



Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας - δομικές καρδιοπάθειες

Dr med Γεώργιος Ν. Μπενέτος, MD, MSc, PhD, FESC

Ακαδημαϊκός Υπότροφος Α' Πανεπιστημιακή Καρδιολογική Κλινική

Cardiac CT Κλινική Λευκός Σταυρός

EACVI and SCCT Level 3 certified in Cardiac CT



Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας -δομικές καρδιοπάθειες

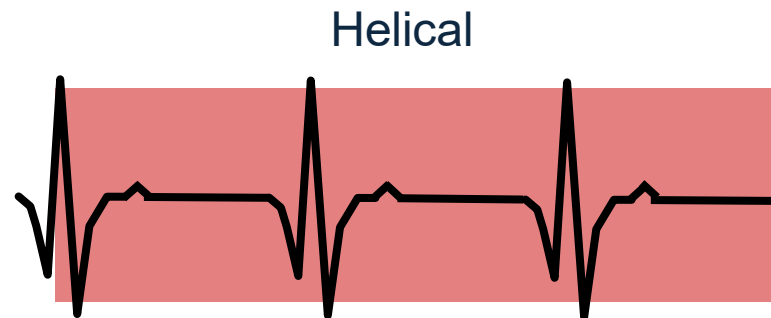


- **Βασικές αρχές**
- Εκτίμηση βαλβιδοπαθειών
 - Αορτικής βαλβίδας & Παθολογία αορτής
 - Μιτροειδούς βαλβίδας
 - Πνευμονικής βαλβίδας
 - Τριγλώχινας βαλβίδας
- Άλλες δομικές καρδιοπάθειες
- Συμπεράσματα



Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Οι αξονικές καρδιάς για διακαθετηριακές επεμβάσεις απαιτούν συνήθως πληροφορία τόσο στη συστολή όσο και στη διαστολή
- Η σάρωση γίνεται συνήθως με ανάδρομο καρδιακό συγχρονισμό περιλαμβάνοντας όλο το RR διάστημα
- Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη επιβάρυνση σε ακτινοβολία





TAVR-CT acquisition

TABLE 2 Recommendations for IV Contrast Administration

Parameter	Recommendation
Iodine concentration	Iodinated contrast agent as per institutional standards
Flow rate	4–6 ml/s
Volume	As per institutional standard for routine coronary cardiac CT, commonly 50–100 cc
IV-access	Antecubital vein
Timing	Bolus tracking to allow for peak contrast in the ascending aorta (may vary with scanning system used)

TABLE 3 Summary of Recommendations for CT Acquisition Prior to TAVI/TAVR

Recommendation	Grade of Recommendation*
The imaging volume should include the aortic root, aortic arch and ilio-femoral access	Strong
Imaging of the aortic root should be performed using ECG-synchronized acquisition	Strong
Imaging of the aorta and iliofemoral vessels can be performed without ECG synchronization	Strong
Choice of acquisition mode should be tailored according to available scanner technology	Strong
CT acquisitions should focus on optimization of image quality while in accordance with ALARA principles	Strong
Thin slice collimation and reconstructed slice thickness ≤ 1 mm for the root and ≤ 1.5 mm for the peripheral vasculature should be obtained and used.	Strong
In patients with an eGFR ≥ 30 ml/min/1.73 m ² no pre hydration is required	Weak
In patients with eGFR < 30 ml/min/1.73 m ² reduction of iodinated contrast volume and prehydration may be considered	Strong
Routine use of beta blockade is not recommended.	Strong
Beta blocker use may be considered in selected cases and should be used cautiously with careful clinical oversight	Strong
Use of nitroglycerin is contra-indicated	Strong

*Based on level of consensus.

ALARA = as low as reasonably achievable; ECG = electrocardiogram; eGFR = estimated glomerular filtration rate; CT = computed tomography; TAVI = transcatheter aortic valve implantation; TAVR = transcatheter aortic valve replacement.



TAVR-CT acquisition

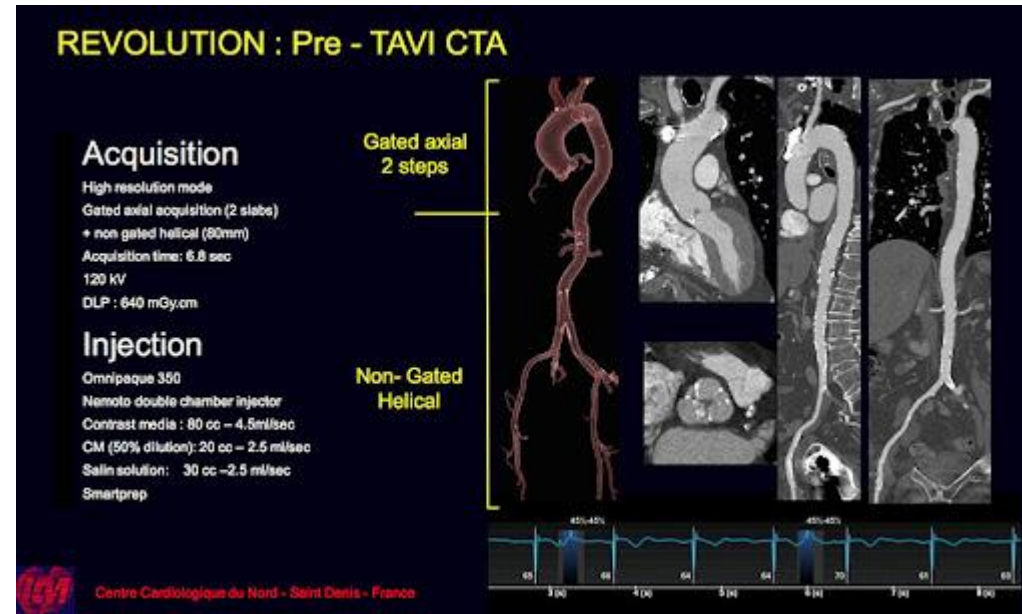


Table 1

Preferred mode of acquisition for ECG-synchronized CTA of the aortic root stratified by scanner system.

Manufacturer	Scanner Geometry	Preferred Acquisition Mode
GE	64-row family Revolution (256 row)	Spiral/helical acquisition with retrospectively ECG-gated image reconstruction Prospectively ECGgated, axial one beat acquisition
Philips	All scanners	Spiral/helical acquisition with retrospectively ECG-gated image reconstruction
Siemens	All scanners	Spiral/helical acquisition with retrospectively ECG-gated image reconstruction
Toshiba	64/80-row family Aquilion One (320/640 row)	Spiral/helical acquisition with retrospectively ECG-gated image reconstruction Prospectively ECGgated, axial one beat acquisition



Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας -δομικές καρδιοπάθειες



- Βασικές αρχές
- **Εκτίμηση βαλβιδοπαθειών**
 - **Αορτικής βαλβίδας & Παθολογία αορτής**
 - Μιτροειδούς βαλβίδας
 - Πνευμονικής βαλβίδας
 - Τριγλώχινας βαλβίδας
- Άλλες δομικές καρδιοπάθειες
- Συμπεράσματα

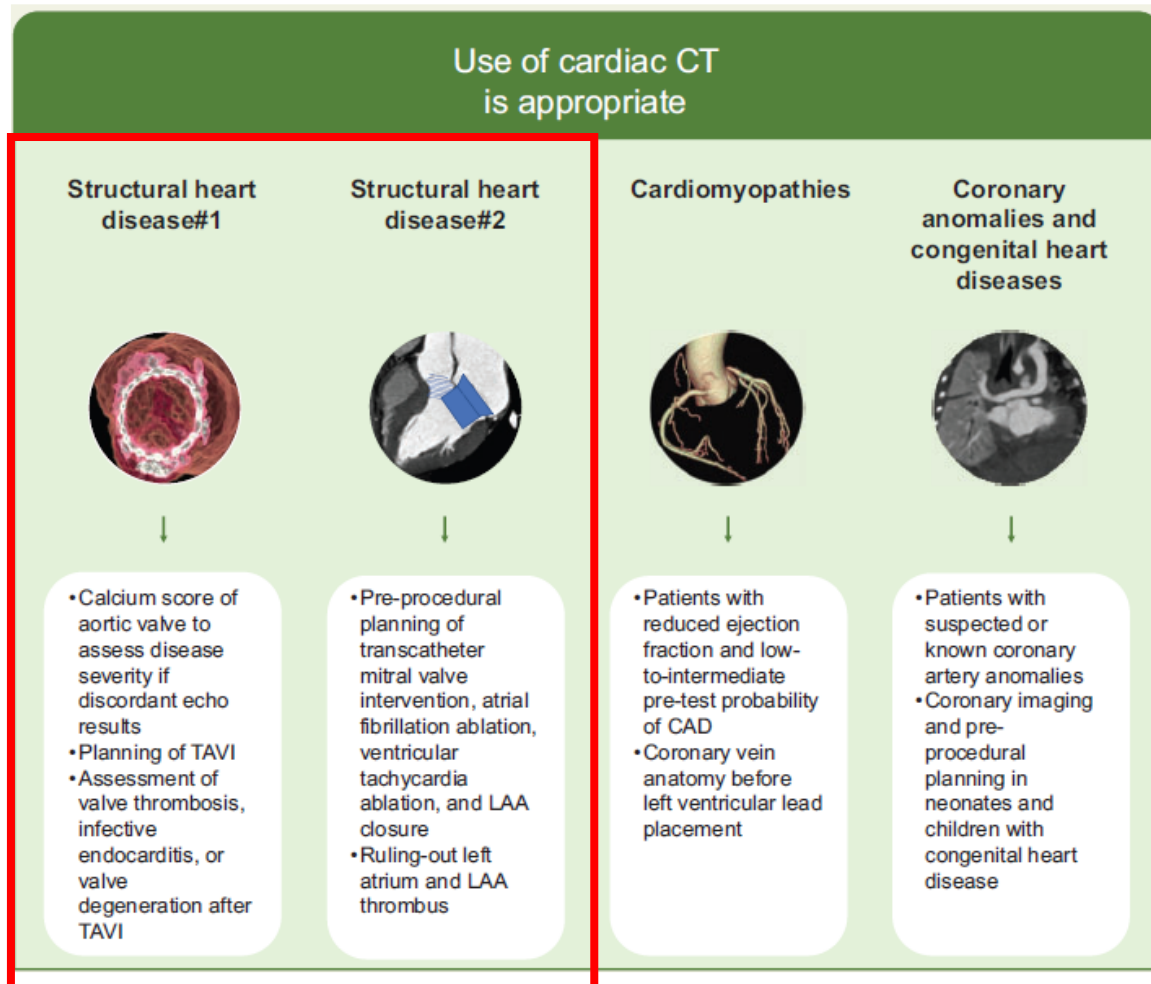


Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας -δομικές καρδιοπάθειες



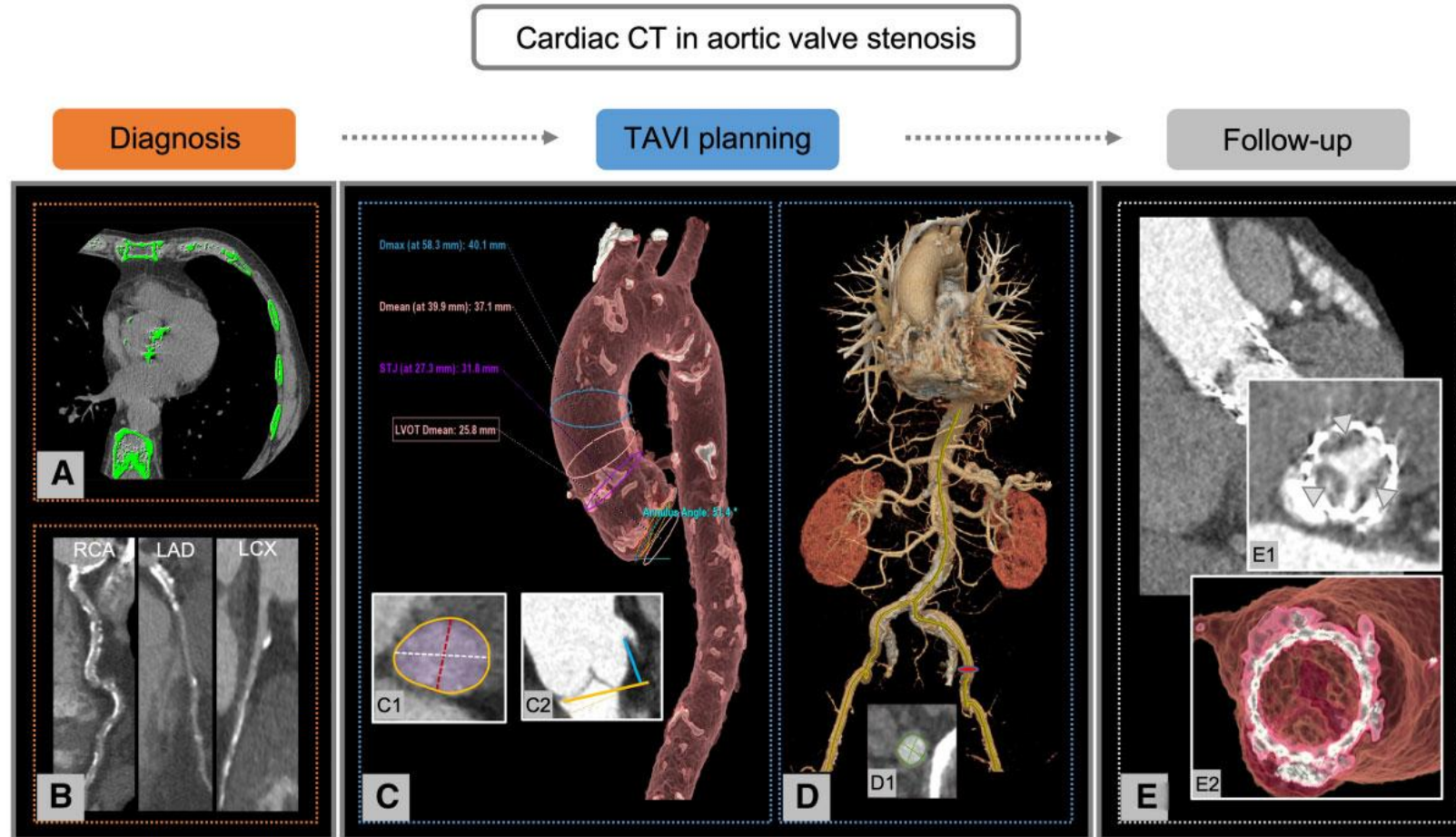
Εφαρμογές αξονικής καρδιάς:

1. Σκορ ασβεστίου σε αμφίβολες περιπτώσεις σοβαρότητας στένωσης βαλβίδας
2. Προεπεμβατικός έλεγχος TAVI
3. Προεπεμβατικός έλεγχος σε επεμβάσεις μιτροειδούς
4. Πριν από ablation κολπικής μαρμαρυγής
5. Πριν από σύγκλιση ωτίου και αποκλεισμό θρόμβου
6. Εκτίμηση επιπλοκών μετά από TAVI





Σύνοψη εφαρμογών αξονικής καρδιάς στην TAVI



1. Εκτίμηση σοβαρότητας στένωσης (σκορ ασβεστίου)
2. Εκτίμηση στενώσεων στεφανιαίων
1. Αορτικός δακτύλιος, απόσταση στεφανιαίων
2. Εκτίμηση πρόσβασης
1. Θρόμβωση, ενδοκαρδίτιδα
2. Εκτίμηση πρόσβασης στεφανιαίων

