

Original Article

Comparative anatomical characteristics of cardiac valves in animals

Chang-Hoon Nam¹, Hak Young Kim^{1*}, Chunmei Lin², Jung-Min Yon^{3*}

¹Shinheung High School, 229 Yulbong-ro, Sangdang-ku, Cheongju 360-817, Korea

²College of Veterinary Medicine and Research Institute of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

³Department of Biomedical Laboratory Science, College of Health of Welfare, Kyungwoon University, Gumi 730-739, Korea

Although various animals have been used as models of cardiac valvular diseases in humans, the structural characteristics of cardiac valves in animals remain unclear. In this study, we investigated cardiac valves in representative animal models for the purpose of comparative anatomy. Adult hearts from three dogs, four goats, six rabbits, and six fowls were fixed with 10% neutral-buffered formalin and analyzed gross-anatomically. Cardiac appearance was spherical or oval in dogs, goats, and rabbits, whereas it had a long conical shape in fowls. Left atrioventricular (AV) valve was composed of membranous septal and parietal cusps connected to two papillary muscles in all animals. The right AV valve was composed of membranous septal, parietal, and angular cusps with three papillary muscles in dogs and goats, membranous septal and parietal cusps attached to four papillary muscles in rabbits, and a single muscular plate without any papillary muscles and chorda tendinae in fowls. Aortic valves with thin membranous right, left, and septal semilunar cusps in dogs, goats, and rabbits had a thick membrane with a bended free border in fowls. Pulmonary valve (PV) with membranous right, left, and intermediate semilunar cusps made a large central hole by being closely attached to the surrounding wall in dogs, goats, and rabbits, whereas it protruded into half of the lumen as a thick membrane in fowls. The membranous cusp of the PV was composed of several layers in dogs and goats but was a single layer in rabbits and fowls.

These findings indicate that even if animals have two completely separated atria and ventricles each, cardiac valves have species-specific morphological characteristics, especially between mammals and fowls.

Key words: cardiac valve, dog, goat, rabbit, fowls

Introduction

척추동물의 심장은 심방(atrium)과 심실(ventricle)로 구성되어 있으며, 어류에서는 1심방 1심실인데, 정맥굴(sinus venosus)이 심방에 연결되어 있고 동맥원뿔(conus arteriosus)이 심실과 등쪽대동맥을 연결하고 있다. 혈액은 정맥굴, 심방, 심실 및 동맥원뿔 순으로 흐른다. 양서류 심장은 2심방 1심실로 되어 있고 폐정맥은 원심방으로 들어가서 산소가 풍부한 혈액을 운반하며 정맥굴은 오른심방으로 들어가서 산소의 농도가 낮은 혈액을 운반한다. 악어를 제외한 파충류는 분리된 2심방과 불완전하게 분리된 2심실로 되어 있고 정맥굴이 전신의 혈액을 받아 오른심방으로 보낸다. 원 및 오른심실은 불완전한 심실사이막(incomplete interventricular septum)에 의해 양쪽 심실의 혈액이 섞이게 된다. 하지만 조류와 포유류의 심장은 완전히 분리된 2심방 2심실과 함께 혈액의 역류를 막는 심장판막(cardiac valves)이 잘 발달해 있다. 또한, 조류와 포유류의 심장은 정맥혈과 동맥혈이 섞이는 하등 척추동물보다 혈액에 더 많은 산소를 함유함으로써 각 조직은 산소를 더 많이 받게 되고 대사속도가 높게 유지될 수 있기에 추운 곳에서도 높은 체온을 일정하게 유지할 수 있다[1].

