



CT in der Herzklappendiagnostik

von Gudrun Feuchtner und Fabian Plank

Die Herzklappendiagnostik, die Domäne der Echokardiographie, fristete in der Radiologie über Jahrzehnte ein untergeordnetes Dasein, am Rande der „Nicht-Existenz“.

Durch die kontinuierlichen technischen Weiterentwicklungen der Multislice CT Scanner jedoch, wurde sie in den letzten Jahren zum Leben erweckt: Aufgrund der markanten Verbesserung der „zeitlichen“ (temporalen) Auflösung, welche für die artefaktfreie Darstellung einer schnell beweglicher Strukturen, wie etwa der Herzklappen, entscheidend ist.

Mittels 64-zeilen CT, seit 2005 kommerziell verfügbar, kann bei niedrigeren Herzfrequenzen bereits eine gute Darstellung der Herzklappen erzielt werden. Erst mit der Einführung von dual-source CTs (2- Röhren Systeme) gelang der entscheidende Durchbruch: die höchste zeitliche Auflösung des 128-zeilen dual source „Flash“ CTs beträgt $>75\text{ms}$. Dies ermöglicht gestochen scharfe und bewegungsartefaktfreie Bilder der Herzklappen. Weiters ist eine dynamische Beurteilung ihrer Funktion über den gesamten Herzzyklus (4-D cine Imaging), unter Verwendung von EKG-gating, technisch machbar. Jenseits der temporalen, trägt auch die hohe örtliche Auflösung (spatial Resolution, 0.2-0.4mm) wesentlich dazu bei, die zarten Herzklappensegel detailgetreu abzubilden.

Welche klinischen Applikationen konnten sich in den letzten Jahren



etablieren?

1. Planung von minimal invasiven/transcatheter Aortenklappenimplantationen (TAVI)

Der Trend von operativen Eingriffen weg führt zu immer minimal invasiveren Methoden, bis hin zum „Transkatheter“ Aortenklappenersatz (Abb. 1, links+ Mitte). Hierbei wird eine „im Stent“ inkludiert Aortenklappenprothese via arteriellem Katheter (z.B. über die Femoralarterien inguinal) in die korrekte intracardiale Position implantiert. Minimale Invasivität, geringere Kreislaufbelastung ohne Herzlungenmaschine und raschere Genesung sind wichtige Faktoren für die gegenwärtige Etablierung der noch jungen Methode.

Die kürzlich präsentierten Multicenterstudiendaten im New England Journal of Medicine 2012 zeigten einen exzellenten 2-Jahres Outcome. Eine präoperative Risikominimierung durch akkurate Planung des Eingriffs ist von oberster Priorität. Neben der Indikationsstellung ist es die Aufgabe eines interdisziplinären TAVI-Teams eine individuelle Entscheidung für jeden Patienten zu treffen, welcher Zugangsweg (access route) geeignet ist, entweder transfemoral, transapical, transaxillär oder direkt transaortal. Hier spielt die CT Bildgebung die entscheidende zentrale Rolle. (1) Der exakte minimale Iliakalgefäßdiameter und der Schweregrad der Atherosklerose der Aorta sind wesentliche Faktoren, um „major vascular complications“ zu vermeiden. So stellen high-risk Atherome (Montgomery Class IV und V) Ausschlusskriterien dar, da diese die Dissektionsgefahr erhöhen. Weiters eignen sich Patienten mit signifikanter Tortosität der Iliakalgefäße (über 90% Angulation) nicht für einen transfemorale Zugang. Insgesamt trifft zumindest eines dieser Kriterien in ca. 40-50% der Patienten zu.

Weiters ist die präzise Vermessung des Aortenklappenannulus von hohem Stellenwert für die korrekte Selektion der Prothesengröße. Dieser Hochseilakt erfordert erfahrene Beurteiler; da eine zu große Klappe (ab >20% oversizing) das Risiko einer Ruptur des Aortenannulus erhöht, (ebenso ein hoher Annuluskalzifizierungsgrad); während Undersizing zu einem postoperativen paravalvulären Leck führt.

