

꼬막 *Tegillarca granosa* 심신낭복합체의 미세해부학적 특징

구가연, 주선미, 이정식

전남대학교 수산생명의학과

Microanatomy of the Heart-kidney Complex of *Tegillarca granosa* (Bivalvia: Arcidae)

Kayeon Ku, Sun Mi Ju and Jung Sick Lee

Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to provide the microanatomical information of the heart-kidney complex of *Tegillarca granosa*. The heart-kidney complex was located in the pericardial cavity between the dorsal visceral mass and posterior adductor muscle. The heart composed of two atrium and one ventricle. The kidney composed of a pair of left and right. The atrium and ventricle of the heart were composed of the epicardium, myocardium and endocardium. The epicardium of simple epithelial layer composed of cuboidal epithelial cells that had a strong basophilic nucleus located in the center. The myocardium composed of muscle fiber bundles. The myocardium in ventricle was denser than in the atrium. The endocardium of simple epithelial layer composed of squamous epithelial cell that had a strong basophilic nucleus was located in the center. The endocardium thickness of the atrium was $6.04 (\pm 2.26) \mu\text{m}$, endocardium thickness of the ventricle was $7.36 (\pm 3.21) \mu\text{m}$, and appeared to be thicker in the ventricle. The kidney composed of numerous renal tubules. The renal tubule of simple epithelial layer composed of columnar epithelial cell with nucleus located in the basal zone and a number of cytoplasmic granules. The developed striated border was the inner epidermis.

Key words: *Tegillarca granosa*, heart-kidney complex

서 론

꼬막 *Tegillarca granosa*은 이매패강 (Bivalvia), 사새목 (Fillibranchia), 돌조개과 (Arcidae) 에 속하는 식용 이매패류로서, 조간대에 수심 10 m 이내의 갯벌에 서식한다. 한국 서해안과 남해안에 가장 많이 분포하고 그 외 일본, 중국, 동남아시아로부터 인도양과 서태평양 등지에도 널리 분포한다 (Kwon *et al.*, 2009).

이매패류의 혈액은 포유류의 헤모글로빈이나 다른 무척추동물들이 가지고 있는 헤모시아닌과 같은 호흡색소를 가지고 있

지 않기 때문에 무색을 띠는 것이 보통이다 (Morse and Zardus, 1991). 하지만 이매패류 가운데 돌조개과인 꼬막에는 적혈구가 존재하며, 헤모글로빈으로 인해 체액이 붉은 색을 띠고 있어 다른 종에 비해 심신낭복합체 (heart-kidney complex) 를 관찰하기에 용이하다.

이매패류는 개방형 순환계로써 순환기능을 담당하는 심장과 배설 및 여과기능을 담당하는 신장은 신위심관으로 연결되어 하나의 복합체로 존재한다 (Grobben, 1888; White, 1942; Odhner, 1912). 심장은 두 개의 심방과 하나의 심실로 구성되어 있고 심방의 표면에는 위심선 (pericardial gland) 이 발달되어 있다. 신장은 좌·우 한 쌍으로 존재하며, 심장과 신장이 하나의 복합체로 존재한다. 이를 심신낭복합체라 하며, 순환과 배설과정 (여과·분비·재흡수) 에 관여한다 (Andrews and Jennings, 1993).

그러나 이매패류의 심신낭복합체 구조에 대한 연구는 국내 뿐만 아니라 국외에서도 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 꼬막 *Tegillarca granosa*의 순환계 및 배설계인 심신낭복합체의 위치, 형태, 해부학 및 조직학적 구조에 대해 기재하고

Received: November 20, 2015; Revised: December 9, 2015;
Accepted: December 30, 2015

Corresponding author : Jung Sick Lee

Tel: +82 (61) 659-7172 e-mail: ljs@jnu.ac.kr
1225-3480/24598

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

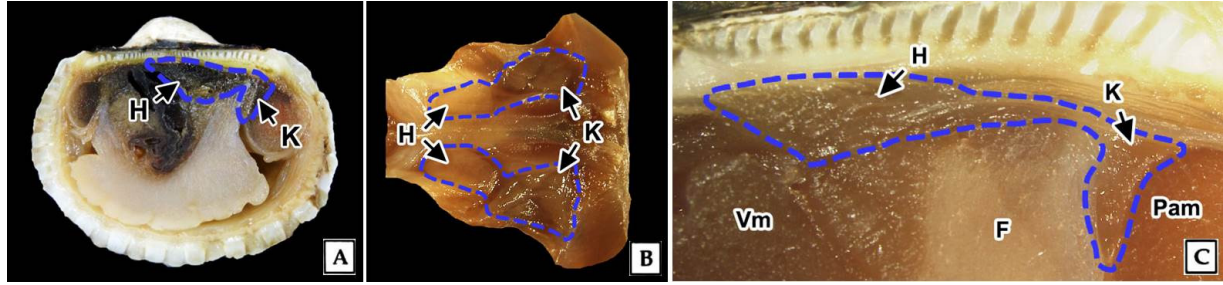


Fig. 1. Heart-kidney complex of *Tegillarca granosa*. **A:** Anatomical region of the heart-kidney complex. **B:** Dorsal view. **C:** Lateral view. F: foot, H: heart, K: kidney, Pam: posterior adductor muscle, Vm: visceral mass.