사람의 심장판막은 혈액의 역류를 막기 위한 구조로서 원 및 오른방실판막(left&right atrioventricular valves)과 함께 대동맥판막(aortic valve), 폐동맥판막(pulmonary valve)으로 구성되어 있다. 원방실판막은 이첨판(bicuspid valve) 또는 승모판(mitral valve) 구조로서 심장벽쪽에 벽쪽첨판(parietal cusp)과 심장사이막쪽의 사이막첨판(septal cusp)으로 구성되어 있다. 각 첨판은 심실벽에서 2개의 꼭지근(papillary muscle)에 연결된 힘줄끈(chorda tendinae)에 의해 고정되어 있다. 오른방실판막은 삼첨판(tricuspid valve)으로서 벽쪽첨판, 사이막첨판, 각첨판(angular cusp)으로 구성되어 있으며 원방실판막과 달리 3개의 꼭지근과 각각에 연결

*Corresponding author: Hak Young Kim,

Shinheung High School, Cheongju 360-817, Korea, Tel: +82-43-211-8802, Fax: +82-43-211-8820, E-mail: khupuma@hanmail.net

Jung-Min Yon, Department of Biomedical Laboratory Science, College of Health of Welfare, Kyungwoon University, Gumi 730-739, Korea
Tel: +82-43-261-3319, E-mail: yjm0000@hanmail.net

된 힘줄끈에 의해 고정되어 있다. 대동맥판막과 폐동맥판막은 모두 3개의 반달첨판(semilunar cusp)으로 되어 있으며 왼 및 오른반달첨판(left&right semilunar cusps)과 함께 대동맥판막에서는 사이막반달첨판(septal semilunar cusp)이, 폐동맥판막에서는 중간반달첨판(intermediate semilunar cusp)이 존재한다[2].

동물에서 다양한 선천적 및 후천적 원인에 의해 심장판막의 이상이 나타나는 데, 대표적으로 판막의 협착증(stenosis)과 폐쇄부전증(regurgitation)의 두 가지로 분류될 수 있다. 사람의 심장판막질환은 주로 류마티스성 심내막염, 매독성 심내막염, 세균성 심내막염, 판막염의 석회화 등에 의해 발생하게 된다. 현재까지 심장판막질환을 연구하고 치료하기 위하여 개, 양, 토끼, 마우스 등 다양한 동물모델들이 이용되어 왔지만[3-7], 각 동물모델들의 심장판막에 대한 구조적 특성과 비교자료에 대해서는 거의 알려져 있지 않다.

본 연구는 지금까지 심장판막 모델로 주로 이용되는 개와 새김질동물인 산양, 토끼 및 닭의 심장판막에 대하여 비교해부학적으로 차이를 알아보려고 수행되었다.

Materials and Methods

실험에 사용된 개는 비글종(beagle)으로서 10~15 kg의 성숙한 수컷 3마리와 성숙한 토끼(New Zealand White; 3~4 kg) 암수 6마리를 (주)오리엔트바이오(성남, 한국)에서 구입하였다. 새김질동물로서 성숙한 40~50 kg의 한국재래산양(Korean native goat; *Capra hircus*) 암수 4마리와 조류로서 성숙한 닭(white leghorn; 1.5~2 kg) 암수 6마리를 북이농

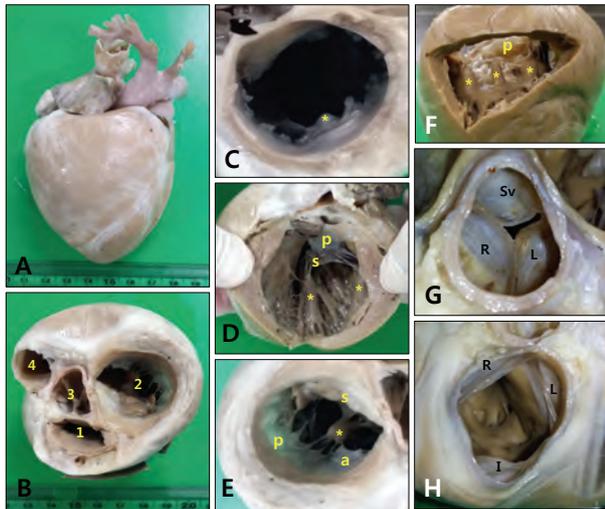


Fig. 1. Photograph of cardiac valves fixed by 10% neutral buffered formalin in beagle dogs. [A] Whole heart with both atria. [B] Orifices of left (1) and right (2) atrioventricular, aortic (3), and pulmonary (4) valves without atria. [C] Left ventricular valve. [D] Interior of left ventricle, lateral aspect. [E] Right ventricular valve. [F] Interior of right ventricle, lateral aspect. [G] Aortic valve with left (L), right (R), and septal (Sv) semilunar cusps. [H] Pulmonary valve with left (L), right (R), and intermediate (I) semilunar cusps. *: papillary muscle, p: parietal cusp, s: septal cusp, and a: angular cusp.

