



CT Imaging for Mitral Valve Surgery and Intervention

승모판막수술 및 중재술을 위한 전산화단층영상

Dong Hyun Yang, MD*

Department of Radiology, Research Institute of Radiology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea

The surgical technique of mitral valvuloplasty or transcatheter mitral valve (MV) replacement has been developed recently. Surgeons and interventionists require detailed anatomical information on the MV for the purpose of treatment planning. In this review, we discussed the anatomic features of the MV on CT and the method of evaluating the MV for treatment planning, as well as its preservation, for interventional procedures.

Index terms Mitral Valve; Computed Tomography, X-Ray; Diagnosis

서론

좌심방과 좌심실 사이에 위치하는 이첨판(bicuspid valve)은 흔히 승모판(mitral valve; 이하 MV)이라고 부른다. 미국의 한 역학 연구에 의하면 승모판 역류(mitral regurgitation)는 75세 이상에서 9.3%의 유병률을 보일 만큼 흔한 질환이다(1, 2). MV에 질환이 의심되는 경우 1차적인 영상검사방법은 경 흉부 심장 초음파이고 판막의 모양을 조금 더 잘 평가해야 하는 경우에는 경 식도 심장 초음파를 통하여 향후 치료 지침을 정하게 된다(3). 판막질환이 심하지 않은 경우에는 임상관찰이나 약물치료를 하지만, 그 정도가 심한 경우 좌심실 및 심방의 확장을 동반하며 심부전 및 폐동맥 고혈압으로 진행할 수 있으므로 적극적인 치료가 필요하다(3). 가장 널리 이용되는 방법은 판막을 인공판막으로 대체하거나(승모판대치술, MV replacement) 판막을 수선하여 그 기능을 정상에 가깝게 만드는 수술적인 치료방법(승모판성형술, mitral valvuloplasty)이다. 최근에는 중재 시술을 통하여 승모판 역류를 완화하는 MitraClip 방법이 소개되어 약물치료에 비하여 좋은 예후를 보여주고 있다(3, 4). 중재 시술로 인공대동맥판막을 넣어주는 경피적 대동맥판막 치환술(transcatheter aortic valve replacement; 이하 TAVR)의 임상적 성공에 힘입어 이를 MV의 병변에도 적용해보려는 경피적 승모판막 치환술(transcatheter mitral valve replacement; 이하 TMVR)도 다양한 기구를 통하여 시도되고 있다(5, 6).

Received January 21, 2020

Revised March 7, 2020

Accepted March 16, 2020

*Corresponding author

Dong Hyun Yang, MD
Department of Radiology,
Research Institute of Radiology,
Asan Medical Center,
University of Ulsan
College of Medicine,
88 Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu,
Seoul 05505, Korea.

Tel 82-2-3010-5820

Fax 82-2-3010-8634

E-mail donghyun.yang@gmail.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID iD

Dong Hyun Yang

<https://>

orcid.org/0000-0001-5477-558X

최근 전산화단층촬영(이하 CT) 기술의 급격한 발전으로 심장 CT는 관상동맥질환의 진단뿐만 아니라 구조적인 심질환의 평가에도 널리 이용되고 있다(7, 8). 승모판질환이 있을 때 병든 판막을 완전히 제거하고 인공판막으로 교체하는 수술을 시행하는 경우, CT의 주된 역할은 관상동맥질환 여부의 진단이다(3). 수술 시 일반적으로 이용하는 인공심폐기의 적용을 위해 대동맥 및 그 분지에 대한 정보를 제공하는 것도 중요하다. 심장 초음파에 비해 판막 주변의 형태를 잘 보여줄 수 있기 때문에 판막 주변부의 석회화를 보여주거나 혹은 심장 내의 혈전을 잘 보여주는 것도 심장 CT의 중요한 역할이다(3). 최근 들어 승모판질환에 대해 판막을 교체하지 않고 치료하는 다양한 기법이 발전하고 있다(1, 3, 4). 이러한 치료 계획을 위해서는 MV의 해부학적인 정보를 수술자 혹은 시술자의 관점에서 조금 더 자세하게 알려줄 필요가 있다(1, 6, 9). 본 종설에서는 MV의 보존 수술 및 중재적 시술의 치료 전 계획을 위한 MV의 해부학 및 CT를 이용한 승모판 주변의 평가 방법에 대해 다루고자 한다.

승모판의 해부학(MV Anatomy)

MV의 해부학은 대동맥판막과 비교하여 조금 더 복잡하다(10, 11). 대동맥판막은 판막 고리(annulus)가 왕관 모양으로 다소 복잡하기는 하지만 판막의 가장 아래 부위를 기준으로 하여 oblique axial 영상을 만들면 CT에서 비교적 간단하게 측정할 수 있다(12). 반면 MV는 MV apparatus라고 부르는 섬유 고리(fibrous annulus), 힘줄끈(chordae tendineae), 그리고 유두근(papillary muscles)로 이루어져 있어서 대동맥판막에 비해 평가하기가 더 복잡하다(1).

