips CM 200)으로 관찰하였다.

결 과

중국얼굴날개모기 종령 유충의 중장 상피조직을 구성하는 세포들의 미세구조를 관찰한 결과는 다음과 같다.

소화관 길이는 수컷의 것은 약 6.5 mm, 암컷은 약 7.5 mm이었으며 해부학적으로 암·수 차이는 없었다.

그림1의 A에서 보는 바와 같이 소화관은 긴 관상구조로서 입에서부터 전장, 맹장 (caecum)에서부터 말피기 씨관이 분지한 곳까지가 중장, 그리고 항문까지 후장으로 구분된다. 중장 부분을 횡단해 보면 (Fig. 1-B), 중장조직은 단층의 점막상피를 이루었으며 그 주위를 근육다발이 둘러싸고 있다. 중장의 점막 상피조직은 긴 원주상흡수세포와 재생세포 그리고 분비과립세포 등 3종류의 세포로 이루어졌으며, 기저막 아래에 얇게 점막하조직이 있으며 그 주위에 중주근과 환상근이 관찰되었다 (Fig. 1-C).

1. 원주상흡수세포

중장 점막상피의 대부분을 차지하고 있는 원주상흡수세포는 높이가 약 60 μm , 폭은 약 15 μm 크기이었다. 장 내강에 면한 첨단부 원형질막은 규칙적인 미세융모 (microvilli)로 변형되어 "brush border"를 형성하였다. 미세융모의 길이는 약 1.5 μm 크기로서 중장의 전단부를 구성하는 세포의 미세융모 (Fig. 2)가 후단부를 구성하는 세포의 미세융모 (Fig. 3)보다 조금 짧고 굵은 것이 특징이었다. 그리고 그림 4에서와 같이 재생세포의 분화 초기에 미세융모가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 원주상흡수세포의 핵은 원형 혹은 난

형으로써 세포의 중앙부 또는 약간 기저쪽에 위치하였고 (Fig. 5), 그 주변에는 과립 소포체 (rough endoplasmic reticulum)과 사립체 (mitochondria)가 발달하였다 (Figs. 5, 6). 그리고 그림 7에서와 같이 직경이 약 500~800 nm 크기의 지질과립 (lipid droplet)들이 관찰되었고, 간혹 0.5~1.5 μm 크기의 리소조움 (lysosome)이 관찰되기도 하였다 (Fig. 8). 한편 기저막에 면한 기저원형질막은 세포질 내로 심하게 기저막 주름 (basal infolding)이 잡혀 "canaliculi, basal labylnth"를 만들었다. 기저막 주름은 평행하게 세포질내 약 20 μm 깊이까지 뻗었으며, 그 사이에는 크게 발달한 긴 사립체가 밀착되어 있는 것이 특징이었다 (Figs. 9, 11).

2. 재생세포

점막상피의 기저쪽에서 작고 전자밀도가 높아 검게 보이는 재생세포가 관찰되었다 (Fig. 12). 재생세포는 1개 혹은 2~3개가 집단 ("nidi")을 이루어 원주상흡수세포의 기부 기저막상에 위치하고 있었다. 재생세포의 핵은 세포 크기에 비해 상대적으로 큰 편이며 세포 중앙에 위치하였고 사립체, 소포체 등과 같은 세포기관이 관찰되었으나 발달하지는 않았다.

