

# Verlaufskontrolle nach TAVI mittels Multidetektor-CT der Klappenprothese: technische Durchführung, reguläre Befunde und typische lokale postinterventionelle Komplikationen

## Post-TAVI Follow-Up with MDCT of the Valve Prosthesis: Technical Application, Regular Findings and Typical Local Post-Interventional Complications

### Autoren

Martin Soschynski<sup>1</sup>, Fabio Capilli<sup>1</sup>, Philipp Ruile<sup>2</sup>, Franz-Josef Neumann<sup>2</sup>, Mathias Langer<sup>1</sup>, Tobias Krauss<sup>1</sup>

### Institut

- 1 Department of Radiology, Medical Center – University of Freiburg, Faculty of Medicine, University of Freiburg, Germany, Freiburg, Germany
- 2 Department of Cardiology & Angiology II, University Heart Center Freiburg-Bad Krozingen, Germany

### Key words

TAVI, CT-spiral, post-interventional complications, leaflet thrombosis, annulus rupture

eingereicht 04.06.2017

akzeptiert 07.11.2017

### Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-124190>

Online-Publikation: 28.12.2017

Fortschr Röntgenstr 2018; 190: 521–530

© Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York

ISSN 1438-9029

### Korrespondenzadresse

Dr. Martin Soschynski  
Radiology, University Hospital Freiburg, Hugstetter Straße 55,  
79106 Freiburg, Germany  
Tel.: ++49/7 61/27 03 95 40  
Fax: ++49/7 61/27 03 95 00  
[martin.soschynski@uniklinik-freiburg.de](mailto:martin.soschynski@uniklinik-freiburg.de)

### ZUSAMMENFASSUNG

**Hintergrund** Die Transkatheter-Aortenklappen-Implantation (TAVI) hat sich als Alternative zum chirurgischen Klappenersatz für Patienten mit hohem Operationsrisiko etabliert. Trotz technischer Optimierungen besteht immer noch ein Risiko für Komplikationen während und nach dem Eingriff. Für die post-interventionelle Kontrolle der stentgetragenen Klappenprothese spielt die EKG-getriggerte Multidetektor-Computertomografie (MDCT) eine wichtige Rolle in der frühzeitigen Diagnostik von lokalen Komplikationen. In diesem Artikel gehen wir zunächst auf die technische Durchführung der

MDCT im Bereich der Aortenwurzel zur Kontrolle der TAVI-Klappenprothese ein. Im zweiten Schritt werden anhand mehrerer Fallbeispiele postinterventionelle Normalbefunde verschiedener Klappentypen sowie klassische und seltene Komplikationen im Implantationsgebiet illustriert.

**Methode** Die Übersichtsarbeit fasst die Literatur in PubMed zum Thema EKG-getriggerte MDCT nach TAVI strukturiert zusammen und wird um eine Fallsammlung aus unserem Institut ergänzt.

**Ergebnisse und Schlussfolgerung** Mittels retrospektiv EKG-getriggertem MDCT kann die Aortenklappenprothese nach TAVI räumlich hochaufgelöst in mehreren Phasen des Herzzyklus dargestellt werden. Die Darstellung der Klappenprothese über den gesamten Herzzyklus erlaubt eine Funktionsanalyse der bewegten Klappe ähnlich der Echokardiografie. Die MDCT ist der transthorakalen Echokardiografie im direkten Nachweis einer Klappenthrombose überlegen. Bei der Befundung muss die Lage der stentgetragenen Klappe in Bezug zu den Koronargefäßen und die Stententfaltung evaluiert werden. Je nach Klappentyp bestehen unterschiedliche Stentformen und ideale Positionen. Jeder Stent sollte mit der gesamten Zirkumferenz dem linksventrikulären Ausflusstrakt anliegen. Lebensbedrohliche Komplikationen im Implantationsgebiet wie eine Annulusruptur können im CT sicher diagnostiziert werden.

### Kernaussagen

- Mit der EKG-getriggerten Multidetektor-CT (MDCT) nach Transkatheter-Aortenklappen-Implantation (TAVI) können postinterventionelle Komplikationen an der Klappenprothese und der Aortenwurzel frühzeitig erkannt werden.
- Die MDCT ist der Echokardiografie im direkten Nachweis einer Klappenthrombose überlegen.
- Das Erkennen einer Hypokinesie bei Klappenthrombose ist ebenfalls mittels MDCT möglich.
- Die korrekte Stentlage und die Stententfaltung unterscheiden sich je nach Klappentyp.
- Auf die Integrität der Aortenwurzel ist gesondert zu achten.