승모판고리(Mitral Annulus)

승모판고리는 비대칭적인 모양으로 3차원적으로 보면 안장모양(saddle-shape)의 구조물이다(10). 승모판고리는 앞뿔(anterior horn or peak)과 뒤뿔(posterior horn)로 이루어져 있는데 앞뿔은 대동맥 근위부쪽을 향하여 위쪽으로 뻗어 있으며 소위 'aortomitral continuity' 혹은 'intervalvular fibrosa'를 형성한다(1, 6). Aortomitral continuity는 '정상' 좌심실의 매우 특징적인 소견으로 심장의 fibrous skeleton의 일부를 구성하며 대동맥판막과 MV 사이에 위치하고 있으므로 TMVR 시 잠재적인 좌심실유출로(left ventricular outflow; 이하 LVOT) 폐색의 원인이 된다(1). 뒤뿔은 좌심실과 좌심방 심근 사이에 위치하며, MV posterior leaflet이 붙는다. Fibrous trigones은 앞뿔과 뒤뿔의 연결 부위에 위치하며 CT에서 쉽게 찾을 수 있는데 'focal triangular thickening'으로 관찰된다(Fig. 1; Supplementary Video 1 in the online-only Data Supplement). CT에서 승모판고리의 크기 측정은 안장 모양이 승모판고리의 경로를 3차원적으로 모두 그려서 측정하는 방법이 있고, 좀 더 간단한 방법으로는 승모판고리를 알파벳 'D' 모양으로 가정하고 측정하는 방법이 있다(5, 6) (Fig. 2; Supplementary Video 2 in the online-only Data Supplement). 이 부분에 대해서는 뒤에 다시 기술하겠다.

승모판첨판(MV Leaflet)

MV는 2개의 첨판(leaflet), anterior mitral leaflet (이하 AML)과 posterior mitral leaflet (이하 PML)로 이루어져 있다. 각 첨판은 각각 3개의 scallop (A1, A2, A3 in AML; P1, P2, P3 in PML)으

Fig. 1. Saddle-shaped annulus.

The lateral trigone (blue dot), medial trigone (green dot), anterior horn (white line), and posterior horn (red line) as seen on CT volume rendering (A) postero-superior view and (B) Left lateral view of a 49-year-old man with mitral valve prolapse.

Ao = aorta, LCC = left coronary cusp, LV = left ventricle, NCC = noncoronary cusp, RA = right atrium, RV = right ventricle

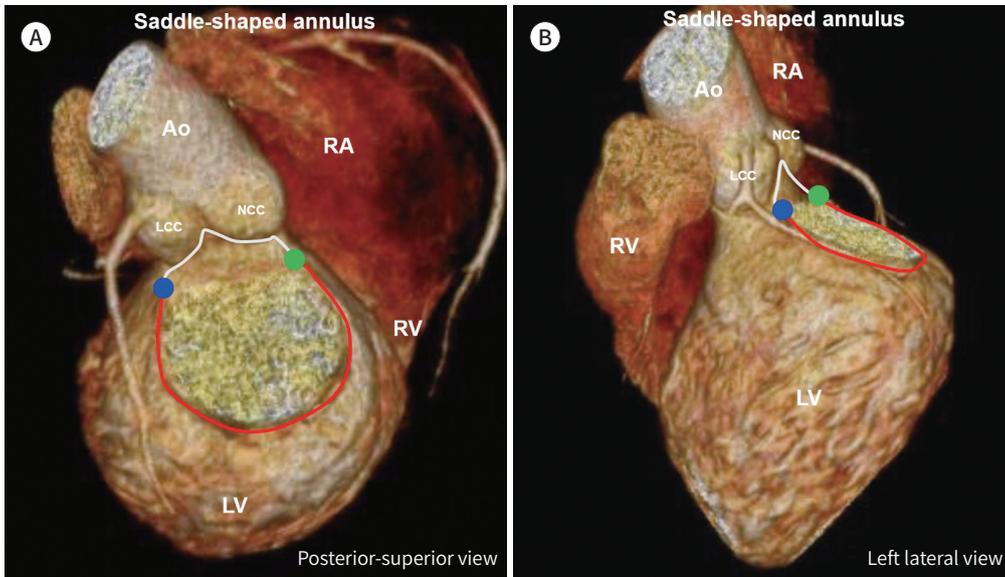


Fig. 2. Mitral annulus and fibrous trigone.

The lateral (blue arrow) and medial (green arrow) trigones define the border between the anterior circumference (aortic peak) and posterior circumference (posterior peak). The trigones have a characteristic triangular shape on the en-face view on CT imaging. Mitral prolapse in a 49-year-old man (same patient as Fig. 1).

로 이루어져 있다(Fig. 3; Supplementary Video 3 in the online-only Data Supplement) (1, 9). AML과 PML은 크기와 모양이 다른데, AML은 승모판고리 둘레의 1/3을 차지하고 대동맥판막과 연결되어 있으므로 ‘aortic leaflet’이라고도 부른다. PML은 승모판고리둘레의 2/3를 차지하고 좌심실/좌심방의 심근 사이인 뒤벽에 붙어 있으므로 ‘mural leaflet’이라고도 부른다. AML과 PML이 만나는 접합선(coaptation line)은 약간 구부러져 있는 활 모양을 보이는데 ‘surgeon’s view’에서 보면 좌심방이(left atrial appendage) 쪽에 anterolateral commissures가 위치하고, 심방중격(interatrial septum) 쪽에 posteromedial commissure가 위치한다. CT에서 AML, PML은 매우 쉽게 구분할 수 있으며 수축기 때 영상 단면을 ‘surgeon’s view’로 만들어 보면 각 scallop도 모두 구분이 가능하다(9, 13). 따라서 승모판 탈출증(MV prolapse)시 어떤 scallop에 탈출이 생기지도 CT로 평가가 가능하다(9). 자세한 방법은 뒤에 기술하겠다.