Pontone et al, 2022 EACVI Consensus Document



SCCT Expert Consensus Statement

Journal of Cardiovascular Computed Tomography 13 (2019) 1–20



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Journal of Cardiovascular Computed Tomography

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jcct



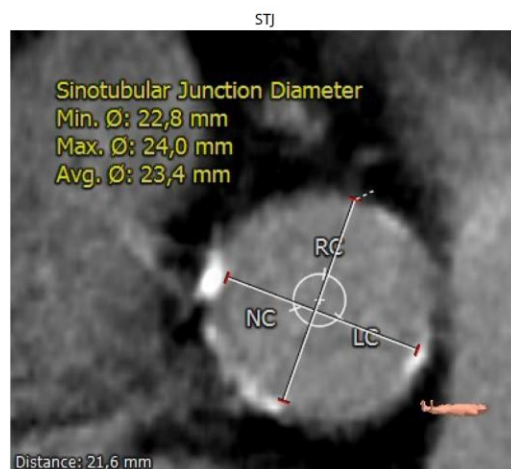
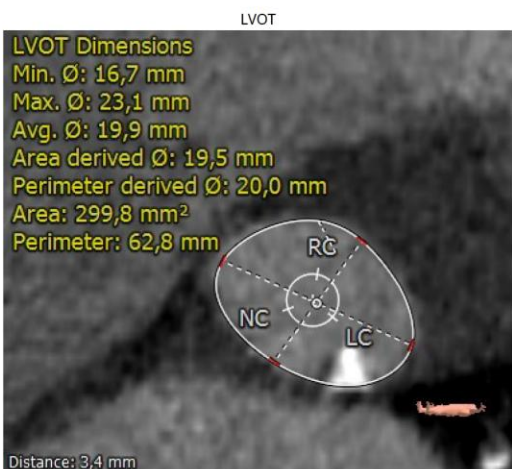
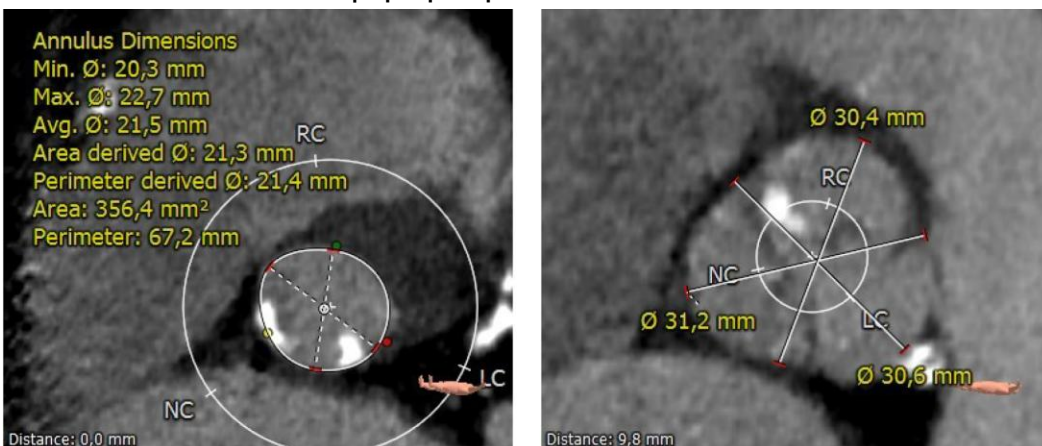
Guidelines

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



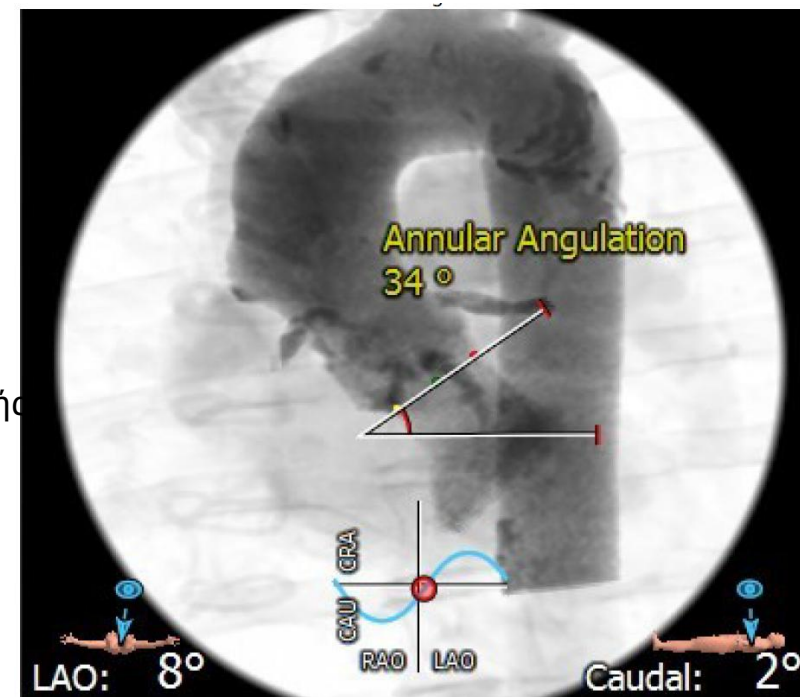
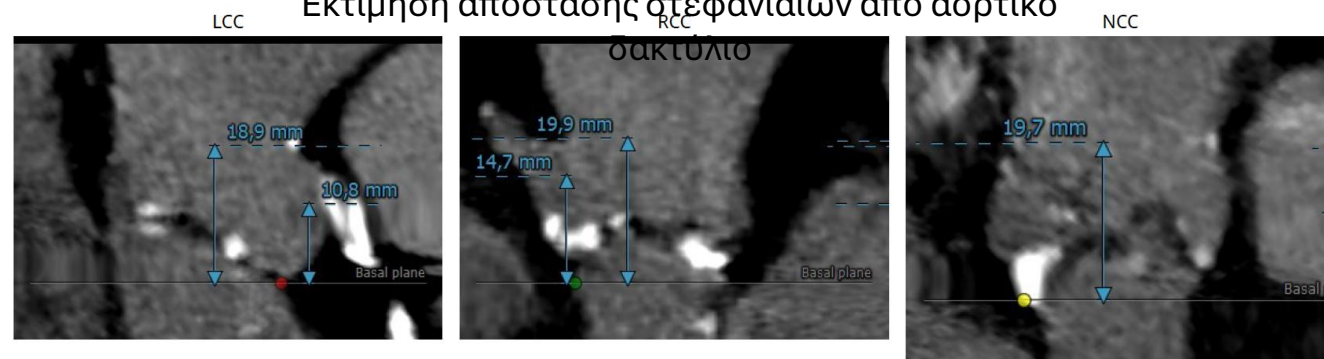
Cardiac CT στην προεπεμβατική εκτίμηση ασθενών για TAVI

Εκτίμηση αορτικού δακτυλίου



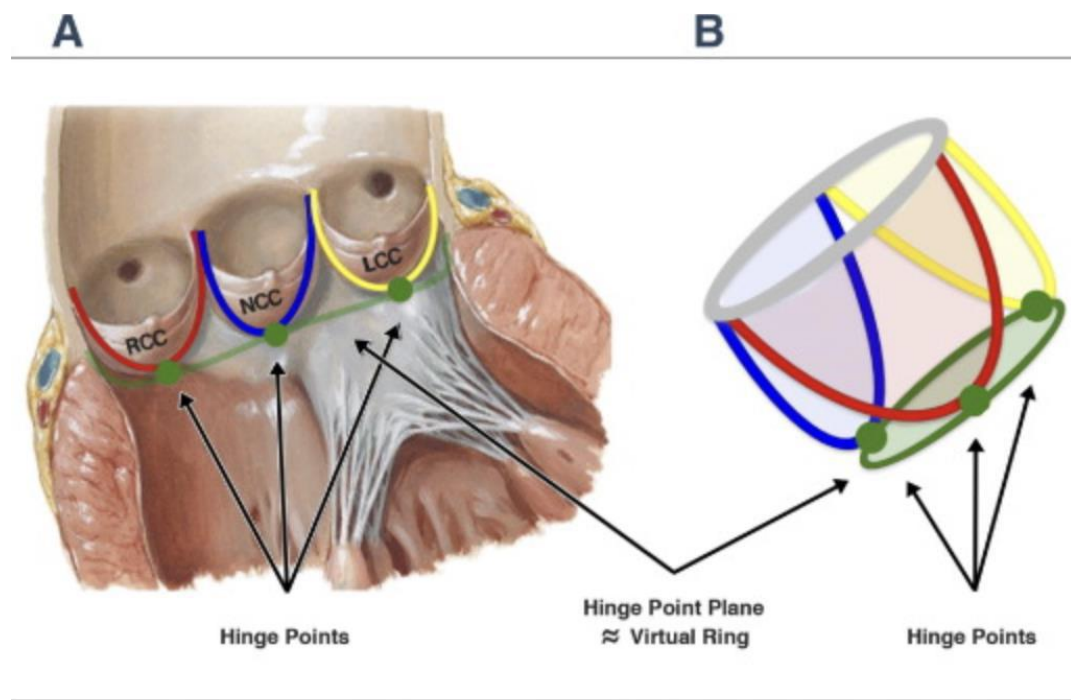
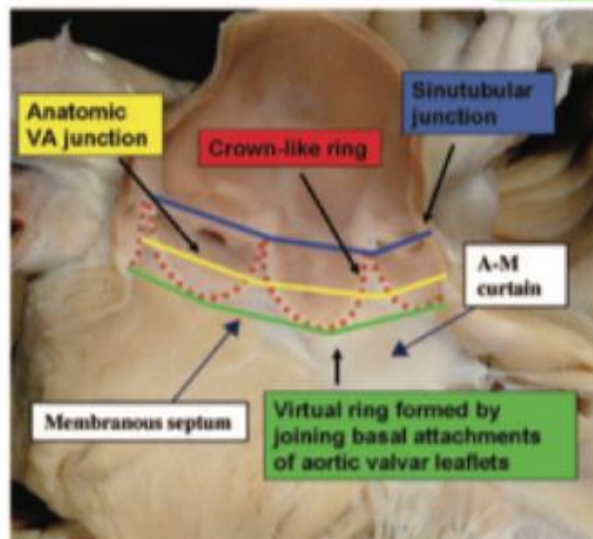
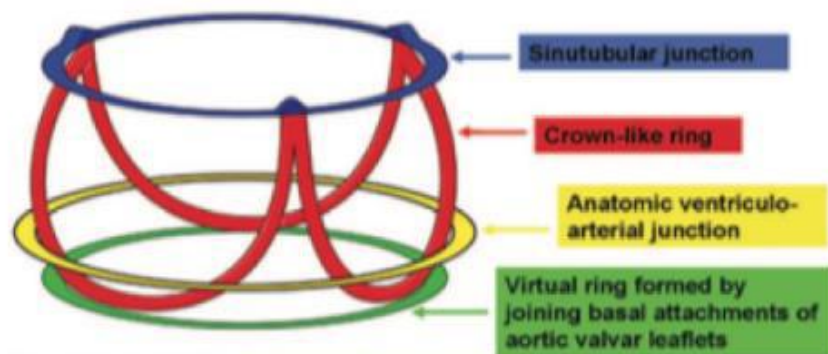
Εκτίμηση γωνίωσης
και κατάλληλης
ακτινοσκοπικής προβολής

Εκτίμηση απόστασης στεφανιαίων από αορτικό δακτύλιο



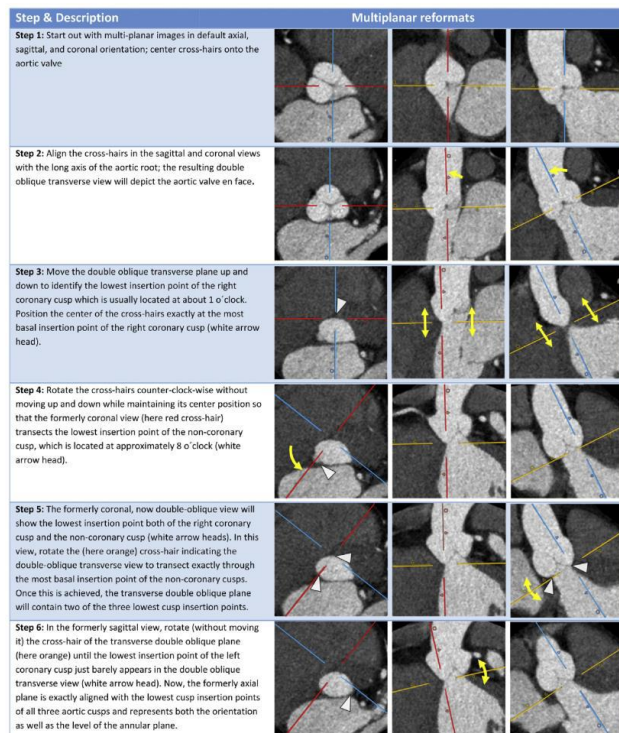


Aortic annulus





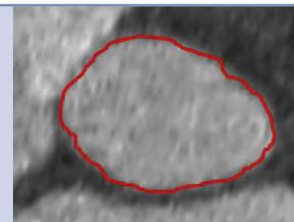
Annulus segmentation & measurements



Step 7: Measurements of aortic annulus dimensions should be performed in the annular plane by means of a contouring tool.

Freehand tool or Hounsfield-based Contour detection

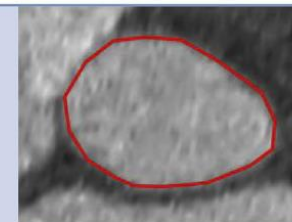
Non-smoothened, irregular line following path of cursor or detected attenuation threshold



Systematic overestimation of perimeter due to non-smoothened contour; Smoothing algorithms, can allow for more realistic perimeter assessment.