자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구에 사용된 꼬막 *Tegillarca granosa*은 각장 30.37 (± 2.08) mm (n = 30) 의 성체였다.

2. 방법

심신낭복합체의 위치 및 해부학적 관찰은 해부하여 육안과 해부현미경을 통하여 기재하였으며, 심신낭복합체의 조직학적 관찰은 발과 내장낭 부분을 포함한 조직을 적출하여 고정하였다.

심장과 신장의 형태학적 크기를 측정하기 위하여 10% 중성 포르말린으로 고정된 후 측정하였다. 광학현미경 표본제작은 시료를 채집직후 Bouin 용액에 24시간 동안 고정하여 파라핀절편법으로 5 μm 두께로 연속절편 후 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 과 Masson 삼중염색 및 alcian blue-periodic acid and Schiff's solution (AB-PAS, pH 2.5) 과 aldehyde fuchsin-alcian blue (AF-AB, pH 2.5) 반응을 실시하였다. 염색친화도 판정은 Pantone® Formula Guide (Pantone Inc., U.S.A) 을 기준으로 고유번호를 팔호 안에 표시하였다.

심신낭복합체의 위심선 직경, 심방과 심실 상피층 두께, 신장 세뇨관 상피층 두께 정량화는 현미경 화상분석장치 (IMT, Visus, U.S.A) 를 사용하여 5개체씩 50회 반복하여 분석하였다.

통계처리는 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 ANOVA t-test 를 한 후 다중비교를 최소 유의치 검정 (Least-significant difference test) 으로 유의성 (P < 0.05) 을 검정하였다.

결 과

1. 심신낭복합체의 위치 및 형태

꼬막 내장낭의 횡단면을 관찰한 결과, 심신낭복합체는 발 기저부 위쪽, 내장낭 등쪽 부근과 후폐각근 (posterior adductor muscle) 사이에 위치하고 있었다 (Fig. 1A). 심신낭복합체는

외인대 아래 부위에 얇은 막 형태의 외투막으로 덮여 있었다 (Fig. 1B). 심장은 두 개의 심방과 하나의 심실로 구성되었고, 신장은 좌·우 한 쌍으로 구성되어 있었다.

심장은 내장낭의 상부쪽에서 관찰되었으며 (Fig. 1C), 10% 중성 포르말린으로 고정된 심장의 크기를 측정한 결과, 길이 0.82 (± 0.45) mm, 폭 1.11 (± 0.86) mm 였다. 심장은 위심강 (pericardial cavity) 에 위치하였으며, 얇은 막으로 덮여 있었다. 심장은 등근 삼각형 모양으로 회갈색 (462C) 을 띠고 있었다.

심장은 외투막과 아가미 제거 시 발의 기저부 위쪽과 후폐각근 사이에서 관찰되었으며 (Fig. 1C), 10% 중성 포르말린으로 고정된 신장의 크기를 측정한 결과, 길이 2.51 (± 1.15) mm, 폭 1.23 (± 0.61) mm 였다. 신장은 삼각뿔 모양으로 어두운 노란색 (159C) 또는 투명색을 띠고 있었다.

2. 심장의 조직학적 구조

심신낭복합체의 심장과 신장은 신위심관 (renopericardial gland) 으로 연결되어 하나의 복합체로 존재하고 있었다 (Fig. 2). 심장은 등 쪽에서 관찰하였을 때, 심방이 심실의 바로 아래에 위치하였으며 (Fig. 2), 심실의 크기는 심방보다 컸다 (Fig. 3A).

심방과 심실은 심외막 (epicardium), 심근 (myocardium), 심내막 (endocardium) 으로 구성되어 있었다 (Figs. 5, 6). 심외막을 싸고 있는 위심선은 포도송이 형태의 복포상선으로 위심선의 직경은 8.49 (± 2.14) μm 였다. 위심선은 심방의 심외막에서 더 많이 관찰되었으며 (Figs. 5A, B and D), 근섬유 다발 사이와 기저부 부근에서도 관찰되었다 (Figs. 5B and C).

심방과 심실의 심외막 상피층 두께는 각각 6.29 (± 2.33) μm, 7.04 (± 2.43) μm 였으며, 심내막 상피층 두께는 각각 6.04 (± 2.26) μm, 7.36 (± 3.21) μm 였다. 심실의 심외막과 심내막 상피층의 두께는 심방보다 두꺼웠으나 유의적 차이는 나타나지 않았다 (Fig. 4).