판막 하 구조물(Subvalvular Apparatus)

판막 하 구조물은 유두근과 힘줄끈으로 이루어져 있다. 유두근은 그 위치 및 승모판 연결부(commisure)와 기능적으로 연관되어 있는 관계에 따라서 이름을 붙인다. 따라서 앞가쪽(anterolateral) 유두근은 앞가쪽 연결부와 연결되어 있고, 뒤안쪽(posteromedial) 유두근은 뒤안쪽 연결부와 연결되어 있다. 각 유두근은 1~3개 정도의 근다발(muscle bundle)로 이루어져 있다(10). 힘줄끈은 그 수나 모양이 매우 다양하고 leaflet tip이나 body에 붙어 있다. CT에서 유두근은 심초음파에 비하여 그 모양이 상대적으로 잘 보이기 때문에 그 형태적 변이를 평가하기가 더 유리하다(Fig. 4) (14, 15).

CT를 이용한 MV의 평가

CT를 이용하여 MV를 평가하기 위해서는 심전도(electrocardiogram; 이하 ECG)와 동기화

Fig. 3. Mitral leaflet anatomy. The LAA and LCx (arrows) are located near the lateral commissure of the MV. A 70-year-old man with atrial fibrillation and functional mitral regurgitation.

A. The surgeon’s view can be generated using a slab of the mitral annular plane (yellow box on the 3-chamber view).

B. The MV appears open on the diastolic image.

C. The MV appears closed on the systolic image.

A = anterior scallop, Ao = aorta, LA = left atrium, LAA = left atrial appendage, LCx = left circumflex coronary artery, MV = mitral valve, P = posterior scallop

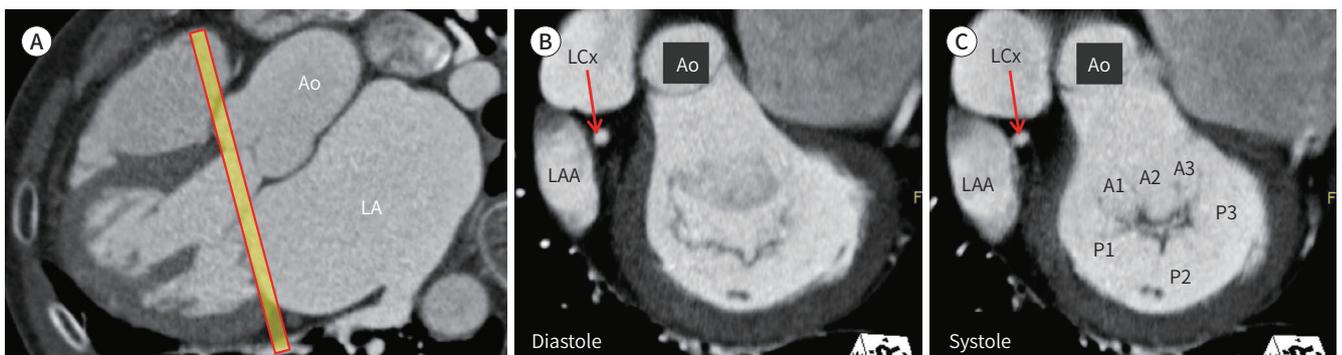
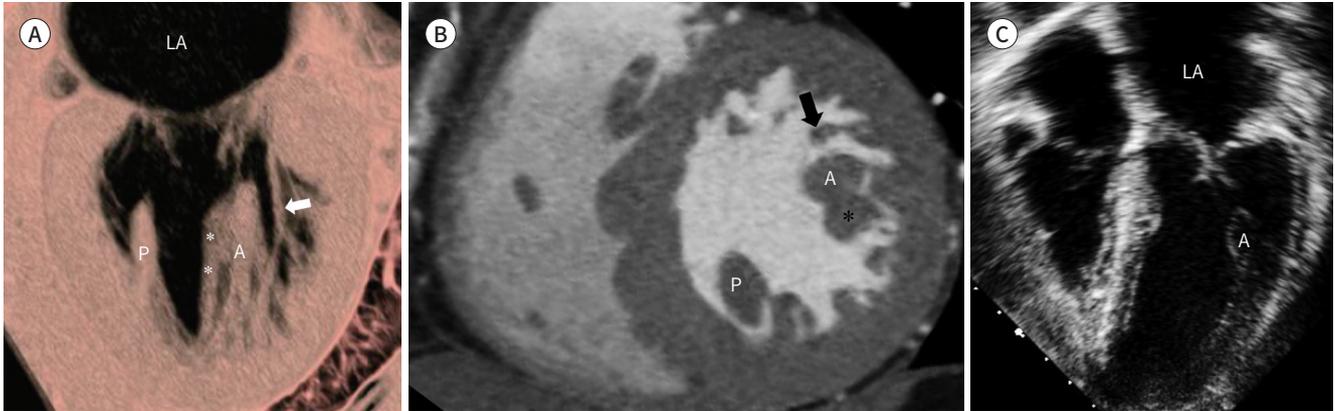


Fig. 4. Papillary muscle visualization on CT and echocardiography.

A-C. Volume rendering (A) and short-axis CT images (B) showing the anterolateral (letter A) and posteromedial (letter P) papillary muscles. The base of the papillary muscle, accessory papillary muscle (asterisks), and the prominent trabeculation (arrows) around the papillary muscles are better seen on CT, compared with transthoracic echocardiography (C).