Polygon

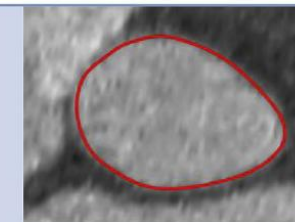
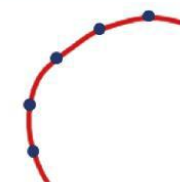
Manual placed segmentation points connected by straight line without interpolation



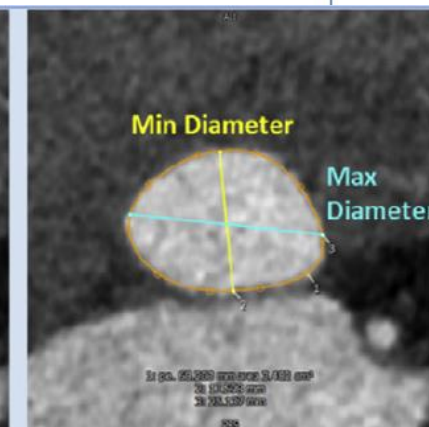
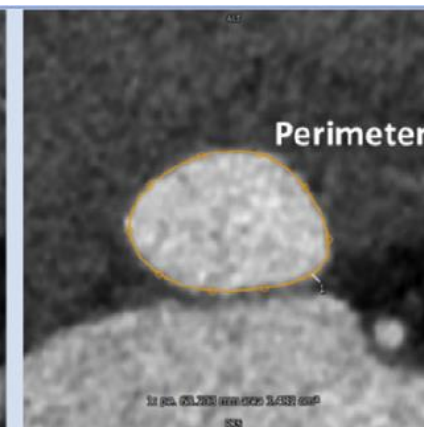
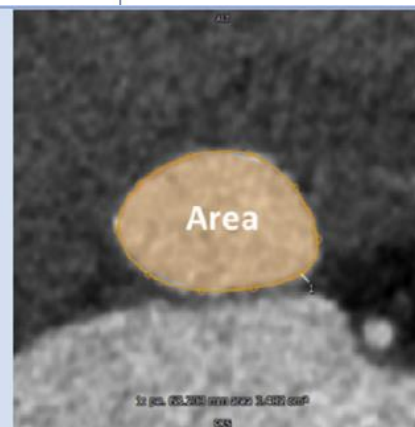
Depending on the number of dots, this may yield a closer estimate of perimeter than freehand contouring without smoothing

Spline

Manual placed segmentation points connected by a cubic spline interpolation – 'elastic ruler'

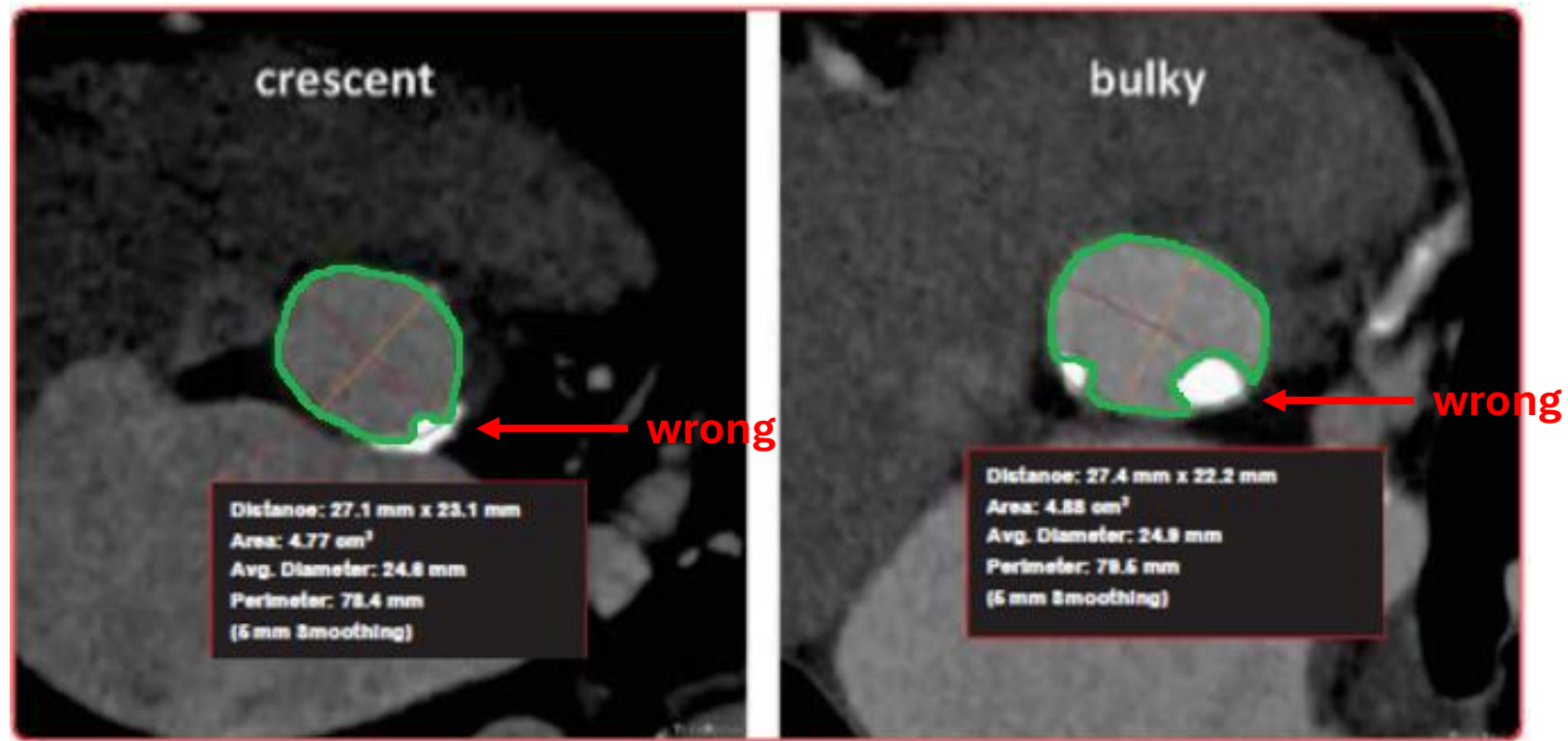


Accurate quantification of annular perimeter





Annulus measurements





Sizing charts – Sapien 3 & Evolut

FIGURE 2 Sizing Chart for the Edwards SAPIEN 3 Transcatheter Heart Valve

The diagram illustrates the SAPIEN 3 valve structure and its key dimensions. On the left, a 3D perspective view of the valve is shown with labels for 'Outer Skirt', 'Inner Skirt', and 'Valve Height'. On the right, a top-down cross-sectional view shows the 'Diameter' and 'Area' of the valve. A legend indicates that a double-headed arrow represents 'Diameter' and a shaded blue area represents 'Area'.

SAPIEN 3	23	26	29
----------	----	----	----

Effective Orifice Area [cm ²]	2.11	2.30	2.59
---	------	------	------

Valve Height [mm] <i>Crimped / Expanded</i>	24.5 / 18	27 / 20	31 / 22.5
--	-----------	---------	-----------

Foreshortening [mm]	6.5	7	8.5
---------------------	-----	---	-----

Inner Skirt Height [mm]	9.3	10.2	11.6
-------------------------	-----	------	------

Outer Skirt Height [mm]	6.6	7.0	8.1
-------------------------	-----	-----	-----

Sheath Size [F]	14	14	16
-----------------	----	----	----

Vessel Size [mm]	≥5.5	≥5.5	≥6.0
------------------	------	------	------

CT-Annulus-Size	Mean Diameter <i>diast.**</i> [mm] <i>syst.***</i>	<i>nominal</i> 20.5–23	+ 2 ml* – 24	<i>Balloon-Sizing****</i> 23mm	<i>nominal</i> 23–26	+ 3 ml* – 27.5	<i>Balloon-Sizing****</i> 25mm	<i>nominal</i> 26–29	+ 4 ml* – 31
			20.7–23.4					23.4–26.4	

Area <i>diast.**</i> [mm ²] <i>syst.***</i>	330–415	– 450	415–530	– 593	530–661	– 740
	338–430		430–546		540–683	

*Overexpansion **Diastolic Sizing ***Systolic Sizing recommendation by manufacturer ****Borderline Annulus Sizes

Valve Size Selection	Evolut™ PRO Bioprosthesis			Evolut™ R Bioprosthesis
				
Size	23 mm	26 mm	29 mm	34 mm
Annulus Diameter (A)	17*/18–20 mm	20–23 mm	23–26 mm	26–30 mm
Annulus Perimeter†	53.4*/56.5–62.8 mm	62.8–72.3 mm	72.3–81.7 mm	81.7–94.2 mm
Sinus of Valsalva Diameter (Mean) (B)	≥25 mm	≥27 mm	≥29 mm	≥31 mm
Sinus of Valsalva Height (Mean) (C)	≥15 mm	≥15 mm	≥15 mm	≥16 mm

*Measurement for TAV-in-SAV only. † Annulus Perimeter = Annulus Diameter x π
NOTE: Evolut PRO valve size selection is identical to Evolut™ R valve size selection criteria

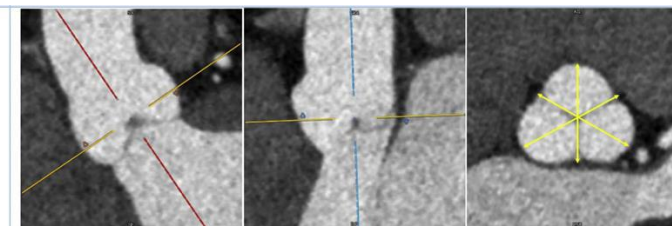


Aortic Root measurements dependent of the annulus

Item	Multiplanar reformats
Left Coronary Height The left coronary height is obtained by measuring with a caliper tool [mm] perpendicularly from the annular plane to the lower edge of the LCA ostium.	
Right Coronary Height The right coronary height is obtained by measuring with a caliper tool [mm] perpendicularly from the annular plane to the lower edge of the RCA ostium.	
Sinotubular Junction Height The sinotubular junction height is obtained by measuring with a caliper tool [mm] perpendicularly from the annular plane to the lowest point of the sinotubular junction.	

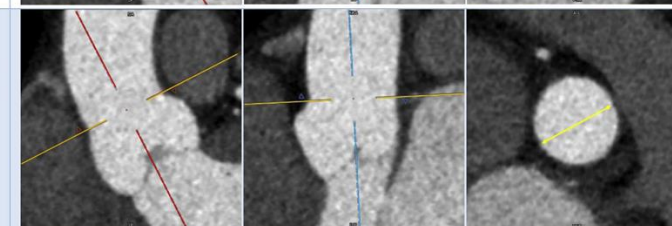
Sinus of Valsalva Diameter

The sinus of Valsalva Diameter is assessed on a transverse double oblique plane at its widest dimensions with the plane commonly kept in parallel with the annular plane; three cusp to commissure distance measurements are taken; in case of symmetric dimensions, the final reported value is the average of these three [mm].



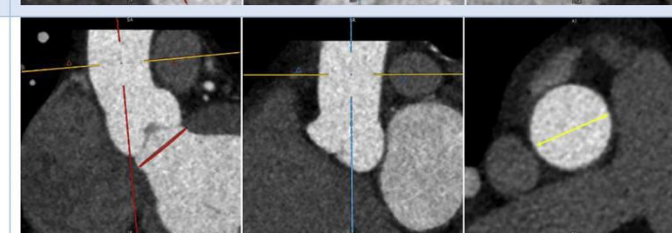
Sinotubular Diameter

The sinotubular diameter is measured on a transverse, double oblique plane which is aligned with the sinotubular junction and commonly not parallel to the annular plane; a single diameter measurement [mm] is taken.



Ascending Aorta Diameter

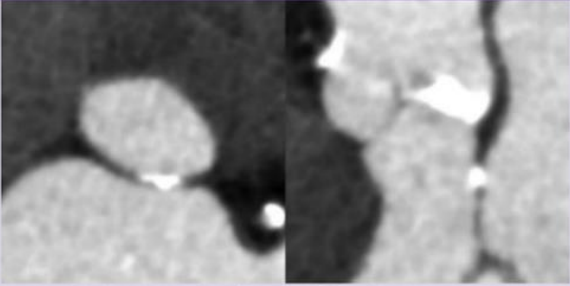
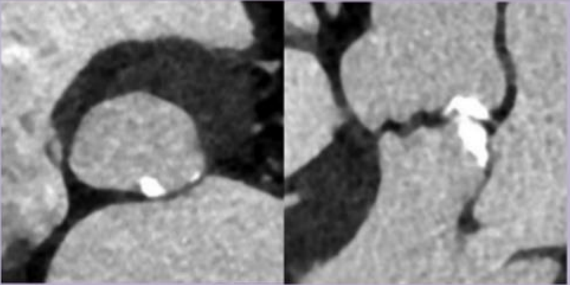
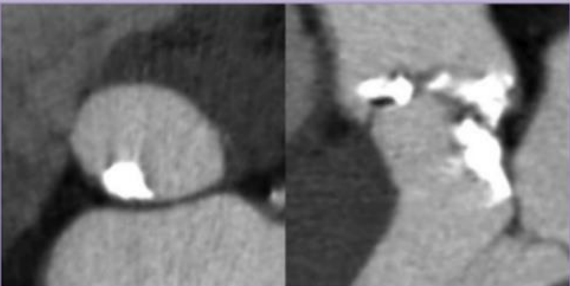
The ascending aorta diameter is measured on a transverse, double oblique plane which is oriented perpendicular to the long axis of the ascending aorta, either at the level of greatest width, or at the level of the main pulmonary artery (default); a single diameter measurement [mm] is taken.





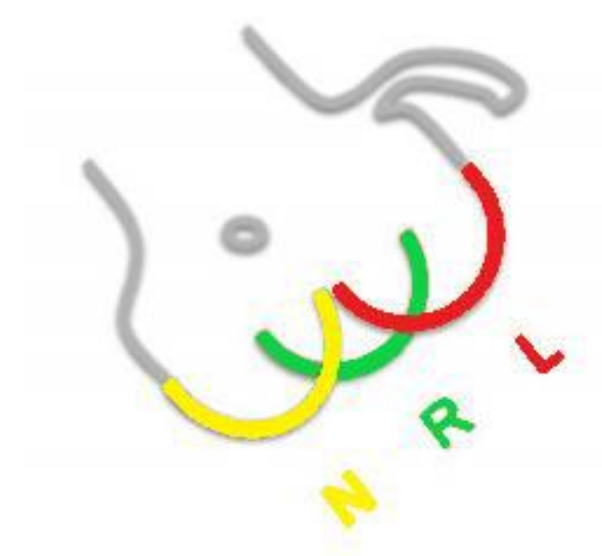
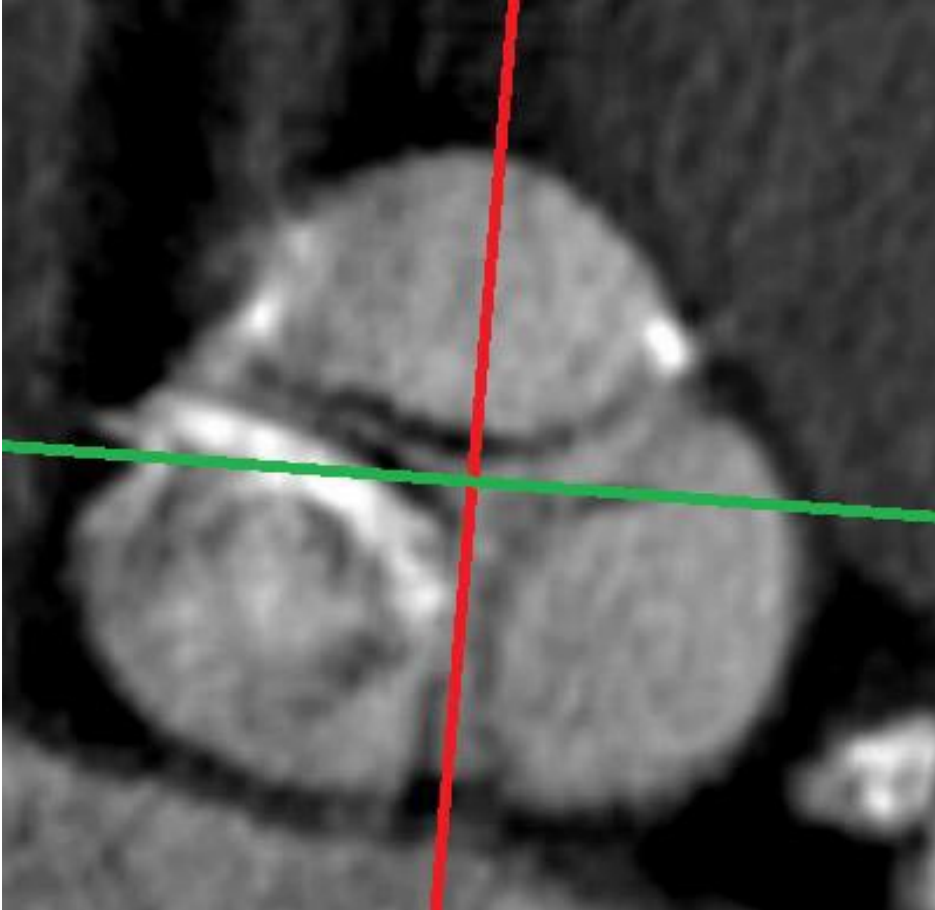
Landing zone – LVOT evaluation