장(청주, 한국)으로부터 구입하여 이용하였다.

각 동물은 졸레틸(Virbac Korea Co. Ltd., 서울, 한국)로 마취한 후 심장을 적출하였다. 실험동물 중 일부는 중성포르말린(neutral buffered formalin)으로 고정하여 심장구조를 비교 관찰하였다. 본 연구의 동물실험계획서는 충북대학교 동물실험윤리위원회의 승인을 받았고, 모든 동물실험은 충북대학교 동물실험규정에 따라 수행하였다(CBNUA-587-13-01; CBNUA-589-13-01).

Results and Discussion

심장의 크기 및 형태

본 연구결과, 개의 심장은 끝이 둥글고 구형에 가까웠으며, 심방과 심실을 중심으로 대동맥활(aortic arch)이 시작되는 심장바닥(base)으로부터 심장끝(apex)까지 가로, 세로, 높이(폭)에서 약 $8.0 \times 8.5 \times 7.5 \text{ cm}^3$ 의 크기를 가지고 있었다(Fig. 1A). 심방과 심실 사이에는 소량의 지방층이 보였고 심방이 제거된 후 심실 입구는 큰 원형으로 내부판막이 쉽게 관찰되었다(Fig. 1B). 산양의 심장은 심장끝이 뾰족한 타원형이었으며 약 $6.8 \times 9.5 \times 6.5 \text{ cm}^3$ 의 크기를 가지고 있었고 심방과 심실 사이에 다량의 지방층이 관찰되었다(Figs. 2A&2B). 토끼의 심장은 타원형으로 약 $3.1 \times 4.4 \times 2.8 \text{ cm}^3$ 의 크기를 가지고 있었다(Fig. 3A). 심방과 심실사이에는 지방이 채워져 있었고, 오른쪽 심실벽이 왼쪽에 비해 매우 얇아 왼쪽보다 두 배 이상의 내강을 가졌다(Figs. 3B&3D). 닭의 심장은 심장끝이 뾰족하고 긴 원뿔 모양으로 심장바닥 부위의 높이는 약 3.5 cm이고 심방바닥으로부터 심장끝까지 길이는 약 5.2 cm였으며 심방과 심실사이에는 황색의 지방이 다량 관

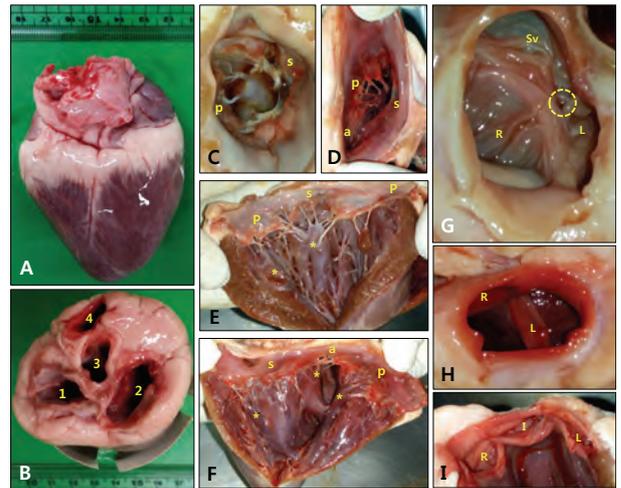


Fig. 2. Photograph of cardiac valves in Korean native goats. [A] Whole heart with both atria. [B] Orifices of left (1) and right (2) atrioventricular, aortic (3), and pulmonary (4) valves without atria. [C] Left ventricular valve. [D] Right ventricular valve. [E] Interior of left ventricle, lateral aspect. [F] Interior of right ventricle, lateral aspect. [G] Aortic valve with left (L), right (R), and septal (Sv) semilunar cusps, dotted circle: central slit. [H&I] Pulmonary valves with left (L), right (R), and intermediate (I) semilunar cusps. *: papillary muscle, p: parietal cusp, s: septal cusp, and a: angular cusp.