A = anterior scallop, LA = left atrium, P = posterior scallop



(ECG gating)가 필요하다. 시간 해상도를 고려하면 single source CT보다는 dual source CT가 더 유리하다. 심장의 수축기와 이완기를 모두 볼 수 있는 retrospective ECG gating을 이용하여 영상을 얻으며 방사선량을 줄이기 위해 ECG pulsing을 사용할 수 있다. 승모판 탈출 위치를 평가하는데 있어서 CT의 정확성을 평가한 이전의 한 연구에서는 ECG pulsing의 R-R interval을 30~80%로 사용하였고, 승모판 탈출의 모양이 가장 잘 보이는 심장의 주기는 R-R interval 30%였다(9). 영상을 촬영 후에는 R-R interval 5% 혹은 10% 단위로 영상을 재구성하면 모두 10 or 20 phases/beats의 multiphase CT 영상을 얻을 수 있다. 영상의 재구성을 위해서는 별도의 워크스테이션이 필요한데 최근 심장 CT 영상 소프트웨어는 대부분 multiphase CT 영상 분석을 지원하므로 임상 적용에 큰 무리는 없다. 승모판 역류가 일어나는 원인을 평가하기 위해서는 수축기 영상이 필요하고, MV annulus의 크기를 측정하기 위해서는 이완기의 영상이 필요하므로 원하는 목적에 맞추어 영상을 선택하면 된다. CT에서 TMVR의 시술 전 평가를 위해 측정 가능한 지표들은 Table 1에 정리되어 있다.

Morphological Characterization of Mitral Regurgitation

MV에 병이 생겼을 때 혈류역학적 중요도나 병변의 형태적 특징은 1차적으로 심장 초음파를 이용하여 진단한다. CT는 multiplanar reconstruction 혹은 volume rendering과 같은 영상 재구성 기법을 통해 MV의 병변을 보여 줄 수 있다(9, 13, 16, 17). 승모판 탈출은 판막에 형태적인 이상이 생겨서 승모판 역류를 유발하는 대표적인 질환인데, prolapse scallop의 위치와 범위를 3차원 초음파와 유사한 영상으로 CT에서도 보여줄 수 있다(9). 이를 위해서는 다음과 같은 영상 재구성의 단계가 필요하다(Fig. 5; Supplementary Video 4 in the online-only Data Supplement). 1) MV coaptation line에 수직인 영상을 만들면 MV prolapse의 위치가 AML 인지 PML 인지 구분 가능하다. 2) MV coaptation line에 평행한 영상을 만들면 MV prolapse의 위치가 anterolateral commissure에 가까운지 혹은 posteromedial commissure에 가까운지 알 수 있다. 3) Surgeon's

Table 1. CT Evaluation Parameters for Planning Transcatheter MV Therapy

Anatomic Structure	Detail
Mitral annulus	Mitral annular calcification
	Area
	Perimeter
	Intercommisural distance
	Septal-lateral distance
	Trigone-trigone distance
MV leaflets	Fluoroscopic angulation (Intercommisural view, compromise view, en-face view)
	Leaflet thickness
	Prolapse/flail segments (A1-A3 and P1-P3)
	Leaflet tethering
Subvalvular apparatus	Leaflet calcification
	Presence of bifid or accessory papillary muscle
	Presence of direct muscular insertions
LV	Interpapillary distance
	LV size (diameter, volume)
	LV long-axis length
	Neo-LVOT area
	Aortomitral angle
	LV ejection fraction
Others	Apical location in relation to midline and intercostal space
	Cardiac or extracardiac incidental findings (thrombus, congenital anomaly)

A = anterior scallop, LV = left ventricle, LVOT = left ventricular outflow, MV = mitral valve, P = posterior scallop

view를 만들면 3차원 초음파와 유사한 영상을 만들 수 있고 MV prolapse의 전체적인 모양을 확인할 수 있다. CT를 이용하면 MV prolapse의 유무뿐 아니라 범위를 파악할 수 있으며 수술 소견을 참조표준으로 하였을 때 진단 정확도가 초음파와 큰 차이가 없었다(13). 또한 MV prolapse 이외에 승모판 역류의 원인이 될 수 있는 infective endocarditis의 평가에도 유용하였다(18). Supplementary Video 5 (in the online-only Data Supplement)에서는 mitral regurgitation을 야기할 수 있는 MV의 CT 소견을 요약하였다.