Das CT als 3-D Methode ermöglicht die genaueste Vermessung des Annulus, während das Echo den



Annulusdiameter im Vergleich zum CT tendenziell unterschätzt. Man orientiert sich daher an mehreren Messwerten (*Abb. 2, rechts*), den A.P. (Kurzachse) x ML (mediolateralen Langachse) Diameter= Mittleren Diameter, welcher -aufgrund der variablen Exzentrizität des Annulus -die beste Näherung bietet. Weiters werden Perimeter und Area vermessen, und eine Errechnung des effektiven Diameters (CT eff) anhand der Kreisformel durchgeführt nach Kempfert et al, Eur J Cardiothoracic Surg 2012 (2).

Darüber hinaus wird die „Koronarostienhöhen“ (=Abstand vom Annulus) bestimmt, um ein „Koronarostium- oversteating“ und die potentiell lebensbedrohlichen Okklusion der Koronararterien zu verhindern.

Des weiteren gelingt mittels 3-D CT Visualisierung präoperativ eine akkurate Prädiktion der idealen Angulation des CT- Bogens während der Implantation. Dies reduziert die intraoperativ nötige Kontrastmittelmenge durch Vermeidung von multiplen C-Bogen Adjustierungen. Da viele Patienten mit hochgradiger Aortenstenose aufgrund des fortgeschrittenen Alters eine renale Dysfunktion aufweisen, ist auch für die CT – Untersuchung per se eine Minimierung der Kontrastmittelvolumenexposition (ALARA =as low as reasonable achievable) von großer Bedeutung. Neuste Scannergenerationen mit hohem Pitchfaktor (z.B. 3.2) und einer ultraschnellen Scanzeit von 1.7 Sekunden für eine „full- body CTA“ einschließlich Aorta und Iliacalgefäße, bieten nicht nur eine bewegungsartefaktfreie Darstellung der Aortenwurzel. Die kurze Scanzeit verringert auch die Kontrastmittelmenge, und ist von großem Vorteil in dieser Population.

2. CT zur Charakterisierung von valvulären Raumforderungen.

Die kardiale MRT gilt generell als Goldstandardmethode zur Abklärung von kardialen Raumforderungen, jedoch im Bereich der Herzklappen existieren zwei Ausnahmen: CT –Diagnostik ist von Vorteil 1.) in der Differentialdiagnostik/Charakterisierung von sehr kleinen Raumforderungen (Des Weiteren imponieren frische Vegetationen im CT ausschließlich hypodens (3) (*Abb. 3*), können aber



bei längere Präsenz partiell verkalken, was demzufolge für eine ältere Genese spricht. Dies ist mittels Echokardiographie nicht immer eindeutig zu unterscheiden (Echo: Kalk/Vegetation = hyper/hyperechoisch jedoch im CT: Kalk/Vegetation= hyper/hypodense).

3. CT als Alternative/zusätzliche Methode zur Echokardiographie bei Endokarditis und paravalvularer Beteiligung/Abszeß.

Die gesamte Ausdehnung eines paravalvulären Abszesses im Rahmen einer infektiösen Endokarditis ist echokardiographisch nicht immer optimal und zur Gänze einsehbar, wie beispielsweise Aortenwurzel oder Myokard/Perikardinfiltrationen und Fistelbildungen (2). Die CT bietet sich hierfür als ergänzende Methode an um das Gesamtausmaß zu definieren. Dies ist nicht nur für die Diagnostik sondern auch für die prae-operative Planung von Interesse. Im Besonderen hervorzuheben ist die gleichzeitige Beurteilung der Koronargefäße und der hiermit nicht-invasive Ausschluss einer koronaren Herzkrankheit (KHK) (4) mittels koronarer CT-Angiographie präoperativ: Somit kann ein Herzkatheter, welcher im Falle der gleichzeitigen Präsenz von mobilen Vegetationen ein erhebliches Embolierisiko darstellt, vermieden werden.

Falls auch im CT ein aktiver (versus alter) Abszess nicht sicher klassifiziert werden kann, bietet sich als diagnostische Option eine Bildfusion des HerzCT s mit einem 18-FDG- PET Scan. (5)

4. CT in der Prothesendysfunktionsdiagnostik.

Metallartefakte von Herzklappenprothesen verursachen in der Echokardiographie starke Schallauslöschungen und limitieren deren Sensitivität. Nicht nur mechanische, auch biologische Prothesen können mittels kardialer CT detailgetreu- ohne wesentliche Artefakte, 3-D (Abb 1, rechts, „Stuck valve“) und 4-D-dynamisch bezüglich ihrer Funktion beurteilt werden. (6).