심방과 심실에서 심외막의 상피층은 입방상피세포들로 구성되었으며, 상피세포의 핵은 중앙에 위치하고 H-E 염색 결과 강한 호염기성을 나타냈다 (Figs. 5, 6B and C). 심근은

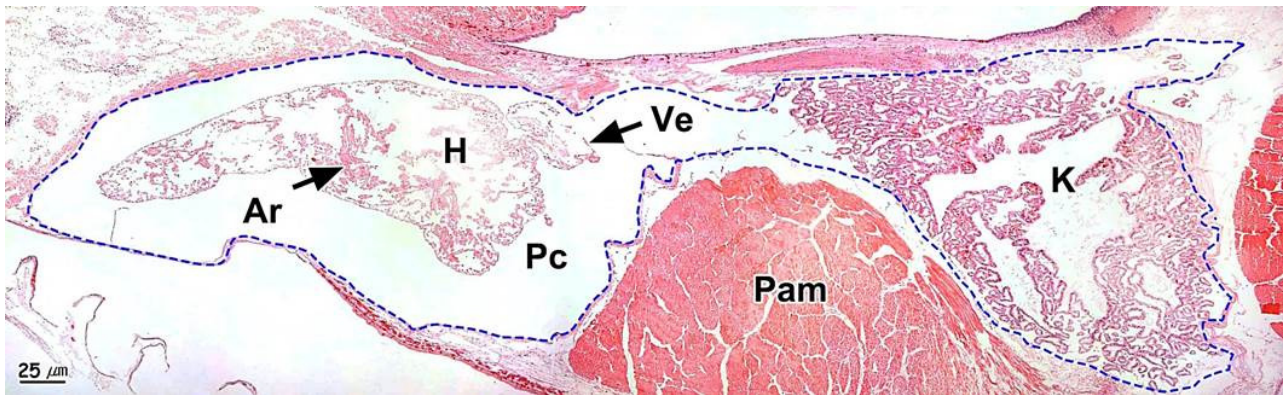


Fig. 2. Light microscopical feature of heart-kidney complex of *Tegillarca granosa*. Ar: atrium, H: heart, K: kidney, Pam: posterior adductor muscle, Pc: pericardial cavity, Ve: ventricle.

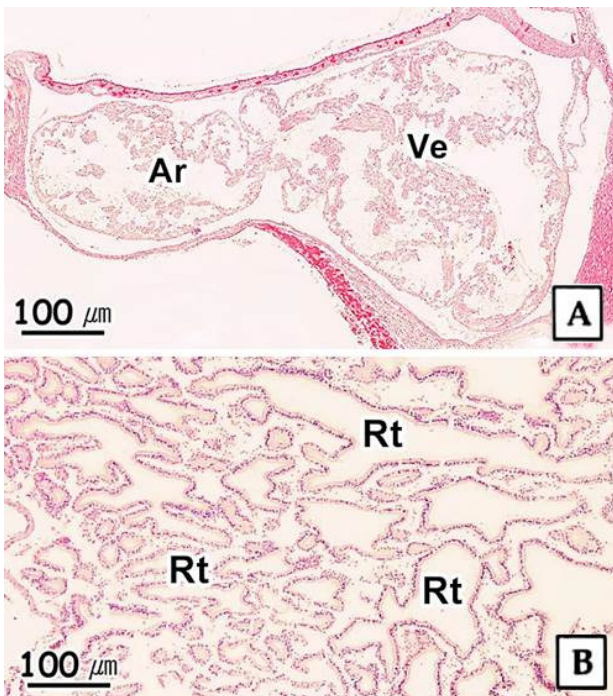


Fig. 3. Light microscopical feature of the heart and kidney of *Tegillarca granosa*. A: Atrium (Ar) and ventricle (Ve) in pericardial cavity. B: Renal tubule (Rt) in kidney.

Masson 삼중 염색 결과, 근섬유 다발은 적색으로 나타났으며, 심방보다 심실에서 더 치밀하게 관찰되었다 (Figs. 5, 6D and E). 심방과 심실에서 심내막의 상피세포는 편평형으로 핵은 중앙에 위치하고 H-E 염색 결과 강한 호염기성을 나타냈다 (Figs. 5, 6B and C).

3. 신장의 조직학적 구조

신장은 다수의 세뇨관으로 구성된 집합적 구조였다 (Fig. 3B). 신장 세뇨관의 상피층은 단층으로 상피층의 두께는

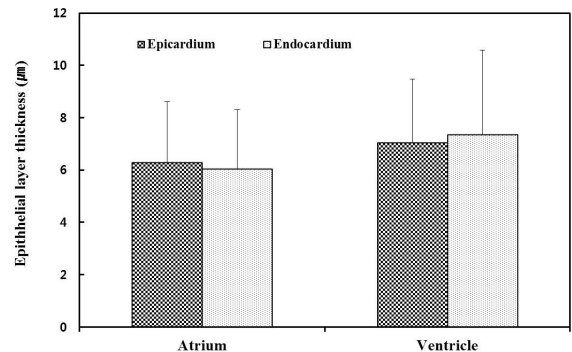


Fig. 4. Epithelial layer thickness of the epicardium and endocardium in the atrium and ventricle of *Tegillarca granosa*.