Annular Sizing

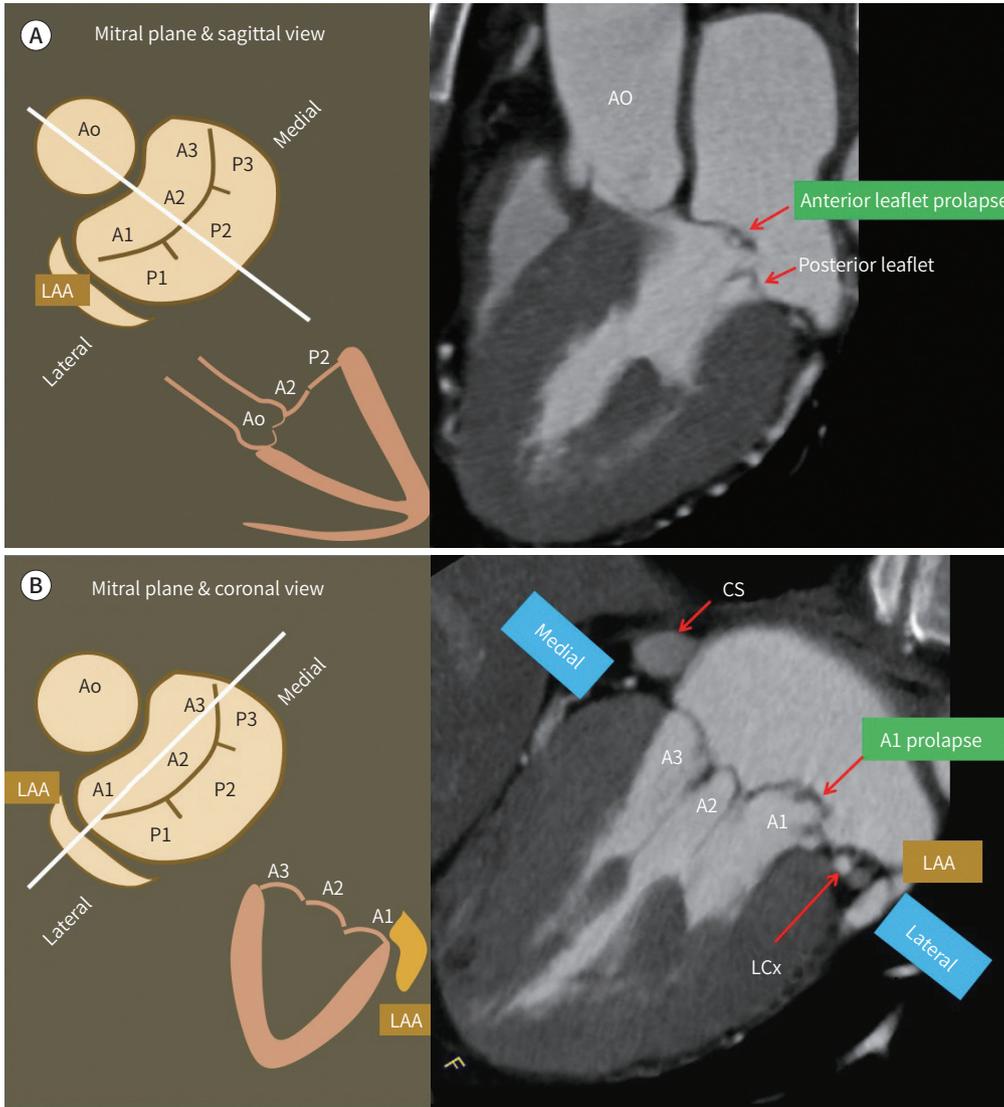
CT는 TAVR 시술에서 aortic annulus를 측정하는 주된 방법으로 자리 잡았으며 2019년 발간된 심장CT학회의 전문가 합의문서(expert consensus document)에서도 참조표준(gold standard)으로 언급되고 있다(12). TAVR의 시술 전 CT 사용의 경험을 바탕으로, 비록 초기이기는 하지만, TMVR 연구들에서도 CT는 annulus의 크기를 평가하는데 널리 사용되고 있다(1). CT에서 승모판 고리는 다음의 2가지 방법으로 평가할 수 있다(2, 3). 1) 말안장 모양의 3차원적인 구조물인 승모판 고리를 직접 따라서 그린 후 고리의 투사면적이나 직경 등을 구하는 방법(Saddle-shaped annulus), 2) 승모판고리의 앞뿔을 fibrous trigones 레벨에서 일직선으로 잘라서 2차원적인 승모판고리의 평면을 만든 후 annulus 크기를 평가하는 방법(D-shaped annulus). 전자는 annulus의 선상에 일정 간격으로 점을 찍은 후 MV annulus의 3차원 형상을 재구성한 후 계산해야 하므로 특별한 소프트웨어가 필요하다(예, 3-mensio Structural Heart, Pie Medical Imaging BV, Maas-

Fig. 5. Localization of a MV prolapse on CT.

A. The anterior or posterior leaflet can be defined on the sagittal view of the mitral annular plane.

B. Medial, middle, or lateral scallop prolapse can be defined on the coronal view of the mitral annular plane. The LAA and LCx can be used as anatomical landmarks for the lateral commissure.

A = anterior scallop, Ao = aorta, CS = coronary sinus, LAA = left atrial appendage, LCx = left circumflex coronary artery, MV = mitral valve, P = posterior scallop