**Zitierweise**

- Soschynski M, Capilli F, Ruile P et al. Post-TAVI Follow-Up with MDCT of the Valve Prosthesis: Technical Application, Regular Findings and Typical Local Post-Interventional Complications. *Fortschr Röntgenstr* 2018; 190: 521–530

**ABSTRACT**

**Background** Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) has evolved into an alternative procedure to surgical valve replacement for high-risk patients with aortic valve stenosis. Despite technical innovations, there is still a risk of complications during and after the intervention. After a TAVI procedure, ECG-gated multidetector computed tomography (MDCT) plays an important role in the early diagnosis of local complications. In this article, we explain for the first time how the technical acquisition of MDCT in the region of the aortic root is performed as post-interventional control of the TAVI prosthesis. In the second part normal post-interventional findings of different prosthetic valves as well as classic and uncommon complications in the implant area will be illustrated in several case studies.

**Methods** In this review the current literature from PubMed about ECG-gated MDCT after TAVI is summarized and structured. It is supplemented by several case studies from our institution.

**Results and Conclusion** Using retrospectively ECG-gated MDCT, an aortic valve prosthesis after TAVI can be visualized with high spatial resolution in several phases of the cardiac cycle. Images of the implanted aortic valve at all time points of the cardiac cycle enable a functional analysis of prosthetic leaflets similar to echocardiography. MDCT is superior to transthoracic echocardiography with respect to the direct detection of prosthetic leaflet thrombosis. The position of the device in relation to the coronary ostia and correct unfolding of the stent frame need to be evaluated. There are different types of stents carrying the valve leaflets with distinct ideal positions. Any stent should cover the left ventricular outflow tract (LVOT) along its whole circumference. Life-threatening complications in the implant area, such as annulus rupture, can be diagnosed reliably with CT.

## Einleitung

Die Transkatheter-Aortenklappen-Implantation (TAVI) ist eine etablierte Alternative zum chirurgischen Klappenersatz für Patienten mit hohem Operationsrisiko. Trotz stetig wachsender Erfahrung, technischer Optimierungen und verbessertem Patientenscreening besteht immer noch ein Risiko für Komplikationen. Die EKG-getriggerte Multidetektor-Computertomografie (MDCT) hat nicht nur in der präinterventionellen Planung einen festen Stellenwert, sondern kann auch postinterventionell zur frühzeitigen Erkennung sowohl akuter als auch langfristiger Komplikationen eingesetzt werden.

In der klinischen Routine erfolgt die Überprüfung der Klappenfunktion mittels transthorakaler Echokardiografie. Eine paravalvuläre Insuffizienz kann mit der Dopplertechnik sensitiv nachgewiesen werden. Parameter wie der mittlere Druckgradient oder der Geschwindigkeitsquotient über der Klappenprothese dienen dem Nachweis einer Stenose. Die direkte Darstellung der Klappensegel ist in der Echokardiografie jedoch oft nicht möglich [1, 2]. Die MDCT ermöglicht eine genaue morphologische Darstellung der Klappe sowie eine Bewegungsanalyse über den gesamten Herzzyklus. Darüber hinaus sind die Stentposition, die Koronararterienabgänge und die Integrität der Aortenwurzel sicher beurteilbar. Voraussetzungen zur sicheren Beurteilung sind die technisch korrekte Durchführung der CT-Untersuchung, Grundkenntnisse der Klappentypen und der postinterventionellen Normalbefunde sowie die Kenntnis klassischer und lebensbedrohlicher Komplikationen nach der TAVI-Prozedur. In diesem Artikel werden die Grundlagen der technischen Durchführung des postinterventionellen MDCT und dessen Befundung schrittweise erläutert.