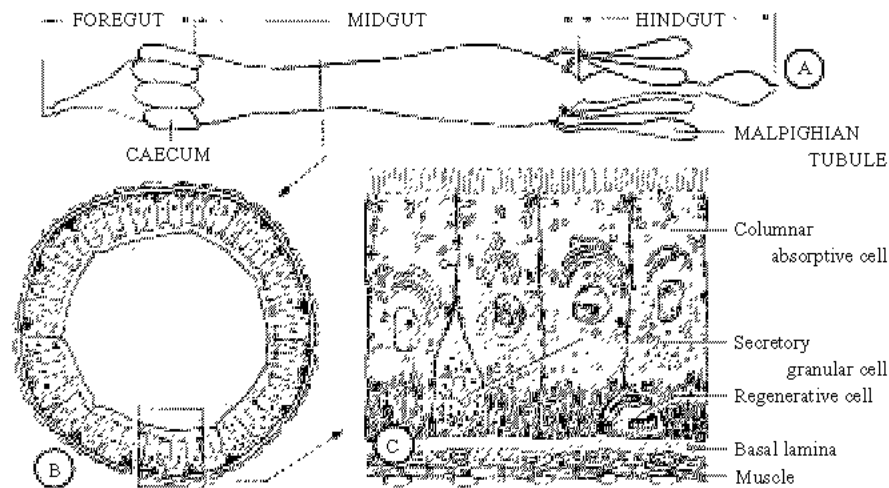


Fig. 1. A: Diagram of the alimentary canal and Malpighian tubules in the mosquito larvae, *Anopheles sinensis*. B: Cross-section of the midgut. C: Schematic illustration of the various cell type of midgut epithelium.

3. 분비과립세포

중국 얼룩날개모기의 중장 상피조직에서는 분비과립세포가 관찰되었다. 그림 13에서 보는 바와 같이 이 세포질 내에는 전자밀도가 서로 다른 200~400 nm 크기의 과립들이 산재해 있었으며, 주로 핵의 아래쪽에 분포하였다. 이 세포도 기저막 상에 위치하며 원주상 흡수세포와 같이 장 내강에 까지 길게 뻗지 않아 원추형 세포로 관찰되었다.

이상의 3유형의 세포들로 구성된 점막 기저부에는 약 150 nm 두께의 기저막 (basal lamina)이 접해 있었다 (Figs. 9, 11, 13). 그리고 기저막 아래에는 결합조직인 점막하조직이 있으며 (Figs. 10, 11), 그 내에는 신경세포 (axon cell)와 기관세지 (tracheole)들이 관찰되었다. 신경세포들은 1~2 μm 크기로서 신경물질 과립이 관찰되기 때문에 쉽게 구분되었다. 그리고 다양한 모양의 단면으로 관찰되는 기관세지는 큐틴질로서 내강이 거치형으로 구성되었으며 염색이 진하게 되어 다른 기관과 쉽게 구분된다 (Fig. 10). 그리고 그림 10, 11에서 보는 바와 같이 점막하 조직 바깥쪽에는 근육다발이 관찰되는데, 근육다발은 1~1.5 μm 굵기로서 안쪽으로 환상근 (circular muscle)이 그 바깥쪽에 종주근 (longitudinal muscle)이 관찰되었다.

고 찰

본 실험재료로 사용한 중국얼룩날개모기 (*Anopheles sinensis* Wiedemann; Culicidae; Diptera)는 우리나라 중부지방을 중심으로 많이 분포하고 있으며, 흡혈시 학질 (malaria) 병원충을 전염시키는 위생곤충의 일종이다. 그런데 동남아시아나 아프리카 등지에서 학질을 매개하는 *A. gambiae* (Hecker, 1977), *A. stephensis* (Schneider et al., 1986)에 대한 연구는 보고된 바 있지만, 우리나라에서 학질을 매개하는 중국얼룩날개모기의 중장의 미세구조에 대해서는 아직 보고된 바가 없다. 그리고 황열병을 전염시키는 *Aedes aegypti* (Hecker et al., 1971a, b; Rudin & Hecker, 1976; Brown et al., 1985), 그리고 뇌염을 감염시키는 *Culex tritaeniorhynchus*와 *C. tarsalis*의 소화관에 대한 연구도 많이

보고된 바 있다 (Houk, 1977; Houk & Hardy, 1979). 상기 보고된 내용을 참고로 아직 보고 되지 않은 중국 얼룩날개모기의 중장 조직을 관찰하였다.

중국얼룩날개모기의 중장조직을 관찰하기 위해 중령유충인 4령유충을 사용한 것은 변태를 하는 곤충들은 먹이 섭취를 왕성히 하는 유충시기의 소화관이 가장 크게 발달하였기 때문이다. 그러나 모기가 성충이 되면 수컷은 흡혈하지 않지만 암컷은 고등동물의 피를 흡혈해야만 적혈구의 특수단백질을 이용하여 알을 형성할 수 있다 (Wisglesworth, 1972). 따라서 일차적으로 수행한 본 연구를 바탕으로 흡혈하기 전과 후인 성충의 중장에 대한 연구를 앞으로 추진할 예정이다.