12.48 (\pm 2.95) μ m 였으며, 신장의 상피세포는 원주형으로 핵은 기저부에 존재하였으며 (Fig. 7A), H-E 염색 결과 강한 호염기성을 나타냈다. 세포질에서는 다수의 과립들이 관찰되었으며, 이들 과립은 H-E 염색 결과 자주색 (227C) 으로 나타났다. 자유면에는 선조연이 발달되어 있었고 (Figs. 7A and B), AB-PAS (pH 2.5) 반응에서는 보라색 (265C) 으로 반응하였으며 (Fig. 7C), AF-AB (pH 2.5) 반응에서는 푸른색 (290U) 으로 반응하였다 (Fig. 7D).

고 찰

이매패류의 심신낭복합체는 여러 학자들에 의해 관찰되어져 왔으며, 이 기관은 이매패류의 등쪽 위심강에 위치한다 (Odhner, 1912; Turchini, 1923; France, 1960; Morse and Zardus, 1991; Kraeuter and Castagna, 2001). 이매패류의 심신낭복합체는 심장과 신장 그리고 이를 둘러싸고 있는 위심막으로 구성된다 (Potts, 1954). *Venus mercenaria* (Kelly and Hayes, 1969), *Panopea abrupta* (Morse and

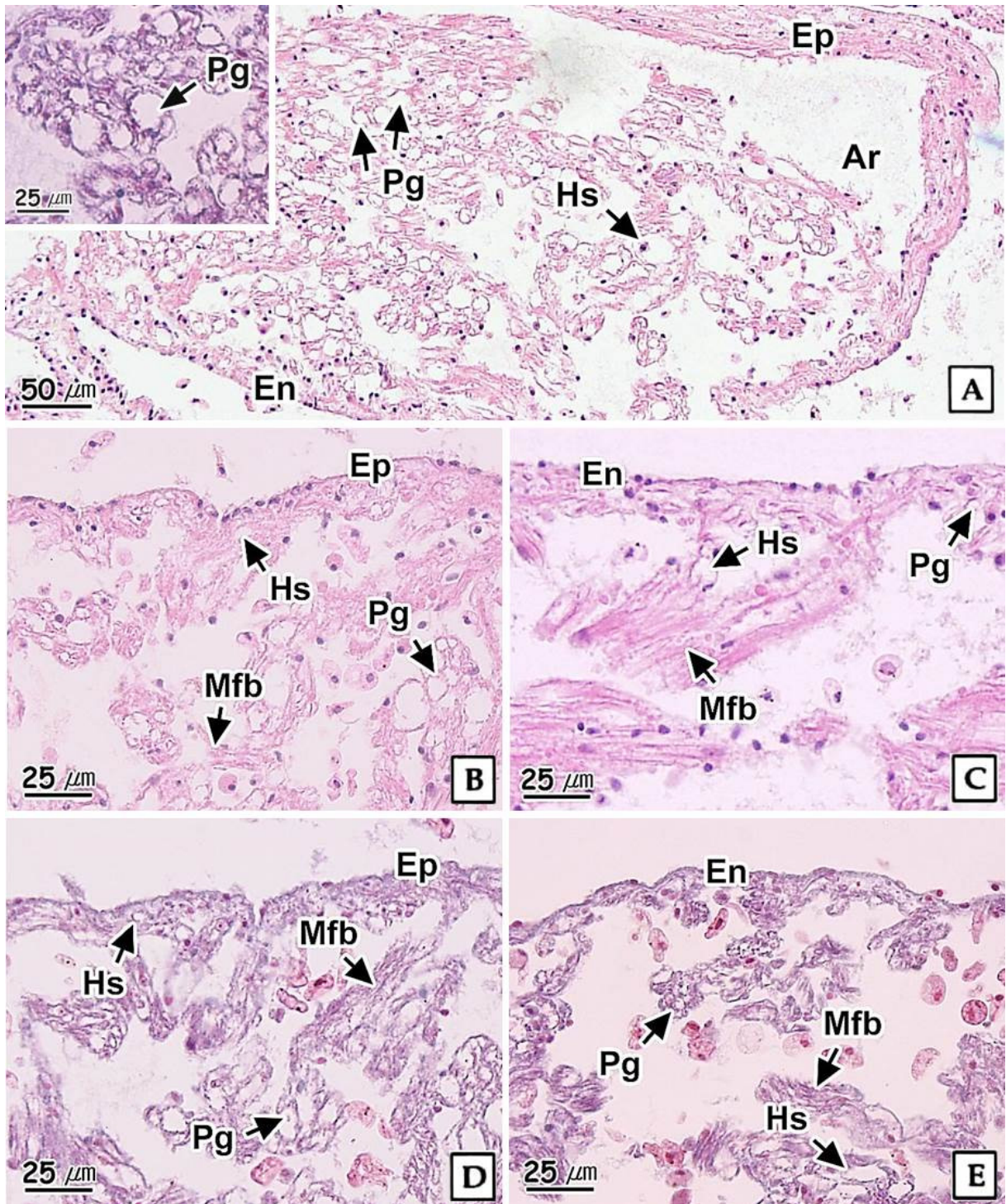


Fig. 5. Light microscopical feature of the atrium of *Tegillarca granosa*. **A:** Longitudinal section of atrium (Ar), showing the well developed pericardial gland (Pg). H-E stain. **B:** Epicardium (Ep) of the atrium. H-E stain. **C:** Endocardium (En) of the atrium. H-E stain. **D:** Epicardium of the atrium. Masson's trichrome stain. **E:** Endocardium of the atrium. Masson's trichrome stain. Hs: hemolymph sinus, Mfb: muscle fiber bundle, My: myocardium.

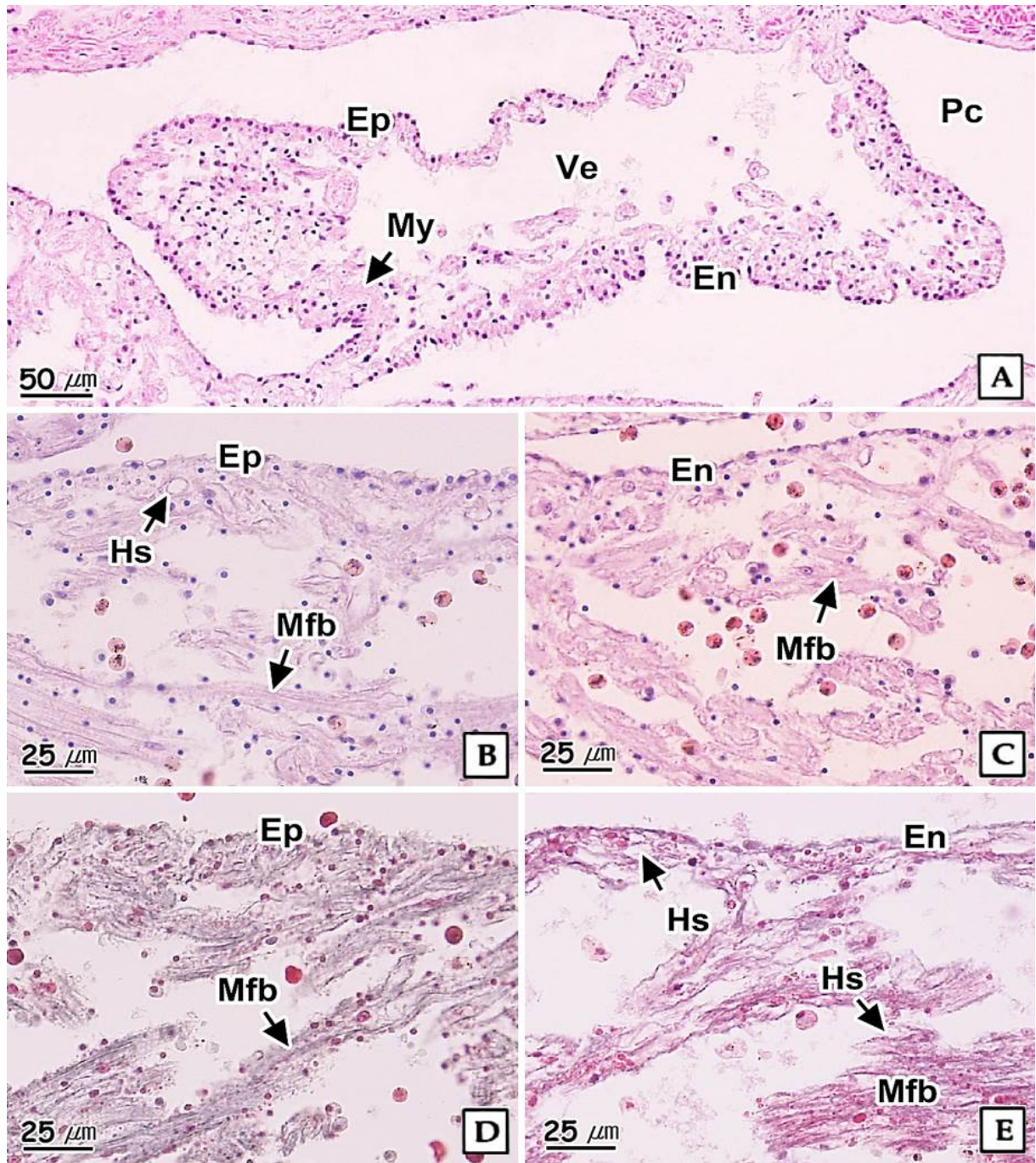


Fig. 6. Light microscopical feature of the ventricle of *Tegillarca granosa*. **A:** Longitudinal section of ventricle (Ve), showing the well developed muscle fiber bundle (Mfb). H-E stain. **B:** Epicardium (Ep) of the ventricle. H-E stain. **C:** Endocardium (En) of the ventricle. H-E stain. **D:** Epicardium of the ventricle. Masson's trichrome stain. **E:** Endocardium of the ventricle. Masson's trichrome stain. Hs: hemolymph sinus, Pc: pericardial cavity.