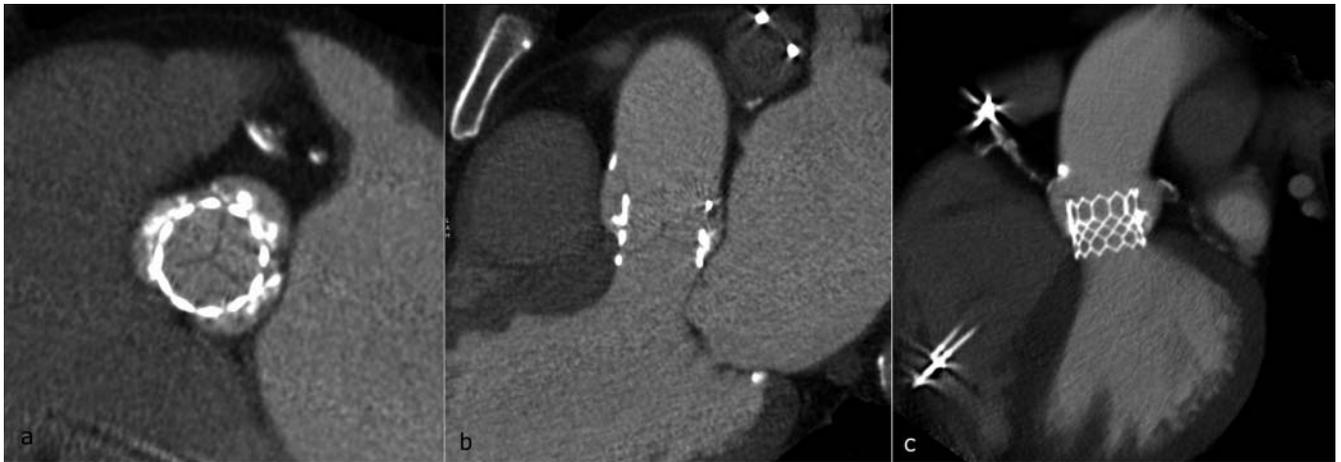
## Durchführung

Die MDCT der Aortenklappenprothese erfolgt in unserem Institut mittels Spiraltechnik unter kontinuierlichem Tischvorschub mit retrospektivem EKG-Gating über den gesamten Herzzyklus mit einer kраниokaudalen Ausdehnung über die Aortenwurzel (Siemens Somatom Definition Flash, Siemens Healthcare, Forchheim, Deutschland) [2, 3]. Hierdurch ist für das relativ kleine Scanvolumen mit einer kраниokaudalen Länge von ca. 8 cm eine Bildrekonstruktion in jeder Phase des Herzzyklus möglich. Soll die Herzklappe in jeder Phase hochaufgelöst dargestellt werden, muss die Röhrenstrommodulation am Scanner abgeschaltet sein („Pulsing off“). Der CT-Scan wird nach Bolus-Tracking im linken Vorhof (100HU) und einem Atemkommando (7 Sek.) in kaudokranieler Richtung gestartet. Ein Bolus von 50 ml nicht ionischem Kontrastmittel (Imeron 400®, Bracco) wird mit einer Flussrate von 4 ml/s injiziert. Darauf folgt ein Kochsalzbolus von 50 ml mit einer Injektionsrate von 4 ml/s.

In der Nachbearbeitung wird das Scanvolumen in Schritten von 50 ms oder 5 % des Herzzyklus rekonstruiert, sodass letztendlich das Scanvolumen in bis zu 20 verschiedenen Phasen in 1 mm Schichtdicke zur Auswertung vorliegt.

## Radiologische Begutachtung

Nach der Datenaquisition werden die Bilddaten an das Picture Archiving and Communication System (PACS) verschickt. Mithilfe dedizierter Bildbefundungssoftware (an unserem Institut Syngo-Via workstation, Siemens Healthcare, Forchheim, Deutschland) werden die Betrachtungsebenen in axialer und sagittaler Ebene zur Achse des Stentes ausgerichtet, sodass die Lage der Klappenprothese innerhalb der Aortenwurzel optimal dargestellt wird.



► **Abb. 1** Typischer postinterventioneller CT-Befund einer Edwards SAPIEN 3-Prothese **a** axial und **b, c** parasagittal anguliert auf die Klappenebene. **a** Die Klappensegel lassen sich in der axialen Abbildung als feine lineare Hypodensitäten auf Höhe des Aortenbulbus abgrenzen. Auf dieser Höhe liegt die Prothese der Wand in der Regel nicht vollständig an. **b** Die parasagittale Rekonstruktion zeigt die korrekte Höhenposition der Prothese und ein vollständiges Anliegen des Stents im Bereich des Aortenannulus. **c** Dickschichtige, parasagittale multiplanare Rekonstruktion (MPR) verdeutlicht die Geometrie des Stentes und die genaue Implantationsposition.

► **Abb. 1a–c.** So können die Position des Stentgerüsts, die Stententfaltung sowie die Koronararterienabgänge beurteilt werden und der Untersucher erhält einen Eindruck über die Klappensegel, allgemeine Komplikationen wie Hämatome und die Intaktheit des Aortenannulus. Um Verdickungen der Klappensegel zu detektieren und deren Beweglichkeit zu überprüfen, sollten alle Phasen des Herzzyklus betrachtet werden. Hierzu eignet sich die Multiphasenansicht der Bildbefundungssoftware, in der die einzelnen Phasen in der gewünschten Angulation als Video abgespielt werden können. Die Bewegung der Klappensegel kann somit dynamisch (4D) evaluiert werden ► **Video 1**.