찰되었다(Fig. 4A). 오른심실에는 두꺼운 근육판(muscular plate)이 심장벽쪽에 연결되어 입구를 막고 있었다(Fig. 4B).

사람[2]을 포함한 포유류의 심장은 구형 또는 타원형에 가까웠으나 닭의 심장은 심장끝이 길게 뻗도록 하여 삼각형 모양으로 관찰되었다. 날지 못하는 조류로서 타조의 심장은 원뿔 모양으로 닭보다는 산양의 심장과 유사한 외형으로 알려졌다[8]. 또한, 산양의 심방과 심실사이에는 많은 지방이 채워져 있는데 이것은 소, 양과 같은 새김질 동물에서도 유사하게 보고되어 새김질동물의 특징으로 여겨진다[9]. 타조의 오른심실 입구에도 삼각형 모양의 근육판과 함께 심장바깥에 두꺼운 지방층이 보고되었다[8].

원방실판막의 구조적 특성

원방실판막은 폐정맥으로부터 원심방을 통하여 원심실로 이행된 산소가 풍부한 혈액이 다시 원심방으로 역류가 되는 것을 막는 역할을 한다. 원방실판막의 이상시 승모판막 협착증, 승모판막 폐쇄부전증, 승모판막 심내막염 등이 나타나는 것으로 알려졌다[3].

개의 원방실판막은 심장벽쪽모서리에 붙어 있는 벽쪽첨판과 심장사이막쪽에 부착된 사이막첨판으로 구성되어 있었다. 첨판은 얇은 섬유성 막으로서 여러 개의 힘줄끈이 첨판 끝부분을 2개의 꼭지근에 낙하산모양으로 연결되어 있었다. 꼭지근은 원통형이었으며 심장내벽의 바닥까지 뻗어 있으며 많은 근육의 잔가지가 심장벽에 뻗어 있었고 심장 벽쪽과 사이막쪽에 각각 위치하여 그 크기는 비슷했다. 심장내벽은 꼭지근과 많은 근육기둥으로 인해 전반적으로 울퉁불퉁한 표면을 가지고 있었다(Figs. 1C&1D). 산양의 원방실판막은 벽쪽첨판과 사이막첨판으로 구성되어 있었고, 첨판은 얇은 섬유성 막으로서 지방성분이 많아 다소 밝게 관찰되었으며 2개의 꼭지근

에 연결된 다수의 힘줄끈에 의해 이어져 있었다. 꼭지근은 첨판 가까이 위쪽에 위치하고 있으며, 사이막쪽 꼭지근은 원통형으로 두갈래로 나뉘어져 있고 심장벽쪽에 위치한 꼭지근보다 크게 관찰되었다. 심장내벽은 꼭지근과 많은 근육기둥으로 인해 전반적으로 울퉁불퉁한 표면을 가지고 있었다(Figs. 2C&2E). 토끼의 원방실판막은 벽쪽첨판과 사이막첨판으로 구성되어 있었고, 첨판은 얇은 섬유성 막으로서 심장벽쪽과 사이막쪽에 각각 하나의 커다란 꼭지근에 다수의 힘줄끈이 이어져 있었다. 각 꼭지근은 첨판 가까이 위쪽에 위치하고 있으며, 심장벽쪽의 꼭지근은 심장끝에서 시작되어 첨판부위에서 두갈래로 나뉘어져 양쪽 첨판에 힘줄끈을 내어 연결되었다. 심장내벽은 꼭지근과 근육기둥으로 인해 전반적으로 울퉁불퉁한 표면을 가지고 있었다(Fig. 3C). 닭의 원방실판막은 벽쪽첨판과 사이막첨판으로 구성되어 있었고, 첨판가이에서 사이막쪽과 심장벽쪽에 위치한 유사한 크기의 꼭지근으로부터 다수의 힘줄끈이 나와 각 첨판을 연결하고 있었다. 첨판은 섬유성 막으로 두께가 얇았으며 심장내벽은 꼭지근과 근육기둥이 전체적으로 관찰되어 표면이 울퉁불퉁하였다(Fig. 4C).