- Degree of Annular & LVOT calcification
 - Nodularity
 - Extension circumferential or to LVOT
 - Eccentricity
- Graded (mild, moderate, severe)

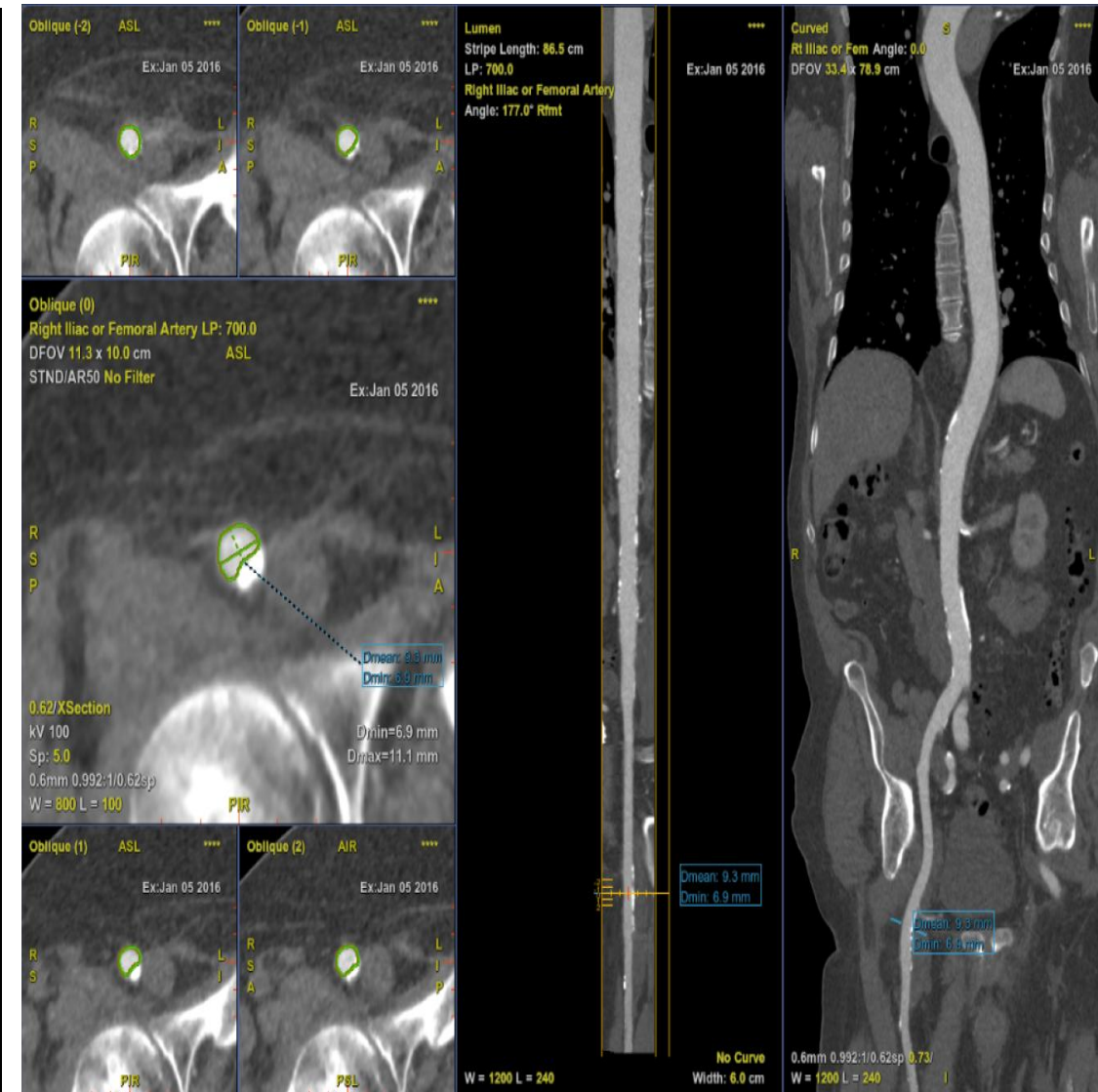
Grade	Examples	
Mild	Single, adherent, non-protruding focus of calcification	
Moderate	Two or more nodules of calcification or a single nodule with limited protrusion into the annular/subannular lumen	
Severe	Single or multiple nodules of calcification, protruding into the annular lumen, and/or extending into the LVOT.	



Fluoroscopic angle



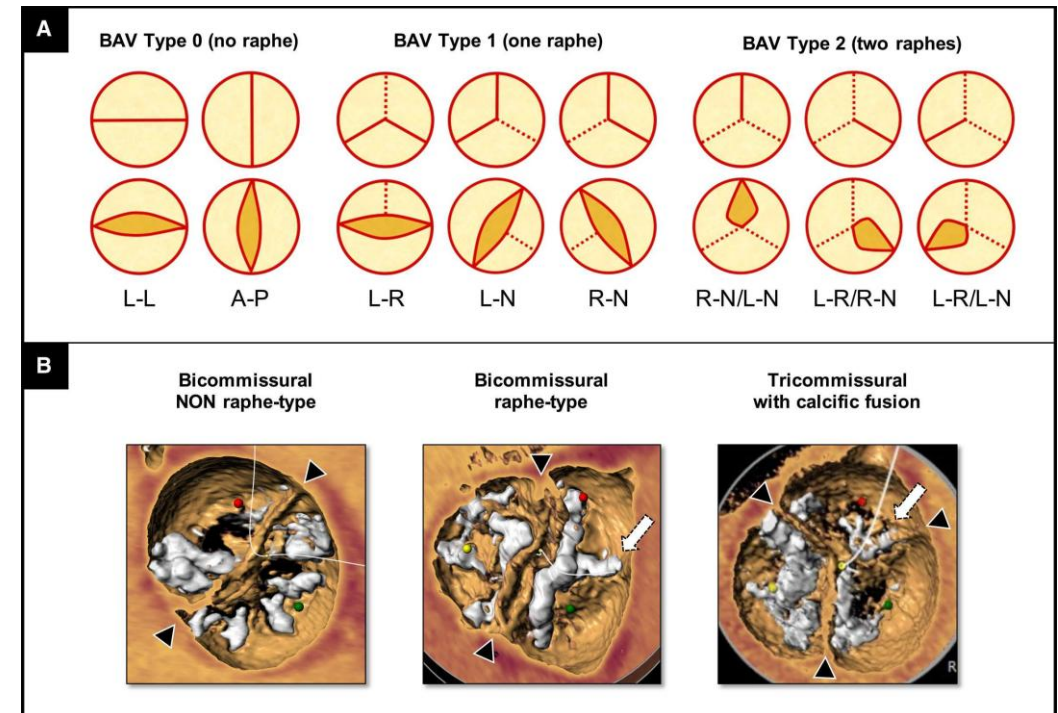
Cardiac CT για εκτίμηση πρόσβασης στην TAVI





Bicuspid aortic valve

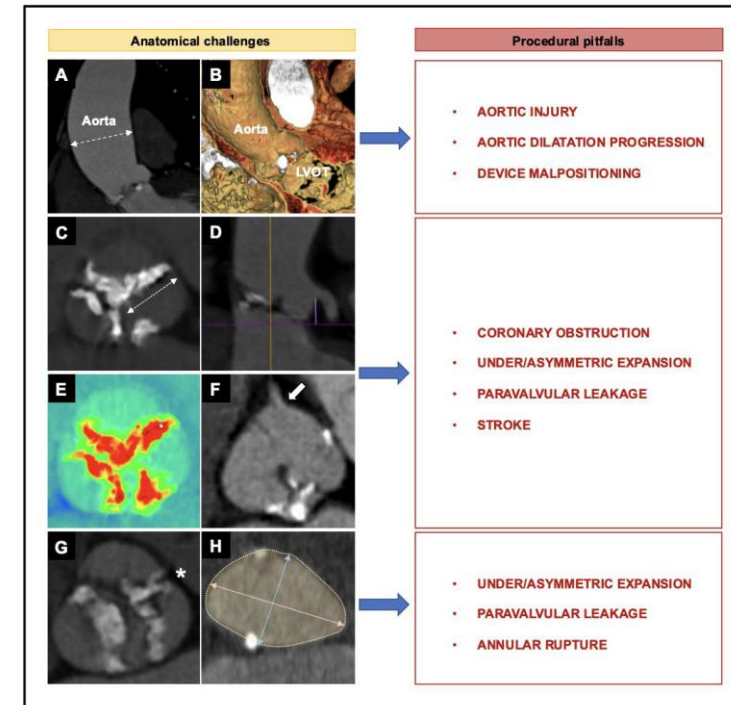
- Anatomic considerations:
 - Larger annulus typically
 - More elliptical annulus
 - Variable raphe configuration
- Sievers classification
- TAVR-based classification
 - Bi- or tri-commissural
 - Presence of raphe





Procedural implications in BAV

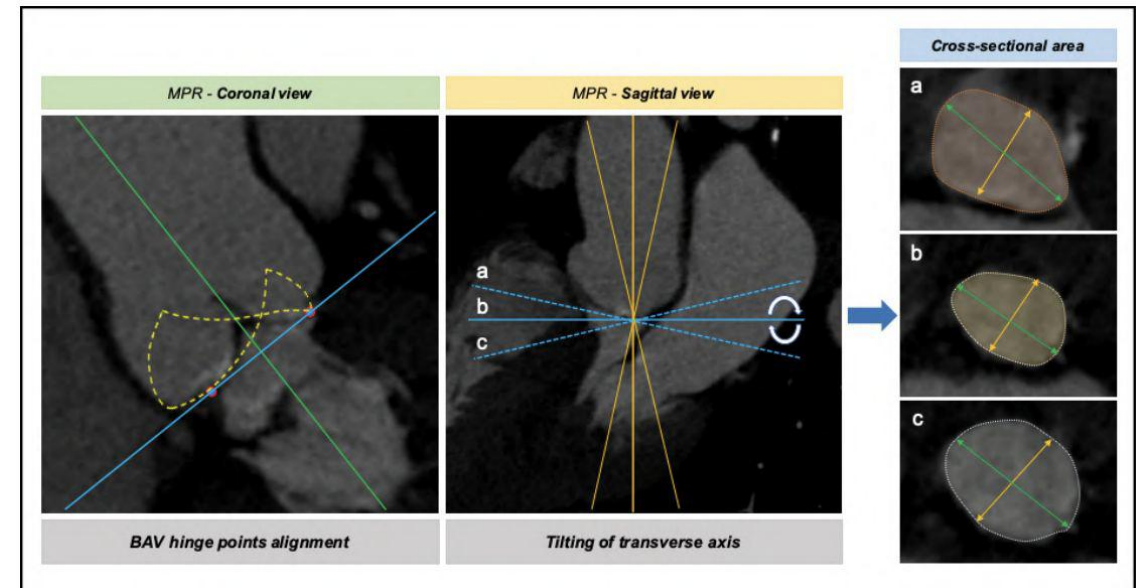
- Dilated or horizontal aorta
- Long raphe Low coronaries
- Dense leaflet Ca++ Coronary ostium near commissure
- Calcified raphe LVOT Ca++





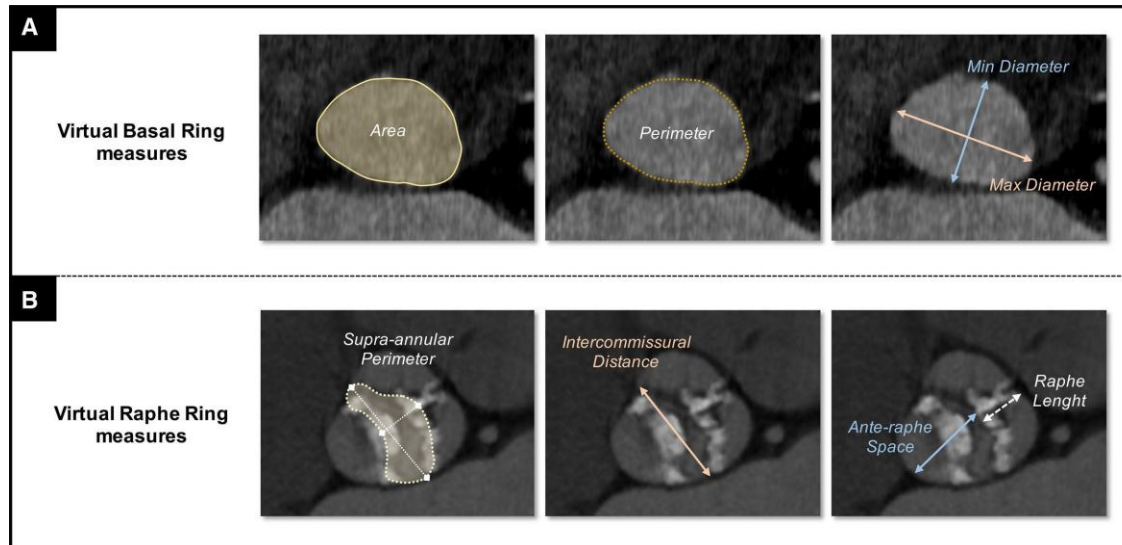
Annulus measurements in BAV

- In BAV without raphe, the definition of a 3-dimensional structure (ie, the VBR) is challenging because of the presence of only 2 anatomic hinge points. Manual multislice CT assessment of annulus should be chosen over automatic detection since it is more accurate in alignment of the cusps
- In bicommissural raphe-type and in tricommissural BAV, the VBR definition is more accurate as 3 cusps are easily recognizable. Nevertheless, the detection of the cusps nadir might be difficult because of their typical unequal size





Methods of BAV valve sizing



Annular sizing preferred if no raphe

- Predictors of THV under-expansion:
 - Raphe length > 50% diameter
 - Ca++ volume > 300 mm³



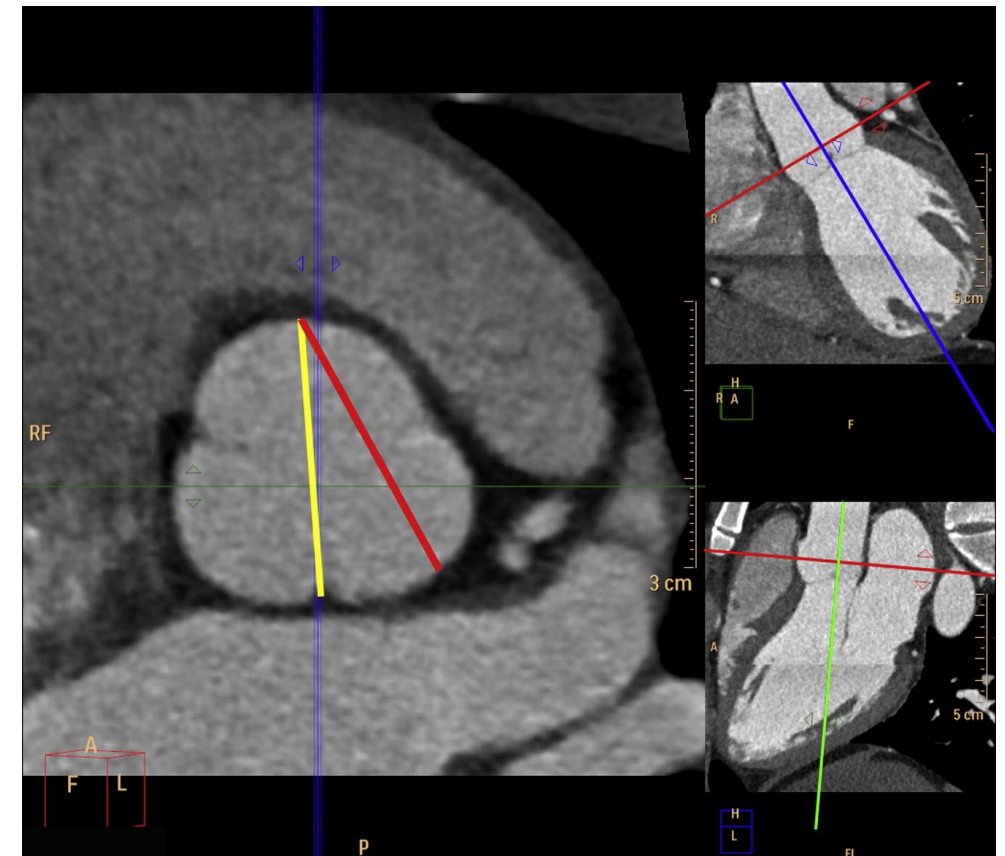
Μέτρηση διαστάσεων αορτής

- Που μετράμε:
 - Αορτική ρίζα – κόλποι Valsalva
 - Κολποσωληνώδης συμβολή
 - Ανιούσα αορτή (στη μεγαλύτερη διάμετρο από SJ έως έκφυση βραχιοκεφαλικής)
 - Αορτικό τόξο (συνήθως μεταξύ βραχιοκεφαλικού και αριστερής καρωτίδας)
 - Κατιούσα θωρακική αορτή (μετά την έκφυση αριστερής υποκλειδίου και πριν την είσοδο στο διάφραγμα)