곤충의 중장 상피는 세포의 형태와 기능에 따라 원주상흡수세포, 재생세포, 분비과립세포, 그리고 배상세포 등 4종류로 구분된다 (Chapman, 1985). 모든 곤충의 중장상피는 원주상 흡수세포와 재생세포는 공통적으로 구성된 세포이지만, 분비과립세포와 배상세포는 어떤 종에서는 분포하지 않는다. 본 실험종인 중국얼룩날개모기는 물론 다른 연구자들에 의해 보고된 모기류의 중장에서는 배상세포가 관찰되지 않았다. 그러나 유충시기에 다량의 먹이를 섭취하는 딱정벌레 (Coleoptera), 인시목 (Lepichoptera) 곤충의 장상피내에서는 배상세포가 발달하였다 (Anderson & harvey, 1966; Smith et al., 1969; Cioffi, 1979).

모기류의 중장 점막상피 즉 원주상흡수세포의 높이는 약 60~80 μm 로서 *A. aegyptic* (Rudin & Hecker, 1976)과 *C. pipiens pallens* (Yu, 1990) 등의 상피 높이는 80 μm 로 세포들이 길게 발달한 반면 본 중국얼룩날개모기의 상피는 약 60 μm 이었다. 그리고 세포의 미세융모의 길이도 중국얼룩날개모기의 것은 약 1.5 μm 정도로 짧았지만, Yu (1990)가 보고한 빨간집모기의 미세융모 길이는 4 μm 정도로 매우 길었다. 그리고 원주상 흡수세포는 사립체, 과립세포체 그리고 리소조움 등의 세포기관이 발달한 것은 일반적인 특징이지만 (Figs. 5, 6, 8), 그림 7에서 보는 바와 같이 지질과립이 자주 관찰되었다. 이는 빨간집모기 (Yu, 1990)와 연두금파리 (Cho et al., 1991)에서도 관찰되었는데 이는 파리목 곤충의 특징인 것으로 사료된다. 반면 지시목과 인시류 곤충의 중장내에서는 glycogen granules이 많이 집적된 것이 관찰되었지만 (Cioffi, 1979, Yu, 1993),

본 중에서는 관찰되지 않았다.

기저원형질막은 심하게 주름이 잡혀있으며 여기에 내막계가 발달한 사립체가 접하고 있는데 이런 구조는 전형적인 흡수세포 형태로서 다른 곤충에서도 관찰되는 특징이다. 그러나 모기류의 기저막 주름의 깊이는 약 20~30 μm로 길고 평행하게 발달한 반면 바퀴류의 기저막 주름은 깊지 않으며 평행하지 않고 불규칙한 미로형태를 하였다 (Yu, 1993).

재생세포는 노화된 원주상흡수세포가 퇴행되면 새로운 원주세포로 분화되거나, 변태시기에 새로운 장상피를 구성시키는 세포들로서 직시목 곤충에서 발달하였다. Yu (1992, 1993)에 의하면 바퀴류의 재생세포들은 4~7개의 세포들이 기저막상에 집단을 이루고 있는데 반해 본 중에서는 1개 혹은 2~3개의 세포들이 기저막상에서 관찰되었다. 그리고 재생세포들은 세포질이 응축된 상태로 존재하기 때문에 다른 세포에 비해 전자밀도가 높아 검게 관찰되었다 (Fig. 12).

분비과립세포는 상피조직내에서 가끔 관찰되었는데, 그림 1-C와 13에서와 같이 기저막상에 위치하며 원주세포의 기부 사이에 위치하여 원추형으로 관찰되거나, 재생세포들의 집단 하단내에 위치하고 있었다. 한편 Brown et al. (1985)은 *Aedes aegypti*에서 내분비세포 (endocrine cell)를 관찰 보고한 바 있고, Hecker (1977)는 *Anopheles gambiae*와 *Anopheles stephensi*에서 관찰된 내분비세포를 명세포 (clear cell)라 보고한 바 있다. 그런데 본 실험에서 관찰된 분비과립의 크기와 전자밀도 등이 차이가 있는데, 앞으로 조직화학적 및 조직면역학적 방법의 실험을 실시하여 기능적으로 명확히 확인 규명해야 할 것으로 사료된다.