따라서, 원방실판막은 심장벽에 위치하여 판막을 지탱하는 꼭지근과 힘줄끈 등 일부 구조물에서 다소 차이가 관찰되었지만, 닭을 포함하여 조사된 모든 포유류에서 전반적으로 유사한 구조로 관찰되었다. 사람과 함께 타조에서도 원방실판막은 막성의 2개의 첨판으로 보고되었다[2, 10].

오른방실판막의 구조적 특성

오른방실판막은 세포와 조직에 산소와 영양분을 공급한 혈액이 전신을 순환하여 오른심방으로 들어와 오른심실로 흐르는 산소보다 이산화탄소가 많은 정맥혈이 다시 오른심방으로 역류되지 않도록 한다. 오른방실판막의 이상시 삼첨판막 협착증, 삼첨판막 폐쇄부전증, 삼첨판막 심내막염 등이 발생한다[3].

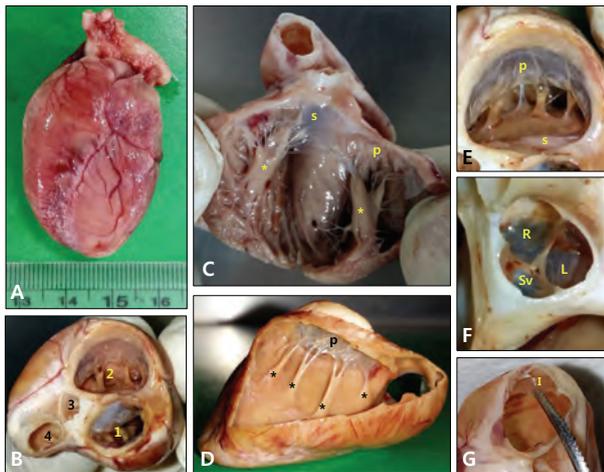


Fig. 3. Photograph of cardiac valves fixed by 10% neutral buffered formalin in rabbits. [A] Whole heart with both atria. [B] Orifices of left (1) and right (2) atrioventricular, aortic (3), and pulmonary (4) valves without atria. [C] Interior of left ventricle, lateral aspect. [D] Interior of right ventricle, lateral aspect. [E] Right atrioventricular valve. [F] Aortic valve with left (L), right (R), and septal (Sv) semilunar cusps. [G] Pulmonary valve with intermediate (I) semilunar cusp. *: papillary muscle, p: parietal cusp, and s: septal cusp.

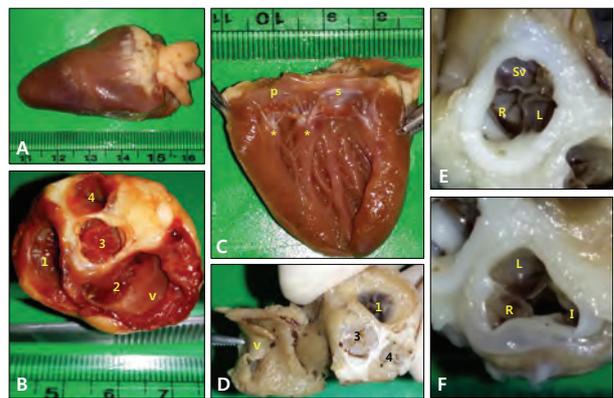


Fig. 4. Photograph of cardiac valves in fowls. [A] Whole heart with both atria. [B] Orifices of left (1) and right (2) atrioventricular, aortic (3), and pulmonary (4) valves without atria. [C] Interior of left ventricle, lateral aspect. [D] Interior of right ventricle with muscular plate (v), lateral aspect. [E] Aortic valve with left (L), right (R), and septal (Sv) semilunar cusps. [F] Pulmonary valve with larger left (L) and right (R) semilunar cusps than intermediate (I) semilunar cusp. *: papillary muscle, p: parietal cusp, and s: septal cusp. D-F: hearts fixed by 10% neutral buffered formalin.