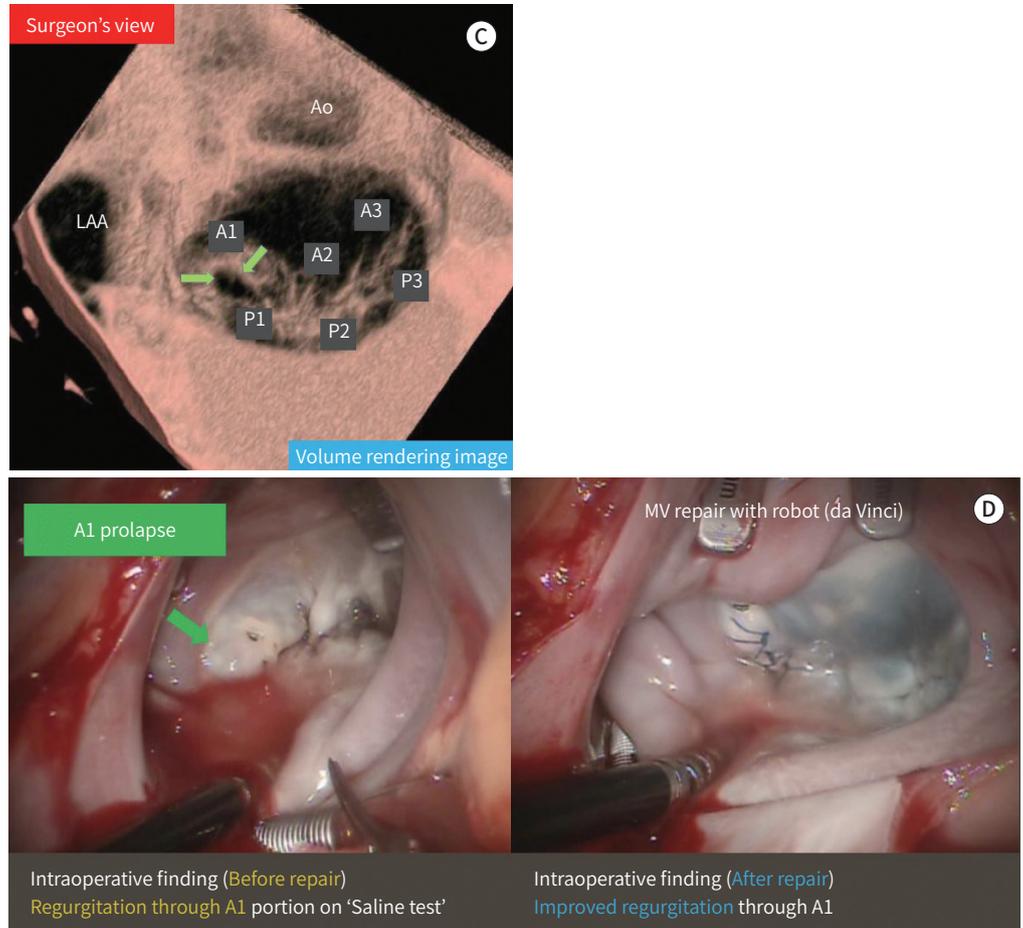
tricht, the Netherlands). 후자의 경우는 일반적인 3D 워크스테이션을 이용하여 평가할 수 있으나 CT에서 fibrous trigone과 posterior mitral annulus를 하나의 영상 단면에 담아야 하기 때문에 영상 재구성 기법에 능숙해질 필요가 있다. Blanke 등(6)은 위 두 가지 측정 방법을 비교한 결과를 보고하였다. 이 연구에 의하면 D-shaped annulus 측정 기법이 Saddle-shaped annulus 방법과 비교하여 좀 더 승모판고리의 모양이 평탄하였고 크기는 작았다. 그 결과 이론적으로는 D-shaped annulus 기법이 LVOT clearance에 더 유리하였다. 임상적으로 적용하기 쉬운 방법은 Fig. 1C에서와 같이 fibrous trigone과 posterior mitral annulus를 하나의 영상 단면으로 잡은 후 2D 기반의 D-shaped annulus 크기를 평가하는 것이다(Fig. 6). 하지만 승모판고리를 측정하는

Fig. 5. Localization of a MV prolapse on CT.

C. The surgeon's view can depict the extent of the prolapsed scallop (green arrows) intuitively, using the volume rendering technique. A 40-year-old man with an A1 scallop prolapse.

D. Intraoperative findings before and after MV repair.

A = anterior scallop, Ao = aorta, LAA = left atrial appendage, MV = mitral valve, P = posterior scallop

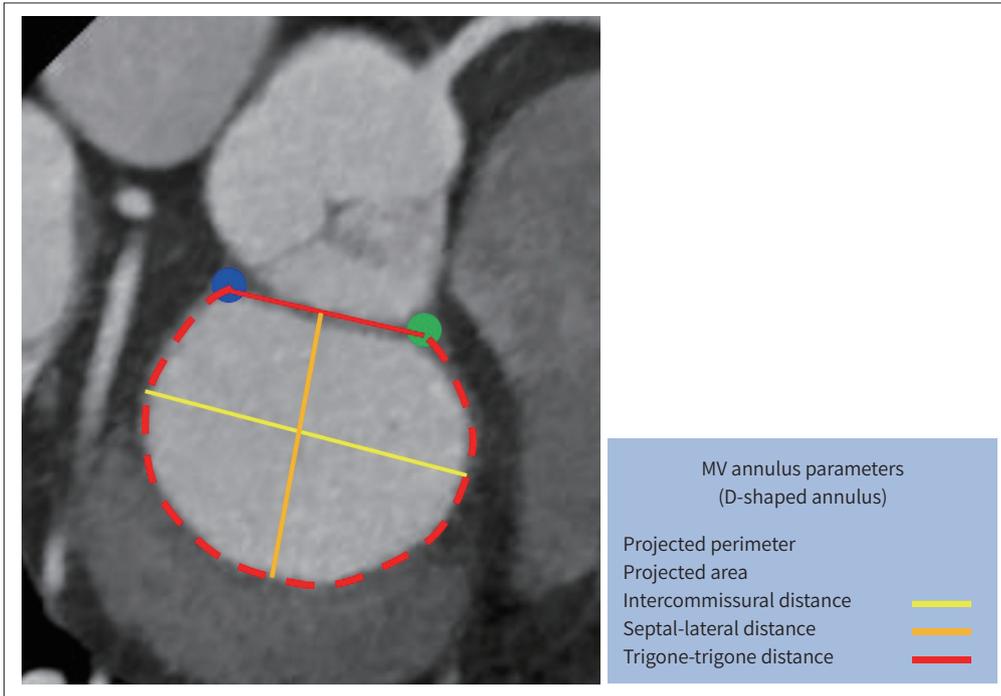


방법과 그 결과로 얻어지는 지표는 TMVR에 사용되는 기구가 무엇이나에 따라서 결정되어야 함을 명심해야 한다. 예를 들면 Tiara device (Neovasc)는 D-shape으로 만들어져 있고 intercommissural distance와 projected annular perimeter가 중요하다. 반면 CardiAQ-Edwards TMV (Edwards Lifesciences)는 the largest annular diameter가 중요하다고 알려져 있다(1).