Πως μετράμε – αορτική ρίζα

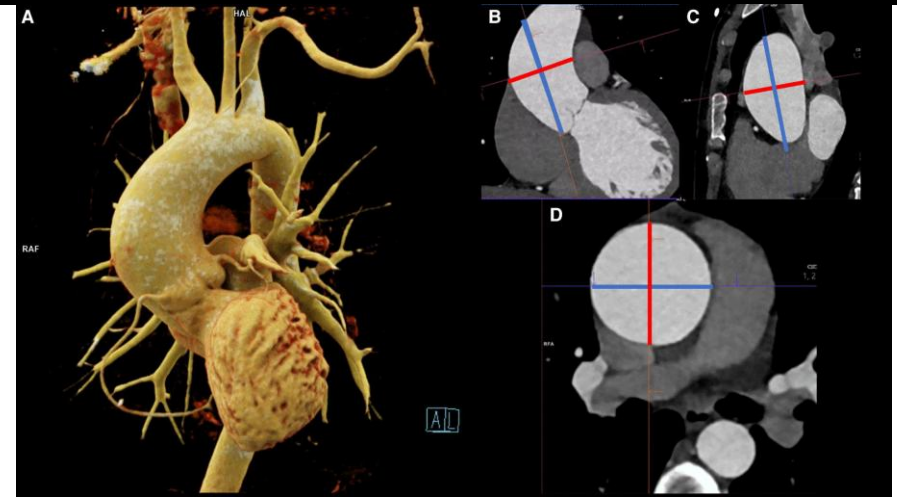
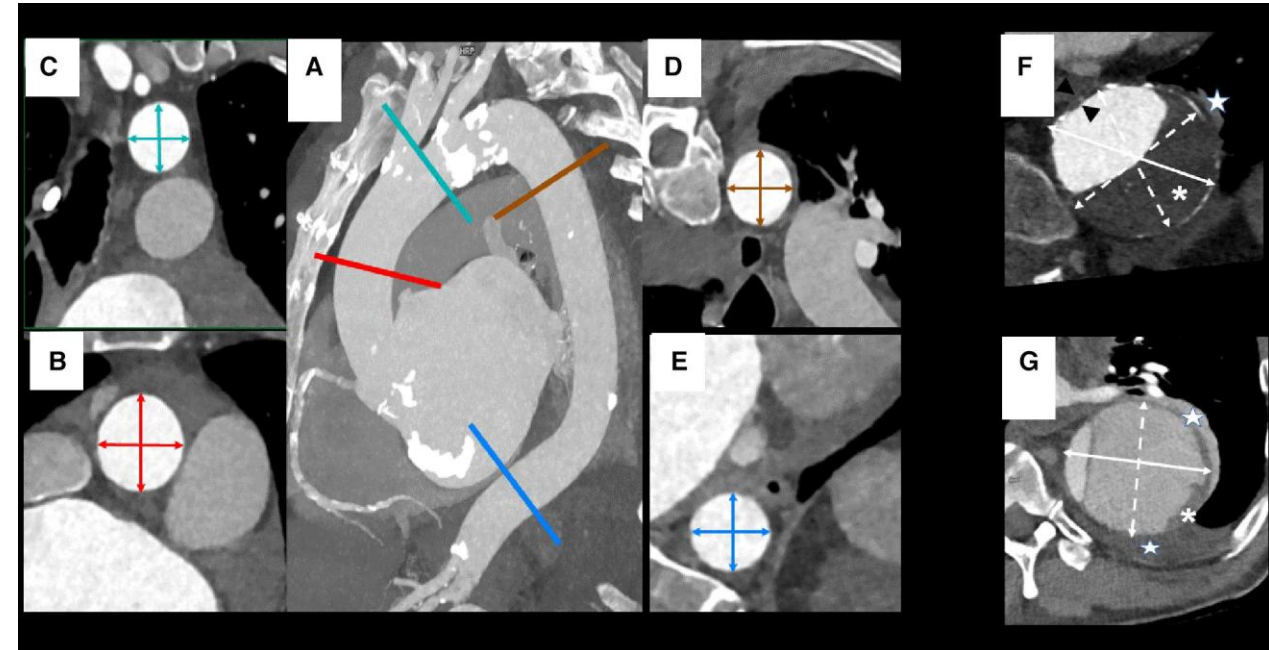
- Inner edge to inner edge
- Sinus to sinus
- or
- Sinus to commissure
- (sinus to sinus recommended)



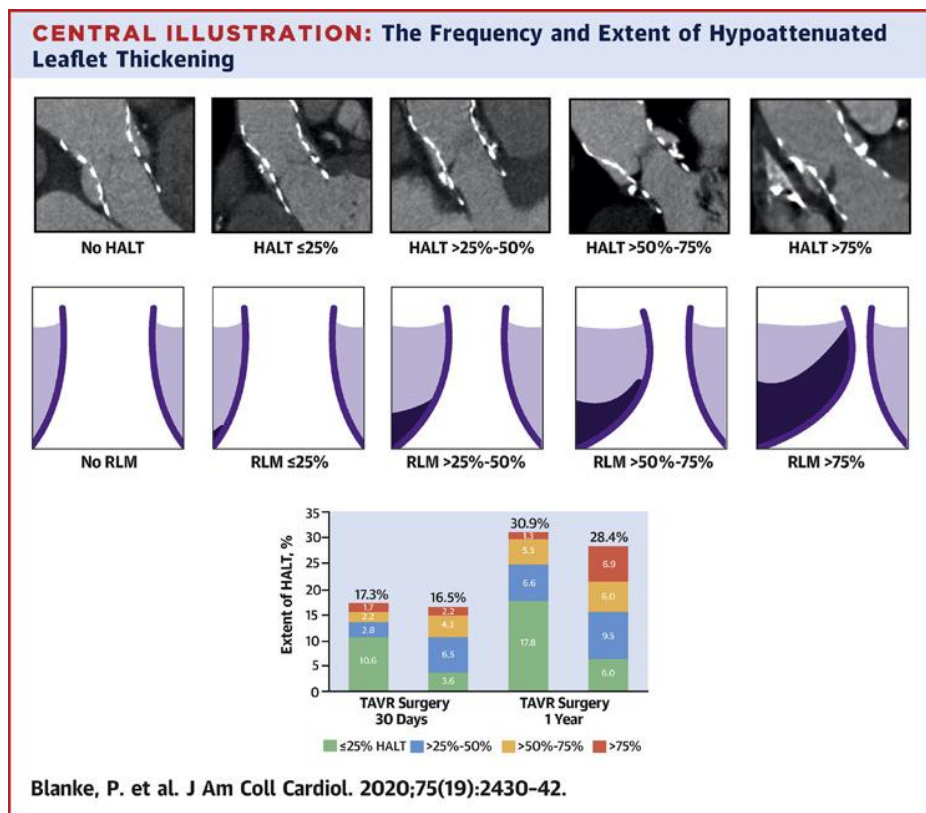


Πως μετράμε – λοιπά σημεία

- Πολυεπίπεδες ανασυνθέσεις
- Πάντα κάθετα στον άξονα της αορτής!

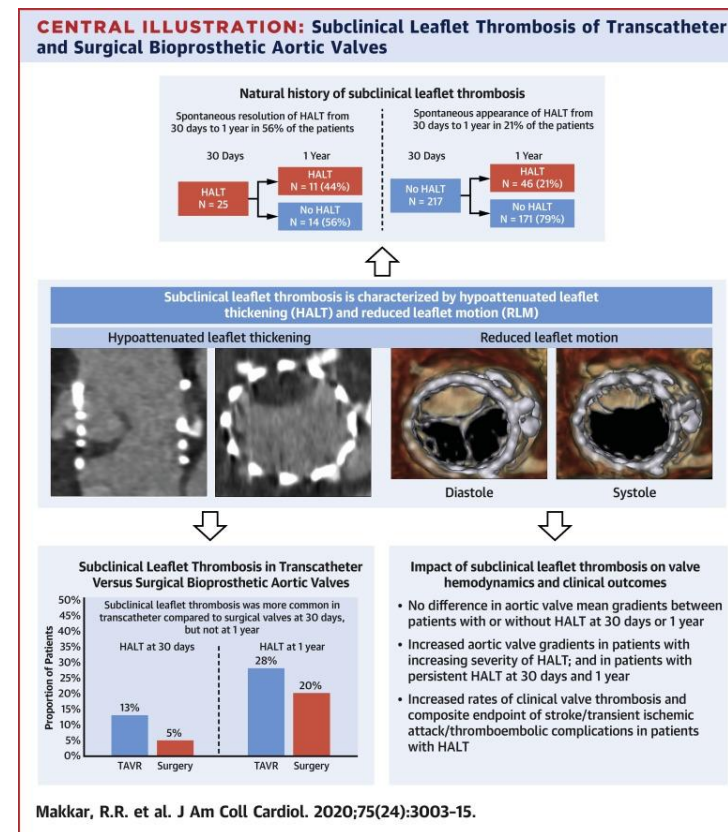


Cardiac CT post-TAVI. HALT assessment



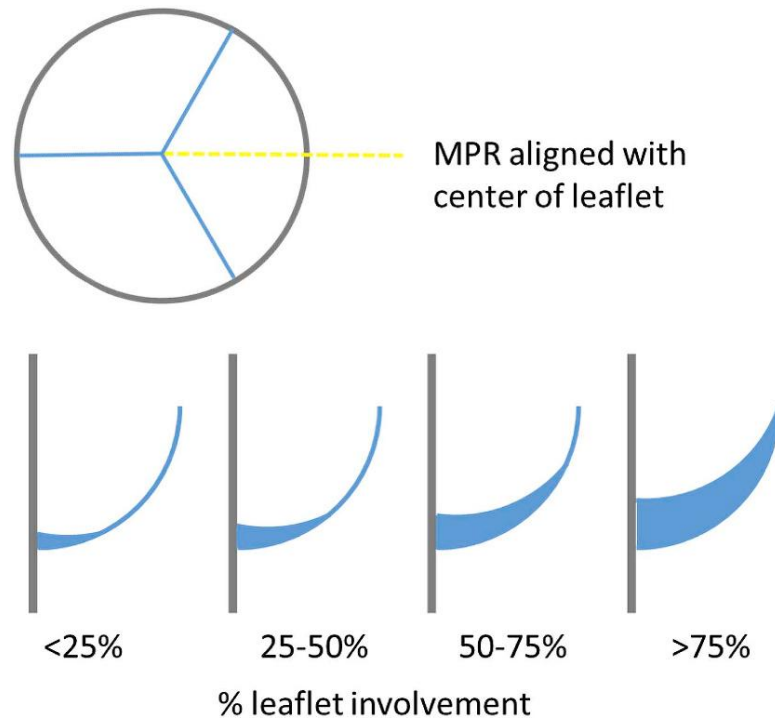
HALT presence TAVR vs Surgery in Evolut low risk Study