개에서 오른방실판막은 얇은 섬유성 막으로 된 3개의 침판으로 되어 있었다. 심장벽쪽모서리에 붙어 있는 벽쪽침판은 사이막침판과 길이와 넓이가 거의 유사했고 사이막침판 양쪽 끝에는 작은 크기의 각침판이 관찰되었다(Fig. 1E). 측면에서 볼 때 여러 개의 힘줄끈이 각 침판 끝부분을 3개의 꼭지근에 연결되어 심장벽에 고정되어 있었다. 꼭지근은 심장내벽의 중간부위에서 위로 뻗어 있었고 3개의 꼭지근 크기는 서로 유사했다. 심장내벽은 꼭지근과 많은 근육기둥으로 인해 전반적으로 울퉁불퉁한 표면을 가지고 있었다(Fig. 1F). 산양의 오른방실판막은 심장벽쪽에 위치하여 두갈래로 갈라진 가장 큰 규모의 꼭지근으로부터 이어져서 다수의 힘줄끈에 연결된 벽쪽침판, 심장사이막쪽에 위치한 중간크기의 꼭지근과 함께 주변의 작은 근육기둥으로부터 이어져서 힘줄끈에 연결된 사이막침판, 폐동맥입구 근처에 위치한 작은 크기의 꼭지근에 연결된 각침판으로 구성되었다. 침판은 얇은 섬유성 막으로 관찰되었고 심장내벽의 표면은 침판과 꼭지근이 위치한 위쪽에 비해 중간 아래쪽은 고르고 단조로웠다(Figs. 2D&2F). 토끼의 오른방실판막은 섬유성 막으로서 심장사이막쪽에 부착된 4개의 원통형 꼭지근이 힘줄끈을 내어 침판과 연결되었고 사이막침판과 벽쪽침판 만이 관찰되었다. 침판은 벽쪽침판이 사이막침판보다 크게 관찰되었고 단조로운 자유모서리를 가졌다. 심장내벽은 표면이 매끈하고 단조로웠다(Figs. 3D&3E). 닭의 오른방실판막은 섬유성 막이 아닌 두껍고 불규칙한 사각형모양의 근육판으로서 심방과 심실경계부에서 시작되어 심실 아래쪽 1/3부위까지 뻗어 있었고 전체적으로 하나의 판 구조로 관찰되었다. 심실내벽에는 판막을 지탱하는 꼭지근과 힘줄끈이 없었고 전반적으로 고르고 편평한 표면이 관찰되었다(Fig. 4D).

개와 산양의 오른방실판막은 3개의 침판으로 사람의 구조 [2]와 유사하였으나, 토끼에서는 각침판이 없었고 4개의 꼭지근이 관찰되어 차이를 보였다. 또한, 닭에서는 막성 판막과는 다른 두꺼운 사각형의 근육판이 꼭지근과 힘줄끈이 없이 관찰되어 조류의 특징적인 구조를 나타내었다. 한편, 타조에서는 삼각형의 근육판이 두꺼운 근육다발(muscular bundle)에 연결되어 심장벽에 고정되었다[8].

대동맥판막의 구조적 특성

대동맥판막은 원심실과 대동맥 사이에 위치하며, 강한 심박동으로 인하여 원심실을 빠져나간 산소가 풍부한 대동맥의 혈액이 다시 원심실로 역류되는 것을 막아주는 역할을 한다. 대동맥판막 이상시 대동맥판막의 협착증 또는 폐쇄부전증이 발생한다[3].