Landing Zone Characterization

CT는 TMVR 시술 시 landing zone과 관련한 중요한 정보들을 줄 수 있다. 특히 mitral annular calcification (이하 MAC)는 annulus의 크기 평가를 어렵게 하기 때문에 CT와 초음파 모두에서 문제가 될 수 있다(1). CT에서 영상의 window/width를 잘 맞추면 작은 calcification은 큰 문제가 되지 않지만 매우 심한 경우는 뚜렷한 해결책이 없을 수 있다. MAC에 대한 정량적인 평가 방법은 명확하게 확립되지 않았으나, 중재 시술의 관점에서 긍정적인 역할을 하는 경우도 보고된 바 있다 (1). 예를 들어 MAC가 심하면서 승모판막고리 둘레의 75% 이상을 둘러싸는 경우 TAVR 사용하는

Fig. 6. Two-dimension based D-shaped mitral annulus evaluation method. The intercommissural distance (yellow line), septal-lateral distance (orange line), and trigone-trigone distance (red line) can be measured on CT imaging as crossing the posterior mitral annulus and bilateral fibrous trigones (blue dot, lateral trigone; green dot, medial trigone). MV = mitral valve



인공대동맥판막을 삽입할 수 있다는 보고도 있다(19).

LVOT Obstruction Assessment

TMVR 시술 이후 LVOT obstruction은 매우 심각한 부작용을 야기할 수 있으므로 시술 계획 시 이를 예측하는 것이 중요하다(20, 21). CT는 특별한 프로그램을 이용하여 기구의 삽입을 시뮬레이션해 봄으로써 기구의 삽입 후 LVOT의 형태적인 변화를 간접적으로 추측해볼 수 있다(1). 하지만 시술 후 LVOT obstruction의 기전에 아직 완벽하게 이해되지 못해서 추가 연구가 필요한 분야이다.

Predicting Fluoroscopic Angulations

TAVR 시술에서 CT를 이용한 투시장치의 각도(fluoroscopic angulation)를 예측하는 것은 시술 시 필요한 조영제의 양을 줄이거나(22), 추가적인 방사선피폭을 줄일 수 있다는 것이 알려져 있다(23). TMVR에서는 아직 이러한 연구가 많이 진행되지는 않았지만 TAVR에서와 비슷한 원리로 인해 투시장치의 각도 예측이 조영제나 방사선피폭을 줄이는데도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대하고 있다(1). 또한 시술과 관련이 있을 수 있는 coronary sinus나 left circumflex coronary artery의 위치가 하이브리드 시스템이 표시되게 함으로써, 시술 중에 발생할 수 있는 위험을 줄일 수 있다(1).

결론적으로 CT는 MV를 보존하면서 그 기능적 이상을 치료하는 수술이나 중재 시술의 치료 계획에 심초음파를 보조하는 수단으로서 유용하게 이용될 수 있다. CT의 영상 분석방법이 아직은 정립되어 있지 않지만, MV의 치료 기법이 점점 다양해지고 있고 TAVR의 시술 전 검사로 CT가 폭 넓게 이용되고 있는 현실을 고려하면, MV 치료의 계획에도 CT의 이용이 늘어날 것으로 예측할 수 있다. 따라서 MV의 해부학이나 영상처리기법에 대한 영상학과 전문의의 관심과 노력이 필요하겠다.

Supplementary Video Legend

- Video 1 shows the geometric relationship between the mitral annulus, aorta, and left atrium
- Video 2 shows CT en-face view of the mitral trigones
- Video 3 shows systolic and diastolic motion of the MV. Note the central coaptation defect of the MV.
- Video 4 shows volume rendering CT image of MV prolapse and the intra-operative findings.
- Video 5 shows CT demonstration of MV pathology.

Supplementary Materials

The online-only Data Supplement is available with this article at <http://dx.doi.org/10.3348/jksr.2020.81.2.290>.

Conflicts of Interest

The author has no potential conflicts of interest to disclose.

Acknowledgments

This work was supported by National Research Foundation of Korea (NRF) grants funded by the Korean government (MSIP) (NRF-2020R1A2C2003843) and a grant from the Korea Health Technology R&D Project through the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (HI18C0022).