Blanke et al JACC 2020
Makkar et al JACC 2020

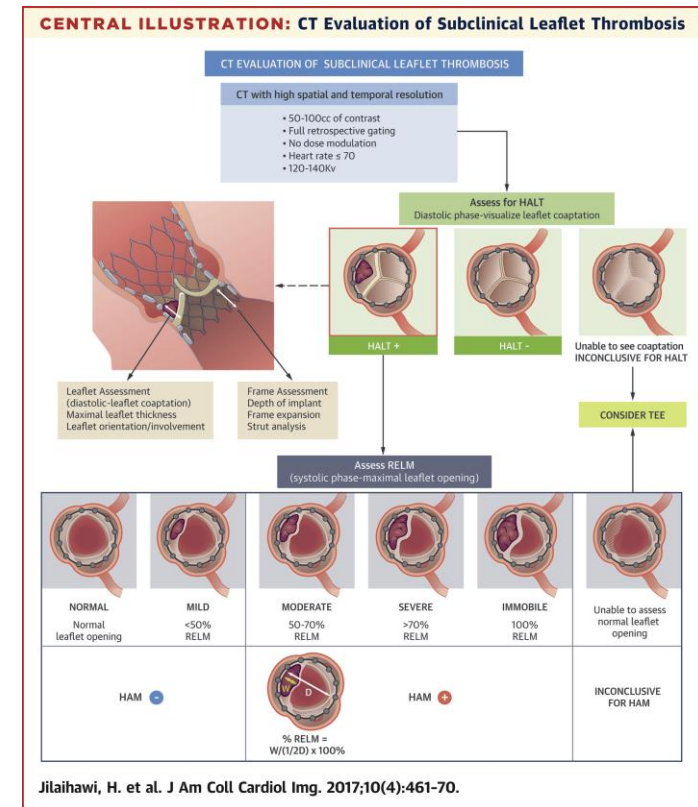


HALT presence TAVR vs Surgery in Partner 3 Study

Subclinical leaflet thrombosis assessment post TAVI

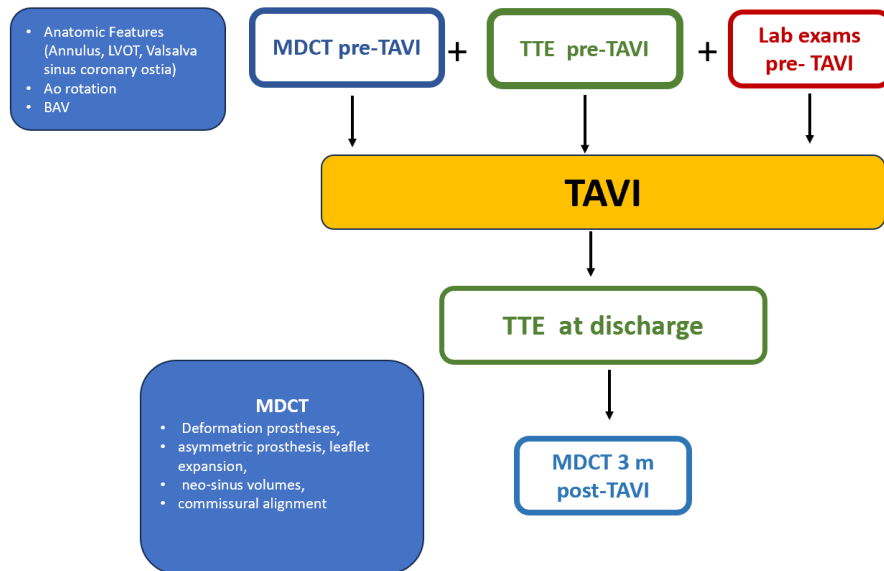


SCCT consensus document for pre-TAVR CT assessment 2019



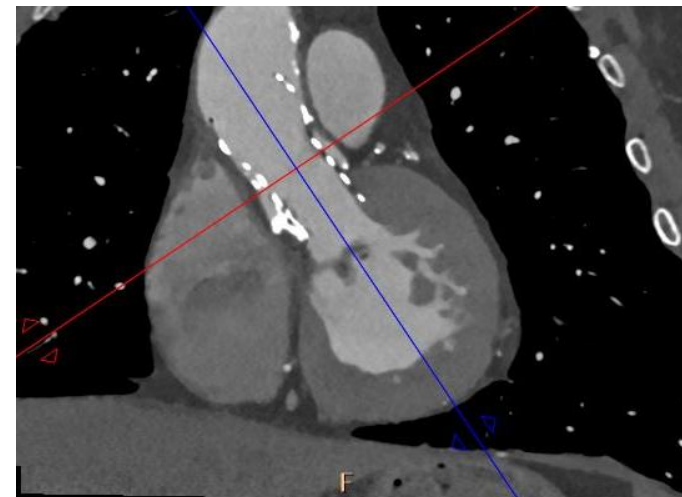
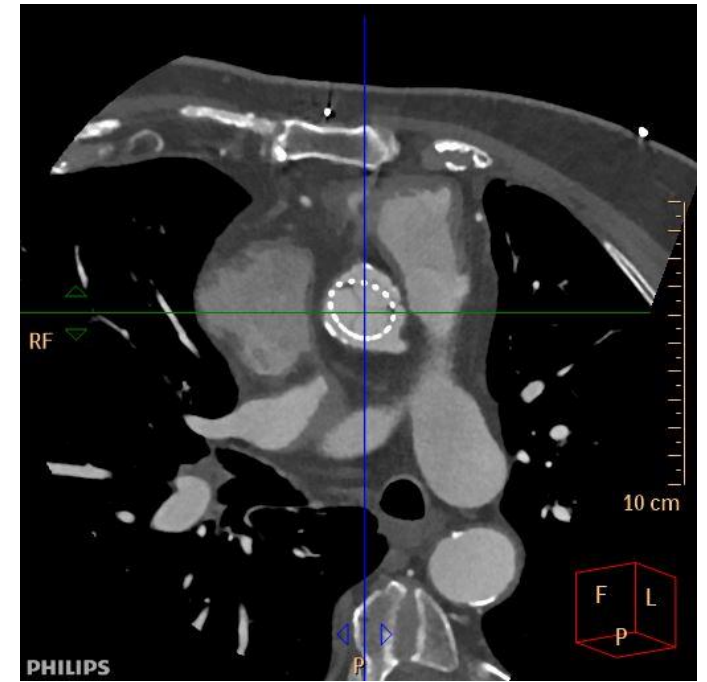
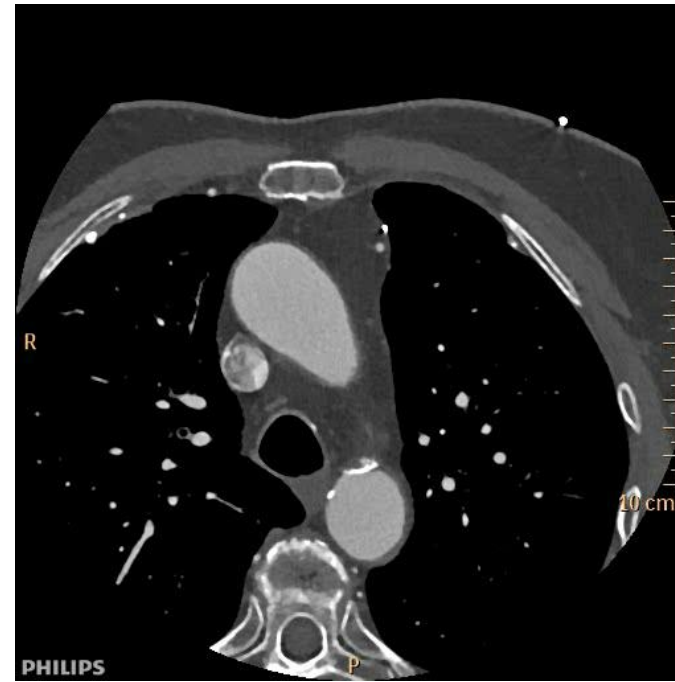
Jilaihawi et al JACC Img 2017

Cardiac CT post-TAVI. HALT assessment



Courtesy of Dr Dri

Correlation of HALT presence with periprocedural challenges

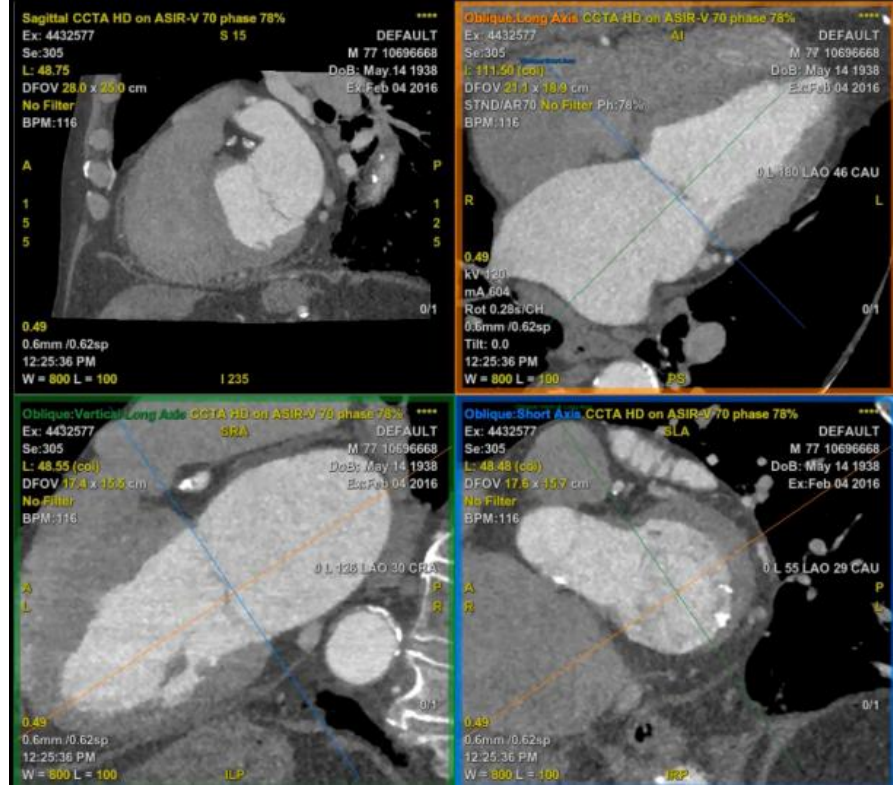




Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας -δομικές καρδιοπάθειες



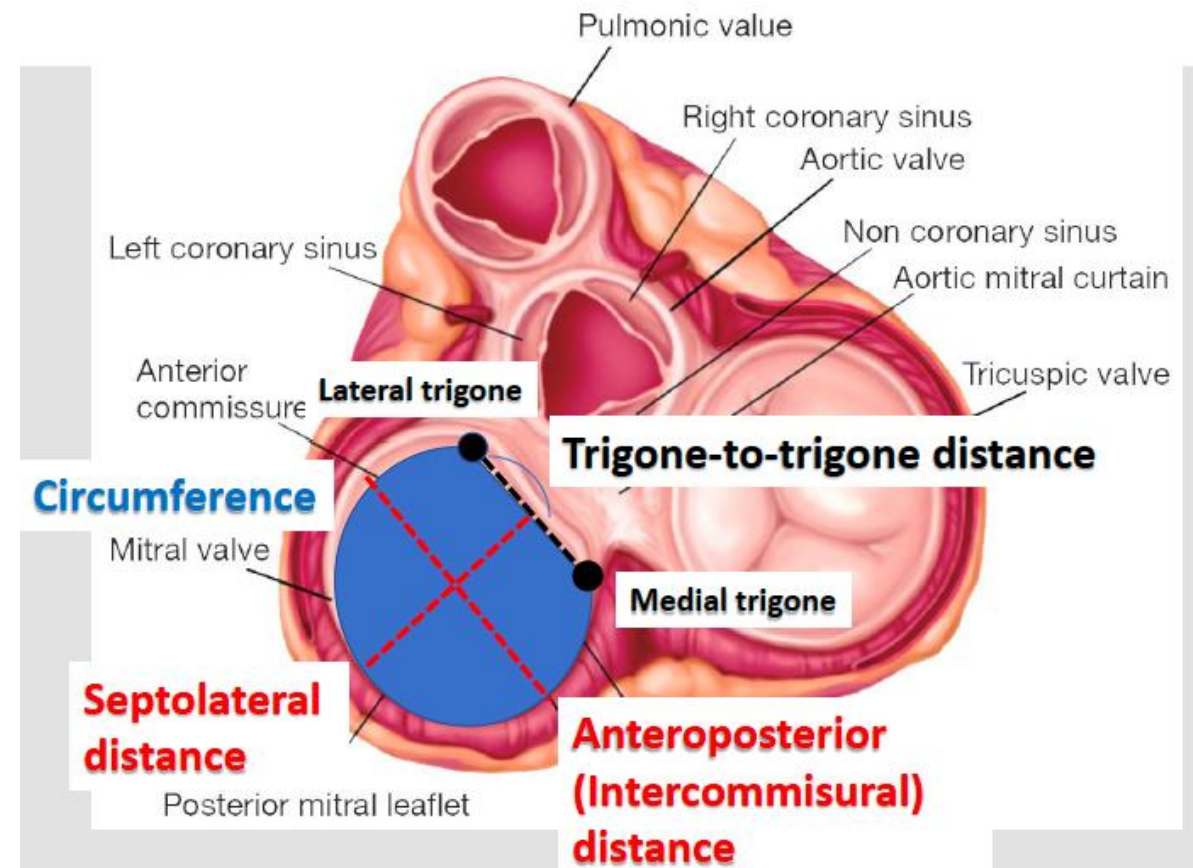
- Βασικές αρχές
- Εκτίμηση βαλβιδοπαθειών
 - Αορτικής βαλβίδας & Παθολογία αορτής
 - **Μιτροειδούς βαλβίδας**
 - Πνευμονικής βαλβίδας
 - Τριγλώχινας βαλβίδας
- Άλλες δομικές καρδιοπάθειες
- Συμπεράσματα



Cardiac CT pre mitral interventions

What do we measure:

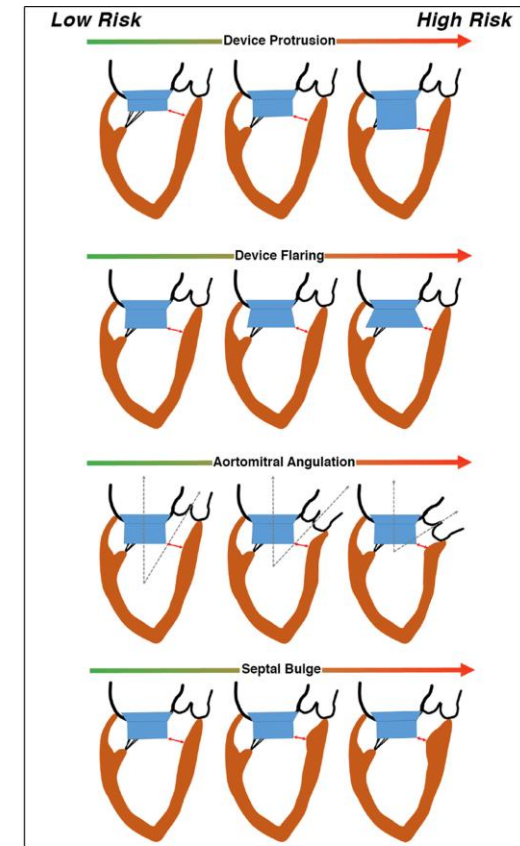
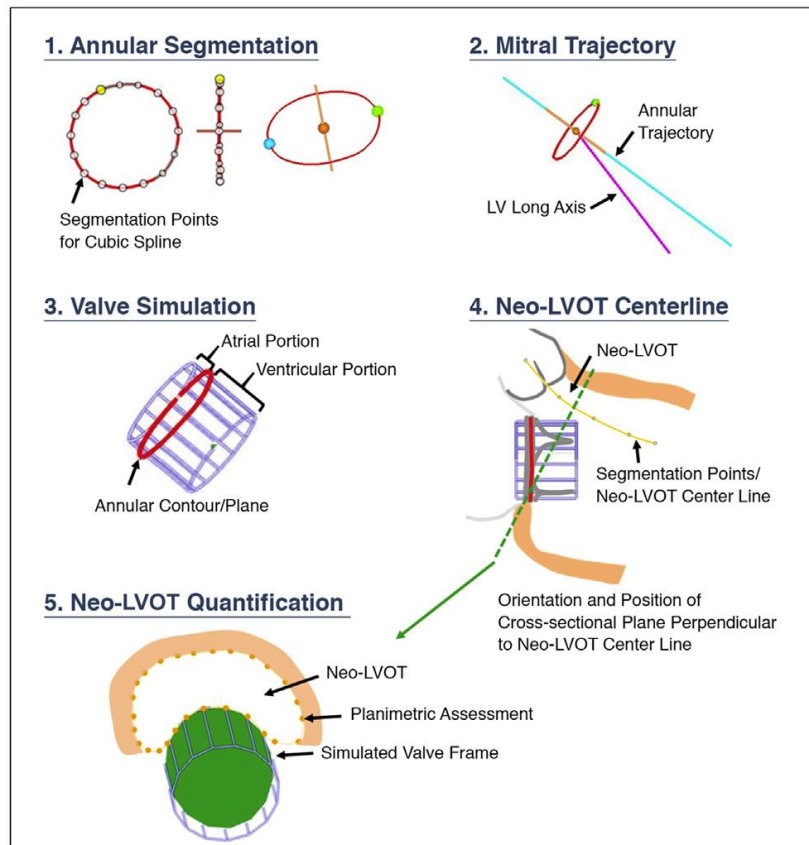
1. Mitral annulus
2. neo-LVOT evaluation (favorable $>200\text{mm}^2$ at end-systole)
3. Aortomitral angle
4. Access evaluation (transapical – transseptal)
5. Fluoroscopy angle





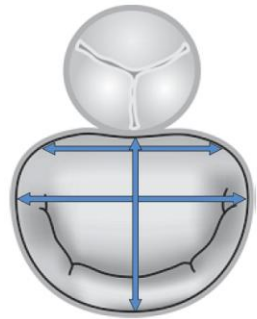
Cardiac CT pre mitral interventions

The concept of neo-LVOT

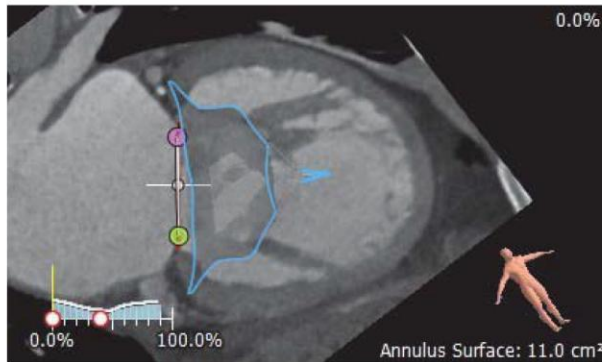
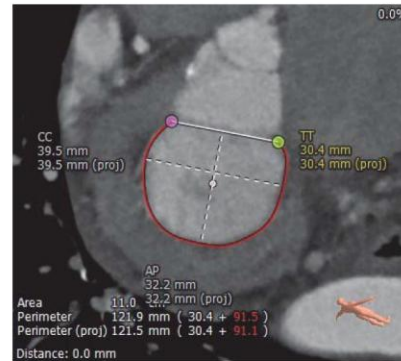