Meyhöfer, 1990) 와 *Acila castrensis*, *Yoldia thraciaeformis*, *Y. limatula* (Bower and Blackbourn, 2003) 의 경우 심신낭복합체는 외인대 아래와 내장낭의 사이,

각정부의 뒤쪽에 위치하며, 심장은 두 개의 심방과 하나의 심실, 신장은 한 쌍으로 존재한다.

또막 심신낭복합체의 위치, 형태 및 구조를 관찰한 결과, 발

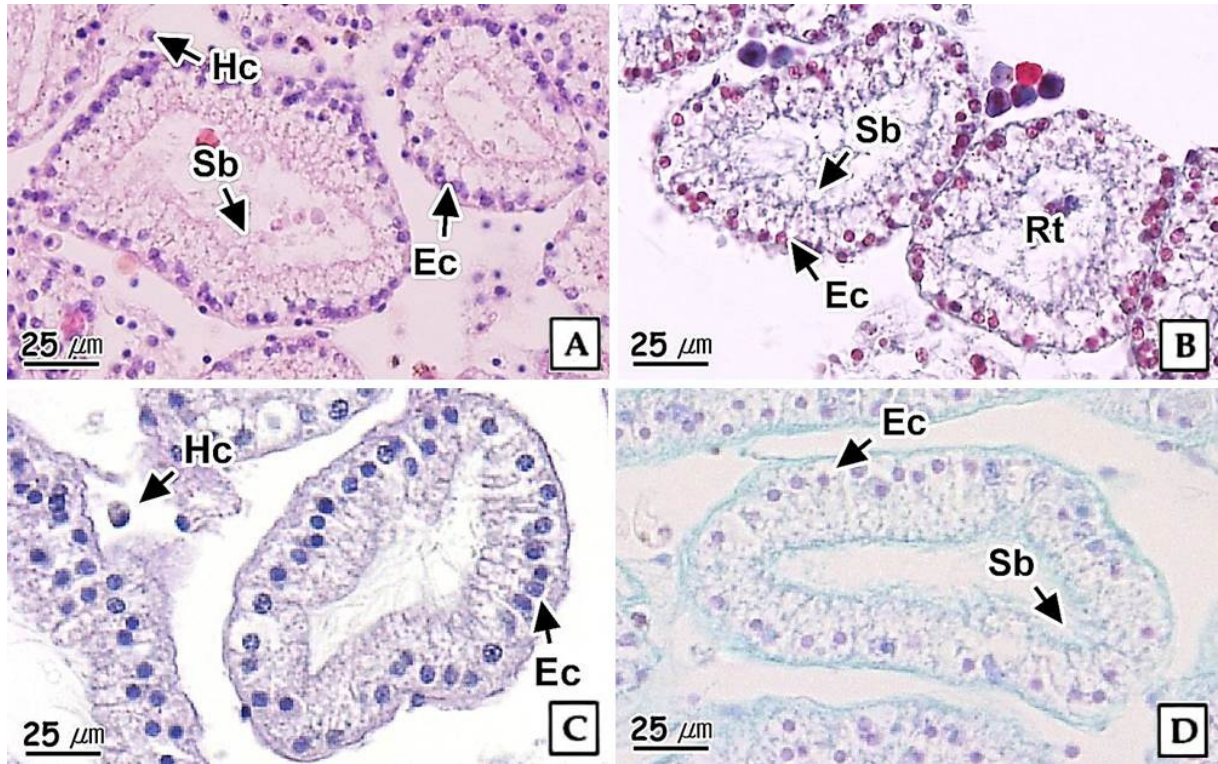


Fig. 7. Light microscopical feature of the kidney of *Tegillarca granosa*. **A:** Showing the striated border (Sb) of renal tubule. H-E stain. **B:** Showing the renal tubule (Rt). Masson's trichrome stain. **C:** Showing the simple columnar epithelial cell (Ec) of renal tubule. AB-PAS (pH 2.5) reaction. **D:** Showing the striated border of alcian blue positive in renal tubule. AF-AB (pH 2.5) reaction. Hc: hemocyte.

기저부 위쪽, 내장낭 등쪽 부근과 후폐각근 사이에 위치하였다. 심신낭복합체는 외인대 아래 부위에 얇은 막 형태의 외투막으로 덮여 있었다. 심장은 2심방 1심실로 존재하였고, 신장은 좌우 한 쌍으로 존재하였으며, 기존의 보고된 이매패류들의 심신낭복합체와 유사한 위치와 형태를 보였다.