개에서 대동맥판막은 얇은 섬유성 막으로서 심장사이막쪽에 사이막반달침판, 원방실판막쪽에 위치한 원반달침판, 오른방실판막쪽에 위치한 오른반달침판으로 구성되었는데, 각각 침판 자유모서리가 대동맥안을 꽉 채워서 중앙에 작은 틈만이 관찰되었다. 특히 3개의 반달침판 중 오른반달침판이 비교적 크게 관찰되었다(Fig. 1G). 포르말린에 고정되지 않은 산양의 대동맥판막은 주름진 형태로 관찰되었고 각 반달침판이 대동맥안을 막고 있었으며 개에서처럼 3개의 반달침판으로 구성되었다. 각 반달침판의 경계면은 다소 두껍고 얼은 적색을 띠었지만, 대동맥벽 부착면은 막성으로 얇았으며 침판자유모서리 경계면 중앙에는 작은 틈이 관찰되었다(Fig. 2G). 토끼의 대동맥판막에서 반달침판을 고정하고 부착하는

틈은 단단한 결합조직으로 되어 있고 3개의 반달침판으로 구성되었다. 각 반달침판은 투명한 섬유성 막으로서 두께는 얇았고 서로 밀착되어 대동맥안을 막고 있었으며 만나는 자유모서리 중앙에는 작은 틈이 관찰되었다(Fig. 3F). 닭의 대동맥판막은 반달침판을 고정하고 부착하는 틈이 단단한 결합조직으로 되어 있고 3개의 반달침판으로 구성되었다. 침판은 다소 두꺼운 섬유성 막으로 되어 있고 침판자유모서리는 굴곡형태로 대동맥안을 꽉 채우고 있었으며 중앙에 작은 틈이 있었다(Fig. 4E).

대동맥판막은 사람[2]을 포함한 모든 동물에서 기본적으로 유사한 3개의 반달침판 구조로 구성되었지만, 닭에서는 타조와 유사하게 침판이 두껍고 단단한 구조로 관찰되었다[10].

폐동맥판막의 구조적 특성

폐동맥판막은 오른심실과 폐동맥 사이에 위치하여 일종의 여단이 문의 역할을 하며, 폐동맥으로 간 정맥혈이 역류되는 것을 막는 역할을 한다. 폐동맥판막 이상시 폐동맥판막의 협착증 또는 폐쇄부전증이 발생한다[3].

개에서 폐동맥판막은 여러 겹의 얇은 섬유성 막으로서 원방실판막쪽에 위치한 원반달침판, 오른방실판막쪽에 위치한 오른반달침판과 함께 심장벽쪽으로 중간반달침판이 관찰되었다. 각 침판은 폐동맥벽에 붙어 있어 각 반월침판의 자유모서리 사이의 간격이 넓었다(Fig. 1H). 살아있는 상태의 산양 폐동맥판막은 폐동맥벽쪽에 가깝게 위치한 3개의 반월침판으로 구성되었고 반월침판들의 자유모서리 사이의 간격이 넓어 중앙에 큰 공간이 형성되었으며 절개했을 때 여러 겹의 섬유성 막으로 관찰되었다(Figs. 2H&2I). 토끼의 폐동맥판막은 단층의 얇고 투명한 섬유성 막으로 된 3개의 반월침판으로서 폐동맥벽에 밀착되어 관찰되었다(Fig. 3G). 닭의 폐동맥판막은 원 및 오른반월침판과 함께 중간반월침판의 3개로 구성되었고 왼쪽 및 오른쪽의 반월침판 자유모서리가 폐동맥판막 내강의 절반을 채우고 있었다. 또한, 각 반월침판은 단층의 두꺼운 섬유성 막이었고 특히, 중간반월침판은 다른 두개의 반월침판에 비해 크기가 매우 작았다. 폐동맥입구가 삼각형 모양으로 관찰되었다(Fig. 4F).

폐동맥판막은 사람[2]처럼 모든 동물에서 기본적으로 3개의 반달침판 구조로서, 반달침판을 구성하는 막이 개와 산양에서는 여러 겹이었지만, 토끼에서는 단층의 얇은 막으로, 닭에서는 두꺼운 단층 막으로 내강에 돌출되어 관찰되었다. 또한, 닭에서는 폐동맥입구 모양이 삼각형으로서 구형을 띠는 사람과 타조의 폐동맥입구와는 다른 형태로 관찰되었다[2, 10].