REFERENCES

1. Weir-McCall JR, Blanke P, Naoum C, Delgado V, Bax JJ, Leipsic J. Mitral valve imaging with CT: relationship with transcatheter mitral valve interventions. *Radiology* 2018;288:638-655
2. Nkomo VT, Gardin JM, Skelton TN, Gottdiener JS, Scott CG, Enriquez-Sarano M. Burden of valvular heart diseases: a population-based study. *Lancet* 2006;368:1005-1011
3. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, De Bonis M, Hamm C, Holm PJ, et al. 2017 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2017;38:2739-2791
4. Stone GW, Lindenfeld J, Abraham WT, Kar S, Lim DS, Mishell JM, et al. Transcatheter mitral-valve repair in patients with heart failure. *N Engl J Med* 2018;379:2307-2318
5. Abdelghani M, Spitzer E, Soliman Oll, Beitzke D, Laggner R, Cavalcante R, et al. A simplified and reproducible method to size the mitral annulus: implications for transcatheter mitral valve replacement. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:697-706
6. Blanke P, Dvir D, Cheung A, Ye J, Levine RA, Precious B, et al. A simplified D-shaped model of the mitral annulus to facilitate CT-based sizing before transcatheter mitral valve implantation. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2014;8:459-467
7. Beck KS, Kim JA, Choe YH, Hian SK, Hoe J, Hong YJ, et al. 2017 multimodality appropriate use criteria for noninvasive cardiac imaging: expert consensus of the Asian Society of Cardiovascular Imaging. *Cardiovasc Imaging Asia* 2017;1:156-165
8. Kim YJ, Yong HS, Kim SM, Kim JA, Yang DH, Hong YJ, et al. Korean guidelines for the appropriate use of cardiac CT. *Korean J Radiol* 2015;16:251-285
9. Koo HJ, Yang DH, Oh SY, Kang JW, Kim DH, Song JK, et al. Demonstration of mitral valve prolapse with CT for planning of mitral valve repair. *Radiographics* 2014;34:1537-1552

10. Ho SY. Anatomy of the mitral valve. *Heart* 2002;88 Suppl 4:iv5-iv10
11. McCarthy KP, Ring L, Rana BS. Anatomy of the mitral valve: understanding the mitral valve complex in mitral regurgitation. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:i3-9
12. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Jilaihawi H, et al. Computed tomography imaging in the context of transcatheter aortic valve implantation (TAVI) / transcatheter aortic valve replacement (TAVR): an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2019;13:1-20
13. Koo HJ, Kang JW, Oh SY, Kim DH, Song JM, Kang DH, et al. Cardiac computed tomography for the localization of mitral valve prolapse: scallop-by-scallop comparisons with echocardiography and intraoperative findings. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2018;20:550-557
14. Song Y, Yang DH, Ó Hartaigh B, Cho SJ, Kang JW, Kim YH, et al. Geometric predictors of left ventricular outflow tract obstruction in patients with hypertrophic cardiomyopathy: a 3D computed tomography analysis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2018;19:1149-1156
15. Kim DH, Handschumacher MD, Levine RA, Choi YS, Kim YJ, Yun SC, et al. In vivo measurement of mitral leaflet surface area and subvalvular geometry in patients with asymmetrical septal hypertrophy: insights into the mechanism of outflow tract obstruction. *Circulation* 2010;122:1298-1307
16. Ghosh N, Al-Shehri H, Chan K, Mesana T, Chan V, Chen L, et al. Characterization of mitral valve prolapse with cardiac computed tomography: comparison to echocardiographic and intraoperative findings. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012;28:855-863
17. Smith T, Gurudevan S, Cheng V, Trento A, Derobertis M, Thomson L, et al. Assessment of the morphological features of degenerative mitral valve disease using 64-slice multi detector computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2012;6:415-421
18. Koo HJ, Yang DH, Kang JW, Lee JY, Kim DH, Song JM, et al. Demonstration of infective endocarditis by cardiac CT and transoesophageal echocardiography: comparison with intra-operative findings. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2018;19:199-207
19. Eleid MF, Cabalka AK, Williams MR, Whisenant BK, Alli OO, Fam N, et al. Percutaneous transvenous transseptal transcatheter valve implantation in failed bioprosthetic mitral valves, ring annuloplasty, and severe mitral annular calcification. *JACC Cardiovasc Interv* 2016;9:1161-1174
20. Blanke P, Naoum C, Dvir D, Bapat V, Ong K, Muller D, et al. Predicting LVOT obstruction in transcatheter mitral valve implantation: concept of the neo-LVOT. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017;10:482-485
21. Wang DD, Eng M, Greenbaum A, Myers E, Forbes M, Pantelic M, et al. Predicting LVOT obstruction after TMVR. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;9:1349-1352
22. Hell MM, Biburger L, Marwan M, Schuhbaeck A, Achenbach S, Lell M, et al. Prediction of fluoroscopic angulations for transcatheter aortic valve implantation by CT angiography: influence on procedural parameters. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:906-914
23. Samim M, Stella PR, Agostoni P, Kluin J, Ramjankhan F, Budde RP, et al. Automated 3D analysis of pre-procedural MDCT to predict annulus plane angulation and C-arm positioning: benefit on procedural outcome in patients referred for TAVR. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:238-248

승모판막수술 및 중재술을 위한 전산화단층영상

양동현*

최근 들어 승모판(mitral valve) 질환에 대해 승모판 성형술(mitral valvuloplasty) 또는 중재 시술을 통하여 인공판막을 넣어주는 시술(transcatheter mitral valve replacement)이 발전하고 있다. 이러한 치료 계획을 위해서는 승모판의 해부학적인 정보를 수술자 혹은 시술자의 관점에서 조금 더 자세하게 알려줄 필요가 있다. 본 리뷰에서는 승모판의 보존 수술 및 중재적 시술의 치료 전 계획을 위한 승모판의 해부학 및 CT를 이용한 승모판막 주변의 평가 방법에 대해 다루고자 한다.

울산대학교 의과대학 서울아산병원 영상의학과