중장의 기저막과 근육층사이에는 결합조직인 점막하조직을 관찰할 수 있으며, 교질내에 섬유상물질이 엉성하게 분포하는 곳으로 그 내에는 다양한 크기의 신경세포 말단이나 기관세지들이 분포하였다 (Fig. 10). 곤충의 호흡기관은 기관(trachea)으로서 이것이 분지하여 장상피면까지 길게 뻗어 들어간 것이 기관세지(tracheole)인데 이런 것은 폐호흡을 하는 동물에서는 없는 기관이다.

고등동물은 골격근과 소화관을 수축시키는 평활근으로 분화되었지만, 곤충의 모든 근육은 골격근의 형태를 하고 있다 (Chapmann, 1985). 따라서 그림 10, 11

에서 보는 바와 같이 중장 외벽을 싸고 있는 근육다발은 액틴과 미오신이 규칙적으로 배열된 형태로 관찰되며, 안쪽에 환상근 바깥쪽에 종주근이 배열하고 있다.

참 고 문 헌

Anderson E, Harvey WR: Active transport by the *Cecropia* midgut. II. Fine structure of the midgut epithelium. *J Cell Biol* 31 : 107-134, 1966.

Brown MR, Raikhel AS, Lea AO: Ultrastructure of midgut endocrine cells in the adult mosquito, *Aedes aegypti*. *Tissue & Cell* 17 : 709-721, 1985.

Brown RP: Ultrastructure and function of midgut epithelium in the tsetse *Glossina morsitans* Westw (Diptera: Glossinidae). *J Entomol Soc South Afr* 43 : 195-214, 1980.

Chapman RF: Structure of the digestive system. In *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry, and Pharmacology* (eds. G.A. Kerkut and L.I. Gilbert). Pergamon Press, Oxford 4 : 95-107, 1985.

Cho, HJ, Lee HS, Yu CH: Morphology of the midgut epithelial cells in the blowfly larvae, *Lucilia illucristis* Meigen. *Bull Inst Basic Sci Inha Univ* 12 : 95-107, 1991.

Cioffi M: The morphology and fine structure of the larval midgut of a moth (*Manduca sexta*) in relation to active transport. *Tissue & Cell* 11 : 467-479, 1979.

Davidson EW: Ultrastructure of midgut events in the pathogenesis of *Bacillus sphaericus* strain SSSI 1 infections of *Culex pipens quinquefasciatus* larvae. *Can J Microbiol* 25 : 178-184, 1979.

Filshie BK, Poulson DF, Waterhouse DF: Ultrastructure of the copper accumulating region of the *Drosophila* larval midgut. *Tissue & Cell* 3 : 77-102, 1971.

Hecker H: Structure and function of midgut epithelial cells in Culicidae mosquitos (Insecta, Diptera). *Cell Tissue Res* 184 : 321-341, 1977.

Hecker G, Freyvogel TA, Briegel H, Steiger R: Ultrastructural differentiation of the midgut epithelium in female *Aedes aegypti* L. (Insecta, Diptera) imagines. *Acta trop* 28 : 80-104, 1971a.

Hecker G, Freyvogel TA, Briegel H, Steiger R: The ultrastructural of midgut epithelium in *Aedes aegypti* L.

- (Insecta, Diptera) male. Acta trop 28 : 275-290, 1971b.
- Houk EJ: Midgut ultrastructure of *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae) before and after a bloodmeal. Tissue & Cell 9 : 103-188, 1977.
- Houk EJ, Hardy JL: In vivo negative staining of the midgut continuous junction in the mosquito, *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae). Acta trop 36 : 267-275, 1979.
- Priester WD: Ultrastructure of the midgut epithelial cells in the fly *Callophora erythrocephala*. J Ultrastruct Res 36 : 783-805, 1971.
- Rudin W, Hecker H: Morphometric comparison of the midgut epithelial cells in male and female *Aedes aegypti* L. (Insecta, Diptera). Tissue & Cell 8 : 459-470, 1976.
- Schneider M, Rudin W, Hecker H: Absorption and transport of radioactive tracers in the midgut of the malaria mosquito, *Anopheles stephensi*. J Ultrastruct Mol Struct Res 97 : 50-63, 1986.
- Smith DS, Compher K, Janners M, Lipton C, Wittle LW: Cellular organization and ferritin uptake in the midgut epithelium of a moth *Ephesia kuhniella*. J Morph 127 : 41-71, 1969.
- Wigglesworth VB: The Principles of Insect Physiology. 7th Ed. Methuen. London 470-500, 1972.
- Yu CH: Ultrastructure of the midgut epithelial cells in the mosquito larvae, *Culex pipiens pallens*. Korean J Entomol 20 : 247-257, 1990.
- Yu CH: Differentiation of the regenerative cells of the midgut epithelium in the German cockroach *Blattella germanica* L(I). Korean J Entomol 22 : 305-311, 1992.
- Yu CH: Ultrastructure of the midgut epithelial cells in the cockroach. *Peniplaneta japonica*. Korean J Entomol 23 : 73-82, 1993.