CT and TMVI- Tendyne valve

End Diastole Annulus Dimensions

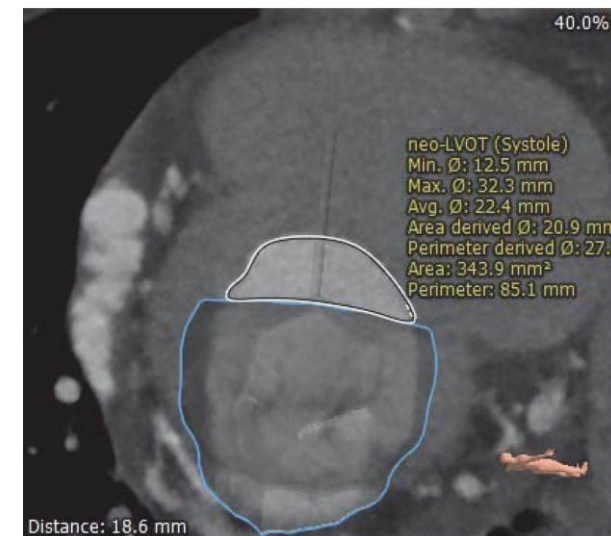
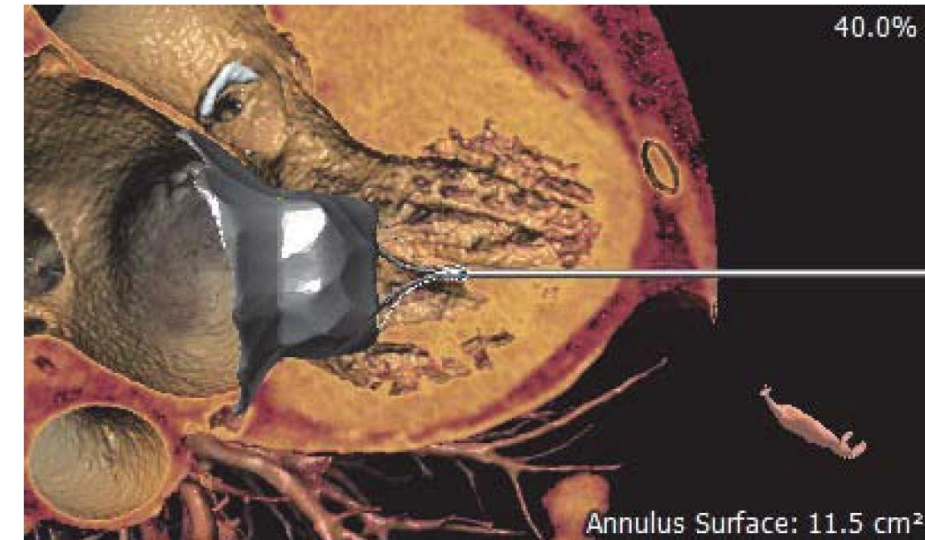


Trigone to Trigone (Projected): 30.4 mm
 Custom Distance (Projected): 39.5 mm
 Anterior to Posterior (Projected): 32.2 mm
 Perimeter (Projected): 121.5



Page 4 of 10

3mensio Structural Heart 10.1 SP2

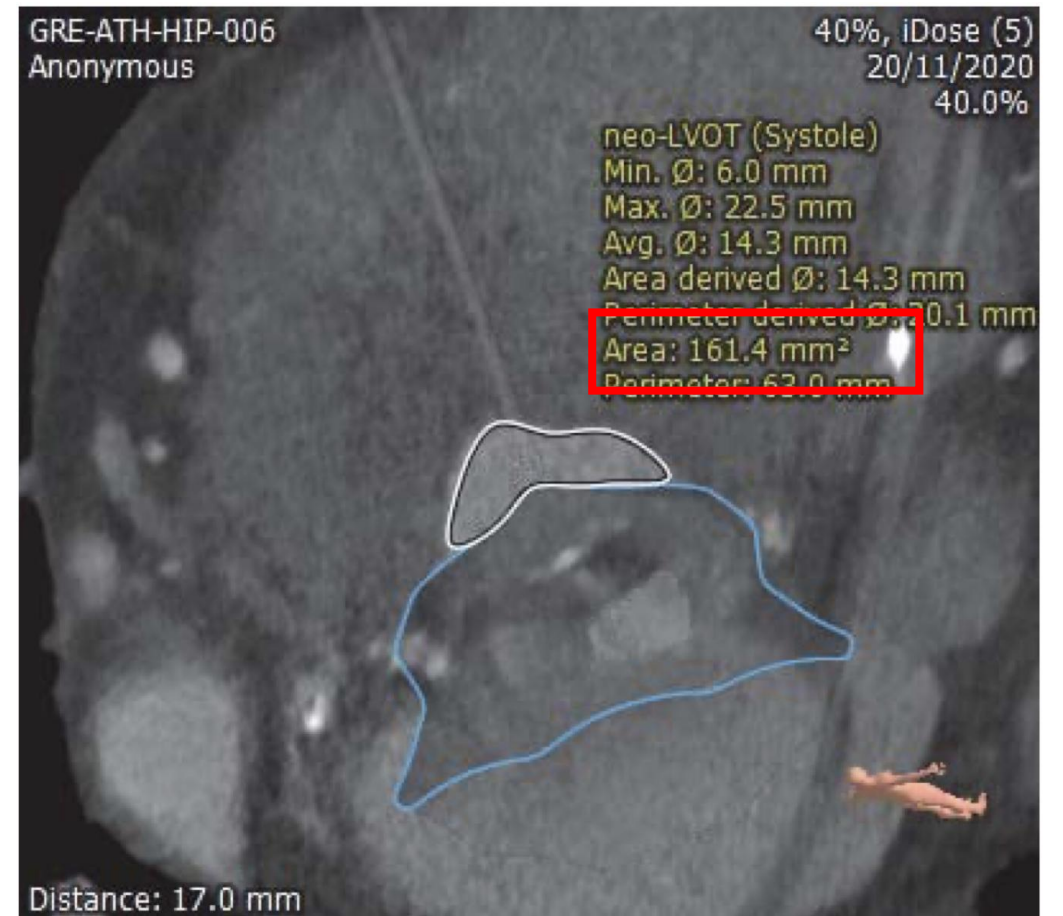
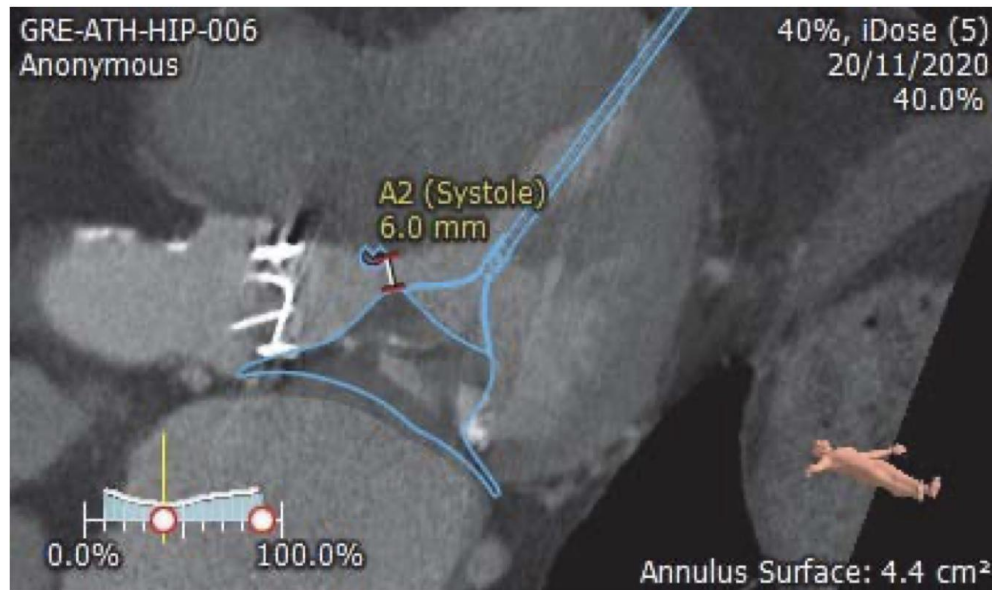


Screen success



ΑΕΥΚΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ
 The Athens Clinic

CT and TMVI- Tendyne valve



Screen failure. Small
neo-LVOT





Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας -δομικές καρδιοπάθειες

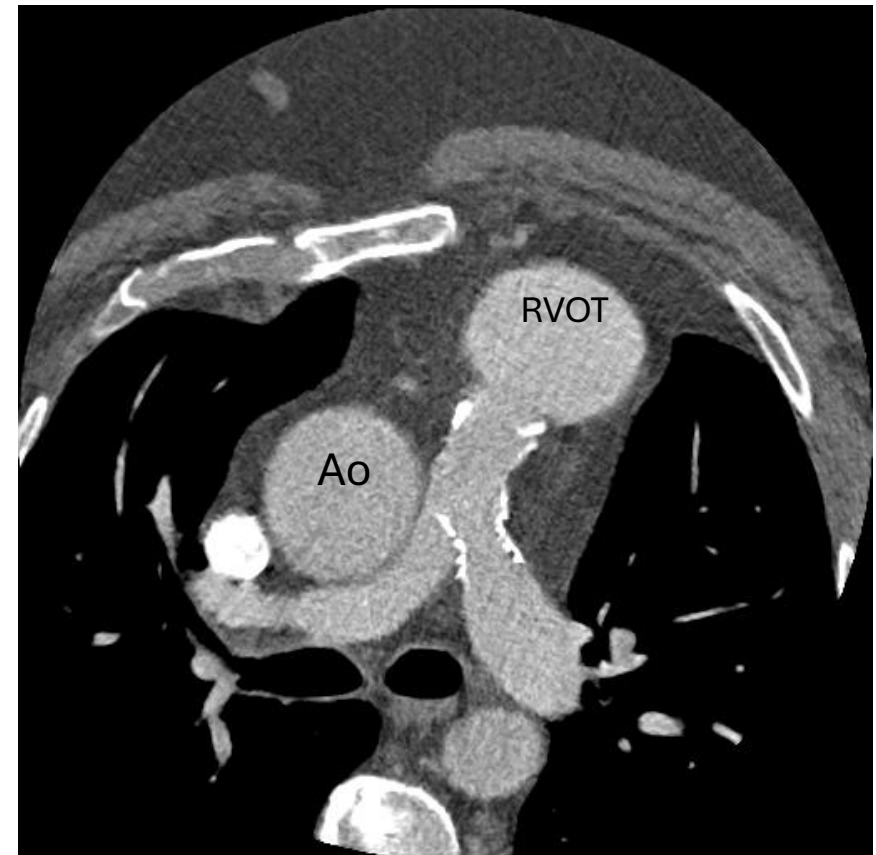


- Βασικές αρχές
- **Εκτίμηση βαλβιδοπαθειών**
 - Αορτικής βαλβίδας & Παθολογία αορτής
 - Μιτροειδούς βαλβίδας
 - **Πνευμονικής βαλβίδας**
 - Τριγλώχινας βαλβίδας
- Άλλες δομικές καρδιοπάθειες
- Συμπεράσματα



Αξονική καρδιάς και διακαθετηριακή εμφύτευση πνευμονικής βαλβίδας

- Η διακαθετηριακή εμφύτευση πνευμονικής βαλβίδας βρίσκει ένδειξη σε ενήλικες με συγγενείς καρδιοπάθειες που έχουν υποβληθεί σε πολλαπλές επεμβάσεις σε μικρή ηλικία και εμφανίζουν δυσλειτουργία (στένωση ή ανεπάρκεια) στο RVOT
- Ο προεπεμβατικός έλεγχος μπορεί να αφορά
 - Γηγενές RVOT
 - Εκφυλισμένο ομοιομόσχευμα στη θέση του RVOT
 - Εκφυλισμένη βιοπροσθετική βαλβίδα στη θέση της πνευμονικής

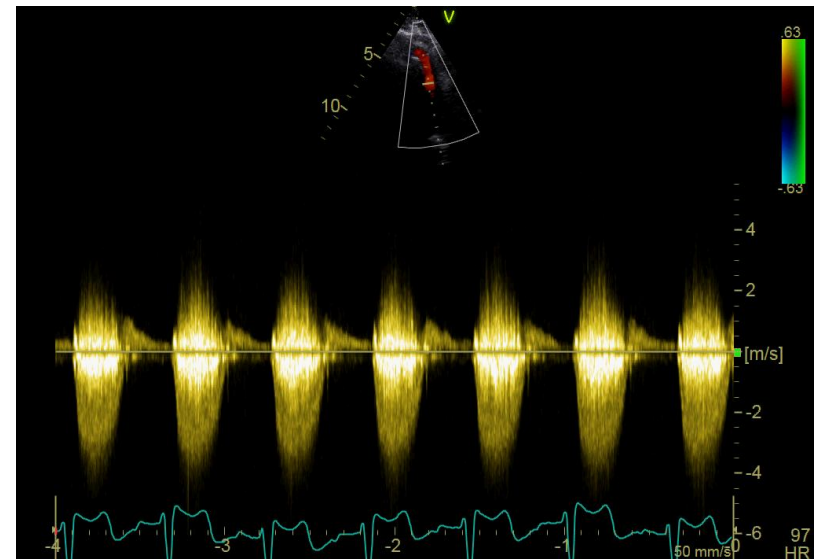
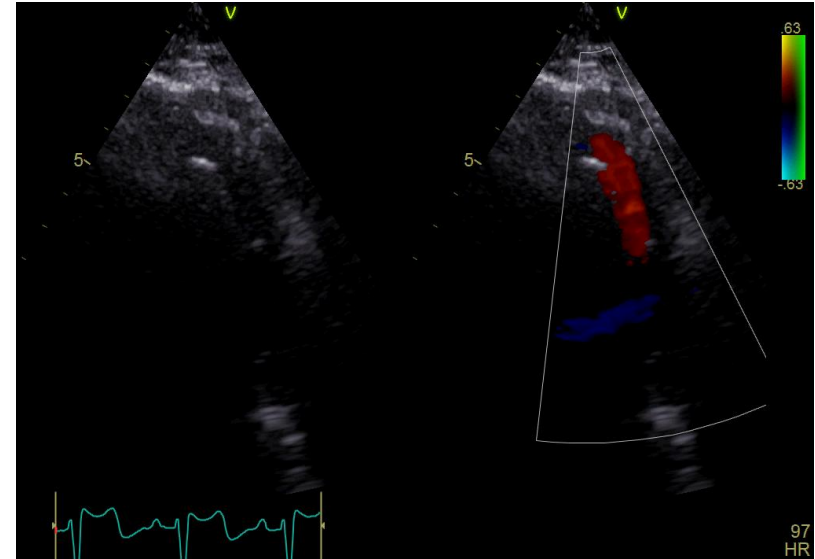