5. Last but not least- Zufallsbefunde an Herzklappen im Rahmen einer koronaren CT-Angiographie sollten unbedingt beachtet werden! Als Radiologe obliegt es nicht nur unserer ethischen und forensischen Verpflichtung, alles „am Bild“ präsent auch zu dokumentieren, sondern dies kann für den Patient entscheidende diagnostische Konsequenzen haben:

Fallbeispiel 1, Patientin 58 Jahre, erste Episode paroxysmales Vorhofflimmern, Zuweisung zum koronaren CT; Fragestellung -Koronare Herzkrankheit (KHK)? Diagnose im CT: Keine KHK, jedoch Mitralklappenprolaps am posterioren Segel, (welcher in der transthorakalen Echokardiographie, in Abhängigkeit der individuellen Schallbedingungen, nicht immer eindeutig sichtbar ist).

Eine Limitation der CT, im Gegensatz zur Echokardiographie und MRT, stellt die fehlende Möglichkeit dar, direkte Flussmessungen durchzuführen. Dies schränkt die Implementation der CT in der Primärdiagnostik von Herzklappenvitien wie Stenosen oder Insuffizienzen sichtbar ein. Die Primärdiagnostik wird daher a la longue eine Domäne der Echokardiographie bleiben.

Neueste Studien zeigen, dass anhand 3-D Strömungssimulationsmodellen auch aus CT-Datensätzen „in principle“ Flow-daten- berechnet werden können, wie kürzlich für die FFR (Fraktionale Flow Reserve) in den Koronararterien erfolgreich gezeigt wurde. (7). Weiterentwicklungen sind eine Frage der Zeit und Ressourcen in Forschung und Softwareengineering.

Nichtsdestotrotz gilt eine Messung der anatomischen Aortenklappenöffnungsfläche in der Systole mittels CT diagnostisch als valide (8), wie in mehreren Vergleichsstudien zur Echokardiographie, MRT und Herzkatheter (Gorlin-Formel) gezeigt werden konnte.

Klinische Anwendungsmöglichkeiten bieten sich hier in Patienten mit low-flow-low gradient Vitien, in welchen die Flussmessung mittels Doppler-Echokardiographie technisch inakkurat ist. Weiters ist, falls eine Beurteilung von Koronargefäßen gefordert ist, eine simultane Messung Aortenklappenöffnungsfläche ohne zusätzliche Strahlen- oder Kontrastmittelexposition im CT möglich. Ein nichtinvasiver Ausschluss einer KHK findet beispielsweise Anwendung in der praeoperative Diagnostik vor Aortenklappenersatz (2).

Zusammenfassend hat das kardiale CT einen nicht unwesentlichen Stellenwert in der diagnostischen Abklärung von Patienten mit Herzklappenvitien erobert. Neueste CT- Scanner Generationen mit höchster temporalen und spatialer Auflösung, wie das 128-zeilen dual source Flash CT, besitzen klare Vorteile in die Herzklappendiagnostik. Der Zenit technischer Weiterentwicklungen und klinischer Applikationen ist definitiv noch nicht erreicht- *the future will show.*



Abb. 1 3-D Darstellung von valvulären Prothesen mittels CT.

CORE- self-expanding transkatheter Aortenklappenprothese, (links) mit langem Stent. EDWARDS-balloon-expandable Prothese (Mitte) durch kürzeren Stent charakterisiert, welcher in die Aortenwurzel implantiert wird.

Rechts: Bileaflet St. Jude mechanische Klappe. Das rechtsseitige Segel öffnet nicht zur Gänze („stuck-valve“), somit liegt eine Prothesendysfunktion vor und Indikation zur Reoperation