진주담치 *Mytilus edulis* (Pirie and George, 1979) 와 *Anodonta calipygos* (Suzuki, 1986) 에서 위심막의 위심선은 대체적으로 심방과 심막의 외벽에 발달되어 있으며, 위심선은 족세포 (podocyte) 와 유사한 형태로 혈림프의 여과에 관여한다.

꼬막의 위심선은 포도송이 형태의 복포상선으로 심방의 심외막 주변부에 발달되어 있었다. 또한 위심선은 근섬유 다발 사이와 기저부 부근에서 관찰되었으며, 진주담치 (Pirie and George, 1979), *A. calipygos* (Suzuki, 1986) 와 유사하였다.

Mercenaria mercenaria (Kelly and Hayes, 1969) 와 *Geukensia demissa* (John et al., 1981), *Venus mercenaria* (Kraeuter and Castagna, 2001) 의 경우, 심방 심외막의 상피층은 단층이며, 상피세포는 원주형이다. 결합조직층은 얇고 근섬유 다발의 발달이 미약하다. 심실 심외막의 상피층은 단층이며, 상피세포는 입방형이다. 심실 심외막의 결합조직층 또한 얇게 구성되어 있으며, 근섬유 다발이 잘 발달

되어 있다. 심방과 심실의 심내막 기저부 부근에는 근섬유의 발달이 매우 미약하다.

본 연구 결과, 심방과 심실 심외막의 상피층은 단층으로서 입방형 상피세포들로 구성되어 있으며, 결합조직층의 근섬유 다발은 심방보다 심실에서 더 치밀하게 구성되는데, 이와 같은 구조적 특징은 심실에서의 수축기능을 향상시키기 위해서라 생각된다. 심방과 심실 심내막의 상피층은 단층으로서 상피세포는 편평형이며, 심방보다 심실에서 더 두껍게 관찰되었다. 심막 상피층 두께는 심방에서보다 심실에서 더 두꺼웠고 근섬유 다발 또한 심실에서 더 치밀하게 구성되었다. 이러한 심방과 심실의 조직학적 특징은 심방은 아가미와 신장으로부터 혈림프를 받아들이고, 심실은 받아들인 혈림프를 내보내는 기능을 하기 때문이라 생각된다.

대부분 이매패류의 위심강은 신위심관에 의해 신장과 연결되며, 신위심관의 상피층에는 많은 세포와 미세융모들이 발달되어 있다 (Potts, 1967). 꼬막의 심신낭복합체 역시 위심강 안에 존재하며, 심장과 신장은 신위심관으로 연결되어 있고 신위심관 상피층 자유면에는 미세융모와 세포들이 발달되어 있다. 이러한 신위심관 상피층의 구조적 특징은 신장에서 재흡수 및 여과기능을 하기 때문이라고 생각된다.

이매패류 신장 세뇨관의 상피세포는 척추동물의 근위세뇨관 흡수세포와 유사한 형태로 입자 및 수용성 노폐물을 제거하는 배설 복합체의 기능을 가진다 (Pirie and George, 1979; Suzuki, 1986). 진주담치 (Pirie and George, 1979) 와 *Mercenaria mercenaria* (Scheairs and Eble, 1995) 에서 신장 세뇨관의 상피세포는 단층원주상피이며, 자유면에 선조연이 발달되어 있다. 기저부에 핵이 위치하고 있으며, 세포질에는 과립이 존재하고 이는 세포 부피의 20%를 차지한다 (Kraeuter and Castagna, 2001).

본 연구에서 꼬막의 신장은 진주담치 (Pirie and George, 1979), *M. mercenaria* (Scheairs and Eble, 1995) 와 유사하게 다수의 세뇨관으로 모인 집합적 구조였다. 세뇨관의 상피층은 단층이며, 상피세포는 원주형으로 자유면에는 선조연이 발달되어 있었다.

꼬막의 심신낭복합체는 다른 이매패류에서와 마찬가지로 순환, 여과, 분비 및 재흡수에 관여할 것으로 예상되지만, 이러한 기능을 확인하기 위해서는 위심선, 심장, 신위심관, 신장의 미세구조학적 연구와 순환생리에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