<국 문 초 록>

중국얼룩날개모기 (*Anopheles sinensis*; Culicidae; Diptera)를 사육하여 중령 유충의 중장 상피를 구성하는 세포들에 대한 미세구조를 전자현미경으로 관찰하였다. 중장 상피조직은 원주상흡수세포, 재생세포 그리고 분비과립세포 등으로 구성된 단층 점막상피를 이루었다. 원주상흡수세포의 첨단부 원형질막은 미세융모로 변형되어 "brush border"를 형성하였다. 기저원형질막은 심하게 주름이 잡혀 "canaliculi"를 만들며 길게 발달한 사립체와 접해 있었다. 또한 원주상흡수세포는 세포질내에 과립소포체, 사립체 그리고 골지체 등이 고루 발달한 전형적인 물질 흡수세포의 형태이었다. 재생세포는 세포기관이 미분화된 상태이었고, 세포질의 전자밀도가 높아 검게 보였다. 작은 재생세포들은 1개 혹은 2~3개가 집단(nidi)을 이루어 원주상흡수세포의 기저부 사이에 위치하였다. 직경이 약 200~400 nm 크기의 분비과립을 가지는 분비과립세포가 관찰되었는데 이 세포는 기저막상, 원주상세포의 기부 사이에 위치하여 원주형으로 관찰되었다. 기저막 바깥쪽에는 전형적인 골격근으로 분화된 환상근과 종주근 다발이 있었으며, 기저막과 근육층사이 결합조직인 점막하층에는 신경세포와 기관세포들이 관찰되었다.

FIGURE LEGENDS

- Figs. 2, 3.** Apical portion of the columnar absorptive cell in the anterior (Fig. 2) and posterior (Fig. 3) midgut epithelium. Microvilli arranged on the apical face. Lu; lumen, Mv: microvilli. Bar indicates 1 μ m.
- Fig. 4.** Regenerative cell is differentiated and made the columnar absorptive cell. Showing the microvilli(?) appear at the apex of the new cell. Bar indicates 2 μ m.
- Figs. 5, 6.** Configurations of rough endoplasmic reticulum (ER) and mitochondria (Mi) in the columnar absorptive cell. Nu: nucleus. Bar indicates 2 μ m (Fig. 5), 1 μ m (Fig. 6).
- Fig. 7.** Lipid droplets (*) and mitochondria (Mi) in the columnar absorptive cell. Bar indicates 1 μ m.
- Fig. 8.** Various lysosomes (Ly) are scattered in the columnar absorptive cell in the diameter about 0.5~1.5 μ m. Bar indicates 1 μ m.
- Fig. 9.** Basal portion of the columnar absorptive cell in the midgut epithelium. The basal plasma membrane infoldings (BI) are formed in a parallel array with numerous attached mitochondria (Mi), and made basal labyrinth. Bar indicates 1 μ m.
- Fig. 10.** Axon cells (Ax) and tracheoles (Tr) in the subepithelial space (SeS) between the epithelium and muscle bundle (Mu). Bar indicates 1 μ m.
- Fig. 11.** Base side of columnar absorptive cell showing a part of basal lamina (BL), and the subepithelial space is filled with fibrous connective tissue. Showing well developed longitudinal sectioned muscle bundle (Mu) and close sectioned muscle (*). BI: basal infolding, Mi: mitochondria. Bar indicates 1 μ m.
- Fig. 12.** The cone shaped regenerative cell with prominent nucleus and restricted cytoplasm in the basal portion of the epithelium. Bar indicates 1 μ m.
- Fig. 13.** Basal portion of the secretory granular cell in the midgut epithelium. The electron dense secretory granules are mainly formed and stored in the basal region of the cell. BI: basal infolding, Mi: mitochondria, Nu: nucleus. Bar indicates 1 μ m.