Conclusion

본 연구결과, 심장의 모양은 개, 산양, 토끼에서 구형 또는 타원형이었지만, 닭에서는 심장끝이 뾰족하고 긴 원뿔 모양으로 삼각형에 가까웠다. 원방실판막은 얇은 2개의 막성 침판으로 구성되었고 관찰된 모든 동물에서 유사한 구조를 보였다. 개와 산양에서 오른방실판막은 3개의 막성 침판이 3개의 꼭지근에 연결되어 있었지만, 토끼에서는 2개의 침판만이 4개의 꼭지근에 연결되었다. 또한, 닭에서는 꼭지근과 힘줄끈이 없이 하나의 두꺼운 근육판이 심장벽층의 심방과 심실 경계부에 부착되어 있었다. 대동맥판막은 얇은 3개의 막성 반월침

판으로 구성되었으나, 닭에서는 다소 두꺼웠고 첩판자유모서리가 굽어져 관찰되었다. 폐동맥판막은 3개의 막성 반월첩판으로서 개와 산양에서는 여러 겹으로 폐동맥벽에 부착되어 중앙에 크게 통로를 형성했지만, 토끼에서는 얇은 하나의 막으로 관찰되었다. 특히, 닭의 폐동맥판막은 첩판모서리가 폐동맥내강을 1/2이상 막고 있었고 두꺼운 단층막이었다. 따라서, 비록 2심방 2심실을 가진 동물(특히, 포유류와 조류)일지라도 심장판막의 구조는 동물간 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

References

1. Kent GC. Comparative anatomy of the vertebrates. In: *Circulatory system*. 6th ed. St. Louis: Times Mirror/Mosby college publishing; 1987. p. 426-432.
2. Tortora GJ. Tortora. Principles of human anatomy. In: *The cardiovascular system: the heart*. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc; 2002. p. 392-398.
3. Roosens B, Bala G, Droogmans S, Van Camp G, Breynne J, Cosyns B. Animal models of organic heart valve disease. *Int J Cardiol* 2013;165:398-409.
4. Leroux AA, Moonen ML, Pierard LA, Kolh P, Amory H. Animal models of mitral regurgitation induced by mitral valve chordae tendineae rupture. *J Heart Valve Dis*. 2012;21:416-423.
5. Takewa Y, Yamanami M, Kishimoto Y, Arakawa M, Kanda K, Matsui Y, Oie T, Ishibashi-Ueda H, Tajikawa T, Ohba K, Yaku H, Taenaka Y, Tatsumi E, Nakayama Y. In vivo evaluation of an in-body, tissue-engineered, completely autologous valved conduit (biovalve type VI) as an aortic valve in a goat model. *J Artif Organs*. 2013;16:176-184.
6. Wang ML, Zhang Y, Fan M, Guo YJ, Ren WD, Luo EJ. A rabbit model of right-sided *Staphylococcus aureus* endocarditis created with echocardiographic guidance. *Cardiovasc Ultrasound*. 2013;14;11:3.
7. Bharadwaj KN, Spitz C, Shekhar A, Yalcin HC, Butcher JT. Computational fluid dynamics of developing avian outflow tract heart valves. *Ann Biomed Eng*. 2012;40:2212-2227.
8. Alsafy MAM, El-Gendy SA, Enany S, Amine M. Anatomical studies on the atrioventricular valves of the ostrich heart (*Struthio camelus*). *J Vet Anat*. 2009;2:67-83.
9. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. The anatomy of the domestic animals. In: Schummer A, Wilkens H, Vollmerhaus B, Habermehl KH (eds.). *The circulatory system, the skin, and the cutaneous organs of the domestic mammals*. 1st ed. New York: Springer-Verlag; 1981. p.54-58.
10. Tadjalli M, Ghazi SR, Parto P. Gross anatomy of the heart in Ostrich (*Struthio camelus*). *Iranian J Vet Res*. 2009;10:21-27.