꼬막 심신낭복합체의 미세해부학적 구조를 해부 및 광학현미경을 이용하여 기재하였다. 심신낭복합체는 발 기저부 위쪽, 내장낭 등쪽 부근과 후폐각근 사이의 위심강 안에 위치하였다. 심장은 하나의 심실과 두 개의 심방으로 구성되었으며, 신장은 좌우 한 쌍으로 구성되어 있었다. 심방과 심실은 심외막, 심근, 심내막으로 구성된다. 심외막은 단층상피층으로서 입방형 상피세포로 구성되며, 이들 상피세포의 핵은 중앙에 위치하고 강한 호염기성을 나타냈다. 심근은 다수의 근섬유 다발로 구성되며, 근섬유 다발은 심방보다 심실에서 더 치밀하게 나타났다. 심내막은 단층상피층으로서 편평상피세포로 구성되며, 핵은 중앙에 위치하고 강한 호염기성을 나타냈다. 심방에서 심내막의 두께는 $6.04 (\pm 2.26) \mu\text{m}$ 였고, 심실에서 심내막의 상피층 두께는 $7.36 (\pm 3.21) \mu\text{m}$ 로 심방에서보다 심실에서 더 두껍게 나타났다. 신장은 다수의 세뇨관으로 모인 집합적 구조였으며, 신장의 세뇨관은 단층상피층으로서 원주형 상피세포로 구성되었다. 핵은 기저부에 존재하였으며, 세포질에는 다수의 과립들이 관찰되었고 자유면에는 선조연이 발달되어 있었다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 전남대학교 연구년 교수연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Andrews, E.B. and Jennings, K.H. (1993) The anatomical and ultrastructural basis of primary urine formation in bivalve molluscs. *Journal of Molluscan Studies*, **59**: 223-257.
- Bower, S.M. and Blackburn, J. (2003) Geoduck clam (*Panopea abrupta*): anatomy, histology, development, pathology, parasites and symbionts. Fisheries and Oceans, Canada Ottawa, Canada. <http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/science/species-especies/shellfish-coquillages/geopath/index-eng.htm>.
- France, A. (1960) Classe des bivalves. *In*: Traité de zoologie. (ed. by Grassé, P.P.). pp. 1845-2164. Masson et Cie., Paris.
- Grobben, C. (1888) Die pericardialdrüse der lamellibranchiaten. *Arbeiten aus dem Zoologischen Institut der Universität Wien*, **7**: 355-444.
- John, A.W., Robert, A.K., Michael, J.G. and Sidney, K.P. (1981) Ultrastructure of the heart of the marine mussel, *Geukensia demissa*. *Journal of Morphology*, **170**: 301-319.
- John, S. and Cannery, R. (1945) Phylum Mollusca. *In*: Invertebrates. (ed. by Richard, C.B. and Gary, J.B.). pp. 744-747. Sinauer associates Inc., Boston.
- Kellay, R.E. and Hayes, R.L. (1969) The ultrastructure of smooth cardiac muscle in the clam, *Venus mercenaria*. *Journal of Morphology*, **127**: 163-176.
- Kwon, O.K., Min, D.K., Lee, J.R., Je, J.G. and Choe, B.L. (2001) Korean mollusks with color illustration. pp. 1-332. Hanguel, Seoul.
- Kraeuter, J.M. and Castagna, M. (2001) Biology of the hard clam. *In*: Anatomy and Histology of *Mercenaria mercenaria*. (ed. by Eble, A.F.). pp. 175-199. Elsevier, New York.
- Morse, M.P. and Meyhöfer, E. (1990) Ultrastructural studies on the heart-kidney complex of three species of protobranch bivalve molluscs. *In*: The Bivalvia - Proceedings of a Memorial Symposium in Honor of Sir Charles Maurice Young, Edinburgh, 1986. (ed. by Morton, B.). pp. 223-235. Hong Kong University Press, Hong Kong.
- Morse, M.P. and Zardus, J.D. (1991) Bivalvia. *In*: Microscopic Anatomy of Invertebrates. Volume 6A. Mollusca II. (ed. by Harrison, F.W. and John, O.C.). pp. 54-83. Wiley-Liss, Inc., New York.
- Odhner, N.H. (1912) Morphologische und phylogenetische untersuchungen über die Nephridien der lamellibranchien. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie*, **100**: 287-391.
- Pirie, B.J.S. and George, S.G. (1979) Ultrastructure of the heart and excretory system of *Mytilus edulis* (L.). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **59**: 819-829.
- Potts, W.T.W. (1954) The inorganic composition of the blood of *Mytilus edulis* and *Anodonta calipygos*. *Journal of Experimental Biology*, **31**: 376-385.

Scheairs, D. and Eble, A.F. (1995) Cytology and cytochemistry of the kidney of the hard clam, *Mercenaria mercenaria*. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, **40**: 38.

Suzuki, T. (1986) Ultrastructural and biochemical study on the excretory system of freshwater bivalve, *Anodonta(S.) calipygos*. *Bulletin of National Research Institute of Aquaculture*, **10**: 33-52.

Turchini, J. (1923) Contribution à l'étude de l'histologie comparée de la cellule rénale. L'excrétion urinaire chez les mollusques. *Archives de Morphologie Générale et Expérimentale*, **18**: 8-235.

White, K.M. (1942) The pericardial cavity and pericardial gland of the Lamellibranchia. *Journal of Molluscan Studies*, **25**: 37-88.