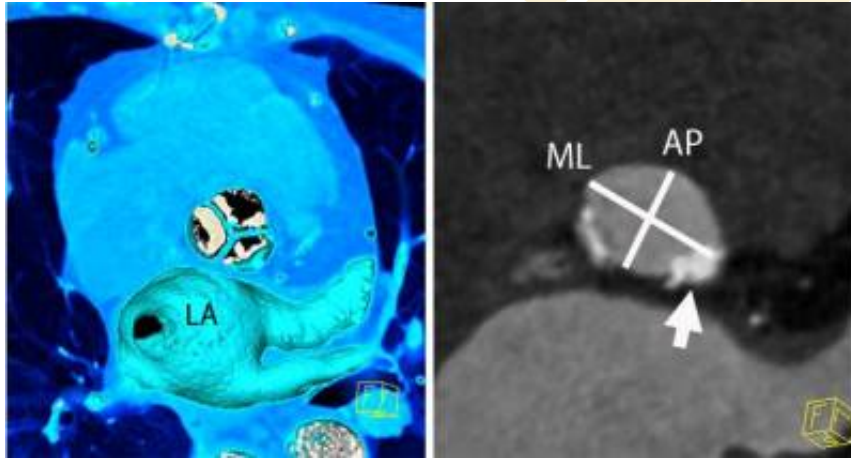


Abb 2. Aortenklappenstenose (links), trikuspide Aortenklappe mit hochgradigen Kalzifikationen (LA= linkes Atrium), 3D.

Messung des Aortenannulus mittels CT (rechts) zur Planung transkatheter Prothesenimplantation. AP= anteroposteriorer Diameter und ML= mediolateraler Diameter, geringe Exzentrizität des Annulus. Weißer Pfeil: Kalzifikation linkscoronarer Annulus.



Abb. 3. Infektiöse Endokarditis: Mobile Vegetation an der Aortenklappe (?), im linksventriulären Ausflusstrakt frei flottierend. Diese Läsion stellt ein erhebliches Embolierisiko dar.

Referenzen:

- 1. Leipsic J, Gurvitch R, Labounty TM, Min JK, Wood D, Johnson M, Ajlan AM, Wijesinghe N, Webb JG. Multidetector computed tomography in transcatheter aortic valve implantation. JACC Cardiovasc Imaging. 2011 Apr;4(4):416-29. Review*
- 2. Kempfert et al Aortic annulus sizing: echocardiographic vs. computed tomography derived*



- measurements in comparison with direct surgical sizing. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 0 (2012) 1–7
3. Bettencourt N, Rocha J, Carvalho M, Leite D, Toschke AM, Melica B, Santos L, Rodrigues A, Gonçalves M, Braga P, Teixeira M, Simões L, Rajagopalan S, Gama V. Multislice computed tomography in the exclusion of coronary artery disease in patients with presurgical valve disease. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2009 Jul;2(4):306-13.
 4. Feuchtner GM, Stolzmann P, Dichtl W, Schertler T, Bonatti J, Scheffel H, Mueller S, Plass A, Mueller L, Bartel T, Wolf F, Alkadhi H. Multislice computed tomography in infective endocarditis: comparison with transesophageal echocardiography and intraoperative findings. *J Am Coll Cardiol*. 2009 Feb 3;53(5):436-44
 5. Feuchtner G, Plank F, Uprimny C, Chevtchik O, Mueller S. Paravalvular prosthetic valve abscess detected with 18FDG-PET/128-slice CT image fusion. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012 Mar;13(3):276-7.
 6. Habets J, Symersky P, van Herwerden LA, de Mol BA, Spijkerboer AM, Mali WP, Budde RP. Prosthetic heart valve assessment with multidetector-row CT: imaging characteristics of 91 valves in 83 patients. *Eur Radiol*. 2011 Jul;21(7):1390-6.
 7. Min JK, Leipsic J, Pencina MJ, Berman DS, Koo BK, van Mieghem C, Erglis A, Lin FY, Dunning AM, Apruzzese P, Budoff MJ, Cole JH, Jaffer FA, Leon MB, Malpeso J, Mancini GB, Park SJ, Schwartz RS, Shaw LJ, Mauri L. Diagnostic accuracy of fractional flow reserve from anatomic CT angiography. *JAMA*. 2012 Sep 26;308(12):1237-45.
 8. Feuchtner GM, Dichtl W, Friedrich GJ, Frick M, Alber H, Schachner T, Bonatti J, Mallouhi A, Frede T, Pachinger O, zur Nedden D, Müller S. Multislice computed tomography for detection of patients with aortic valve stenosis and quantification of severity. *J Am Coll Cardiol*. 2006 Apr 4;47(7):1410-7.