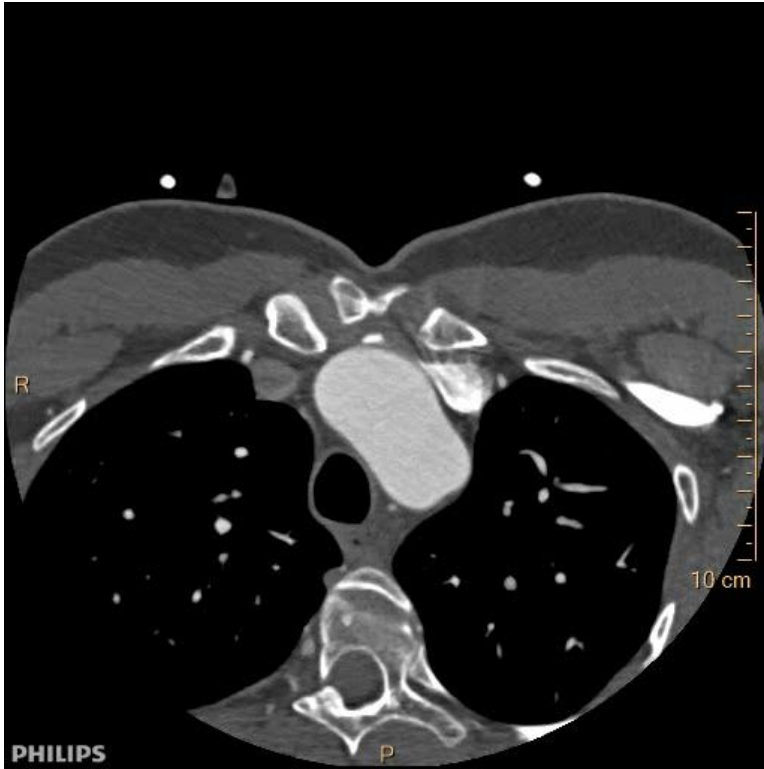
Χρησιμότητα της CT σε προεπεμβατική εκτίμηση ασθενούς για Melody



- Κλινική περίπτωση
 - Ασθενής 31 ετών
 - Δισχειρουργηθείσα υποβαλβιδική αορτική στένωση και στη συνέχεια επέμβαση Ross-Kono 2005
 - Στένωση πνευμονικού ομοιομοσχεύματος
 - Διφασικό πρωτόκολλο σκιαγράφησης



Αξονική καρδιάς στην προεπεμβατική εκτίμηση πνευμονικής βαλβίδας



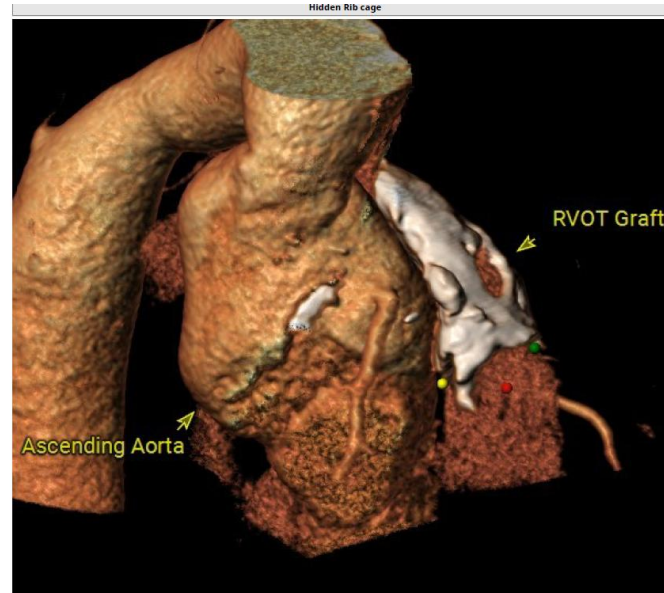
Απόσταση στεφανιαίων αγγείων από ομοιομόσχευμα:

≤2mm (υψηλού ρίσκου)

2-5mm ενδιάμεσου ρίσκου

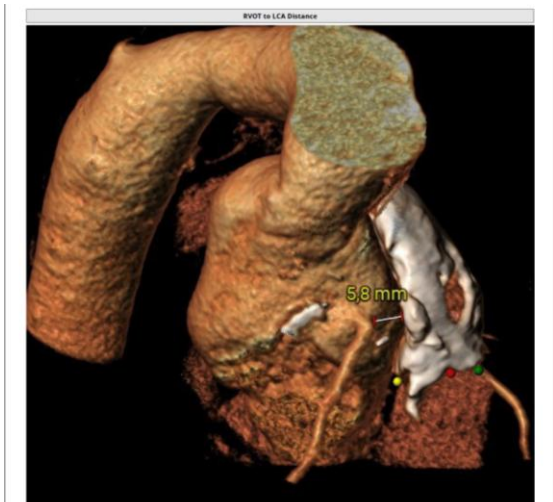
≥5mm μικρού ρίσκου για συμπίεση

Tezza et al, Eur J Radiol 2019



- Εκτίμηση:

- Αορτικού αυτομοσχεύματος
- Επανεμφυτευμένων στεφανιαίων (coronary buttons)
- Εκφυλισμένου RVOT ομοιομοσχεύματος και απόστασή του από στεφανιαία
- Ακριβών εσωτερικών





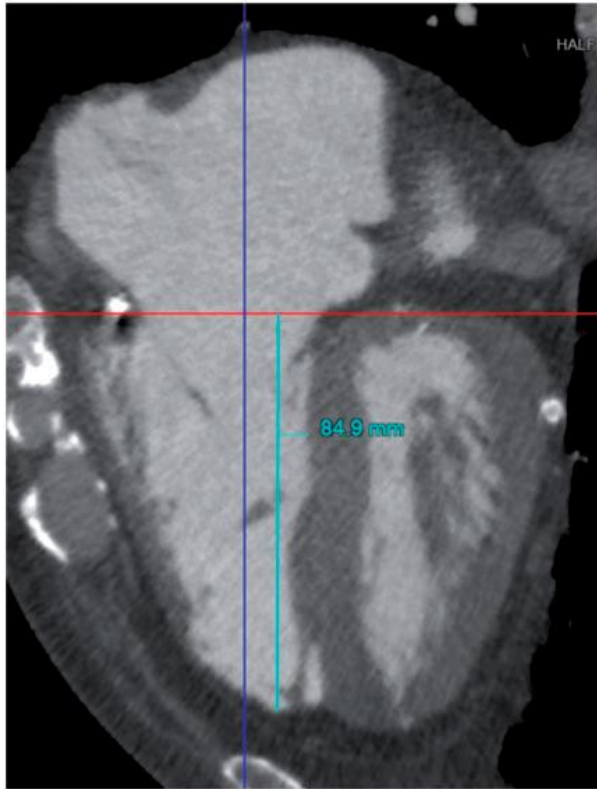
Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας -δομικές καρδιοπάθειες



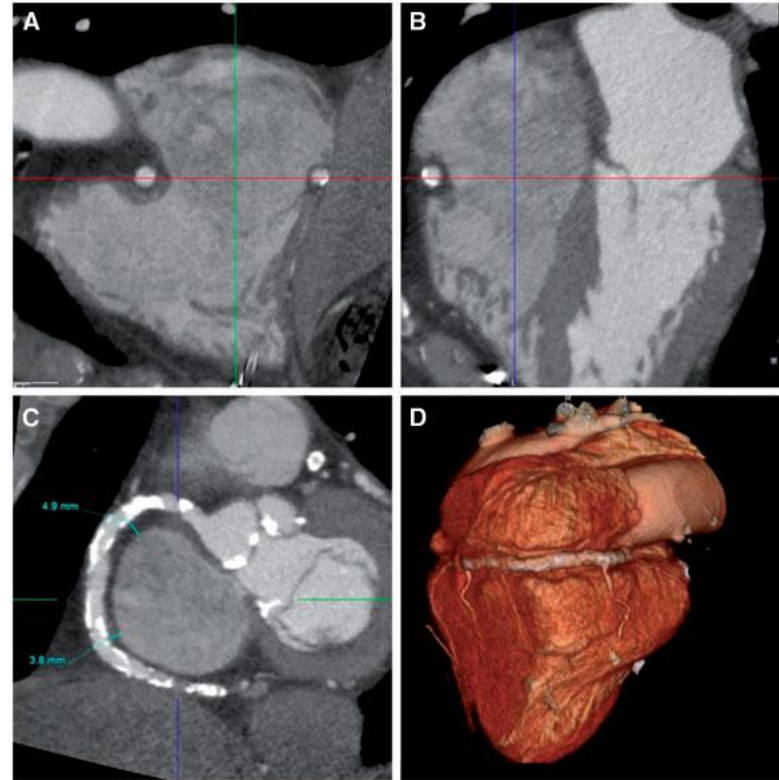
- Βασικές αρχές
- **Εκτίμηση βαλβιδοπαθειών**
 - Αορτικής βαλβίδας & Παθολογία αορτής
 - Μιτροειδούς βαλβίδας
 - Πνευμονικής βαλβίδας
 - **Τριγλώχινας βαλβίδας**
- Άλλες δομικές καρδιοπάθειες
- Συμπεράσματα



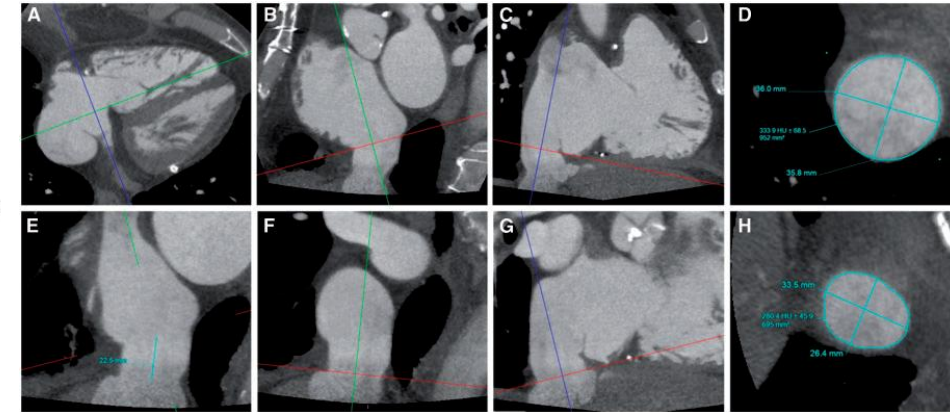
Cardiac CT στην προεπεμβατική εκτίμηση TV



1. Εκτίμηση απόστασης δακτυλίου από κορυφή δεξιάς κοιλίας



2. Εκτίμηση απόστασης RCA από τριγωνικό δακτύλιο σε όλα τα επίπεδα



3. Εκτίμηση διαστάσεων κάτω κοίλης φλέβας

4. Εκτίμηση διαστάσεων τριγωνικού δακτυλίου



Εφαρμογές αξονικής τομογραφίας καρδιάς: Στένωση αορτικής βαλβίδας -δομικές καρδιοπάθειες



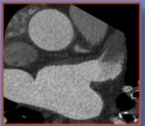
- Βασικές αρχές
- Εκτίμηση βαλβιδοπαθειών
 - Αορτικής βαλβίδας & Παθολογία αορτής
 - Μιτροειδούς βαλβίδας
 - Πνευμονικής βαλβίδας
 - Τριγλώχινας βαλβίδας
- **Άλλες δομικές καρδιοπάθειες**
- Συμπεράσματα



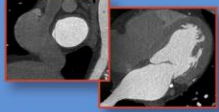
Αξονική καρδιάς προ σύγκλισης ωτίου αριστερού κόλπου

Cardiac CT for Planning Left Atrial Appendage Occlusion

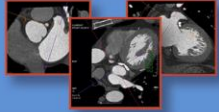
Exclusion of LAA thrombus



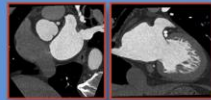
Planning the transseptal puncture



Assess LAA dimensions for device selection/sizing



LAA relationship to surrounding structure



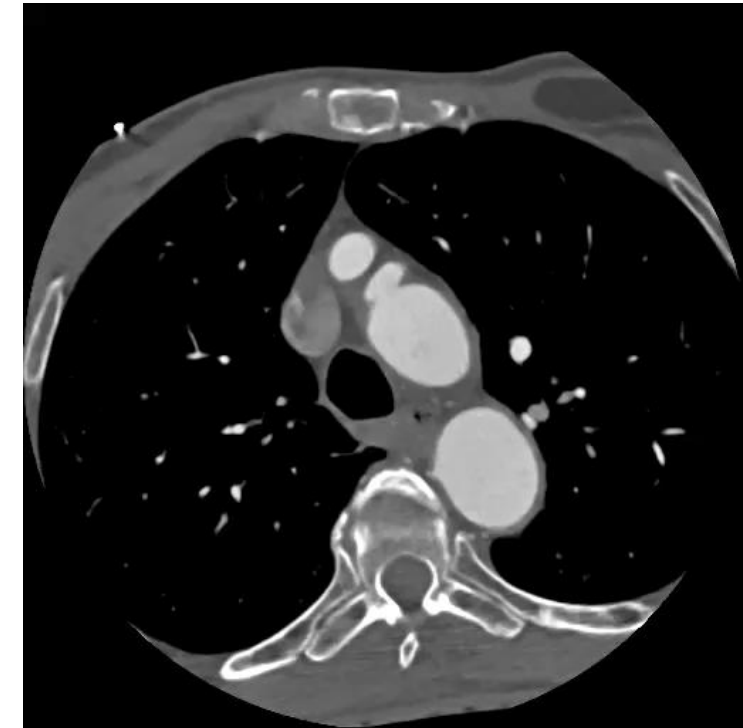
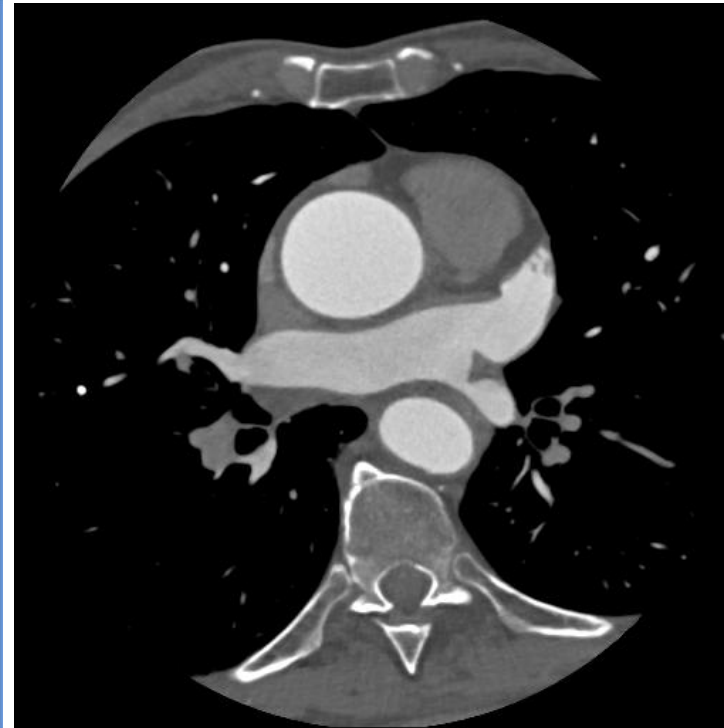
3D printing in complex anatomies



Advantages of Cardiac CT Planning

- Fast and non-invasive acquisition
- Isotropic data
- High spatial resolution
- 3D and multiplanar capabilities

Potential for fusion imaging



1. Αποκλεισμός θρόμβου ωτίου. 2. Εκτίμηση μορφολογίας ωτίου. 3. Εκτίμηση διαμέτρων ωτίου για επιλογή μεγέθους συσκευής. 4. Εκτίμηση παρακείμενων δομών. 5. 3D printing



Conclusions

- Cardiac CT applications in valvular heart disease is expanding
- Good knowledge of anatomy allows accurate preprocedural planning