## Normalbefunde

### Stentgerüst

Die an unserer Klinik am häufigsten implantierten Klappentypen sind die „Edwards SAPIEN XT“, die „Edwards SAPIEN 3“, eine Weiterentwicklung der „Edwards SAPIEN XT“ der Firma Edwards Lifesciences (Irvine, Kalifornien, USA), die „CoreValve“ und ihre Weiterentwicklung, die „CoreValve Evolut R“ von Medtronic (Minneapolis, Minnesota, USA) und die „Lotus“ von Boston Scientific (Natick, Massachusetts) [3].

### Edwards SAPIEN-Prothesen

Die „Edwards SAPIEN XT“ und die „Edwards SAPIEN 3“, sind ballonexpandierbare Aortenklappenprothesen bestehend aus einem Kobalt-Chrom-Stent mit eingenähten Taschen aus Rinderperikard. Die Abdichtung der Klappe reicht nur über die unteren 2/3 der Stents, der obere Anteil ist ein offenes Stentgitter [4].

Der typische postinterventionelle CT-Befund einer Edwards SAPIEN 3-Prothese ist in ► **Abb. 1a–c** dargestellt. Bei ballonexpandierbaren Aortenklappenprothesen wie der Edwards SAPIEN-Prothese sollte das Stentgitter zirkulär und vollständig entfaltet sein

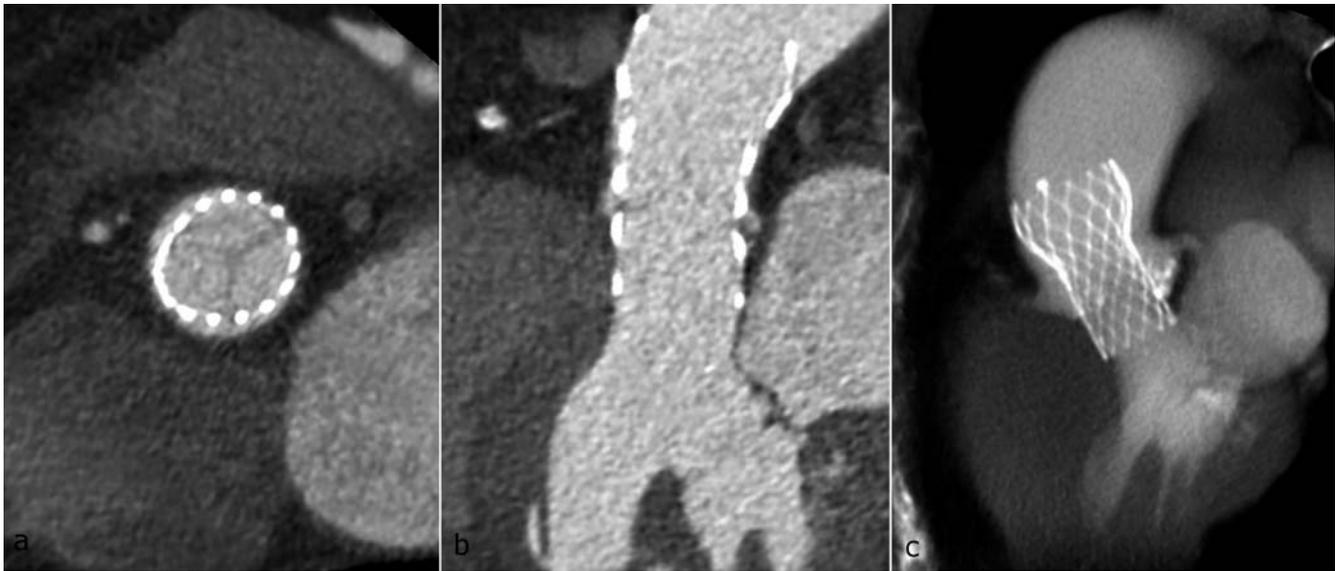
### OP-VIDEO



► **Video 1** Normale Bewegung der Klappensegel einer Edwards Sapien-3-Prothese.

und die kalzifizierte originäre Klappe durch den Stent an die Wand der Aortenwurzel gedrückt werden [4].

Die besten klinischen Erfolge werden erreicht, wenn das Stentgerüst sowohl auf Höhe als auch unter dem Ansatz der originären Semilunarklappen fixiert ist. Daher ist die ursprüngliche Empfehlung die Prothese mit der Stentmitte auf Höhe des originären Annulus zu platzieren, sodass 50 % des Stentgitters nach proximal und distal reichen [5]. Bei Edwards SAPIEN-Prothesen kann es während der Implantation zu einer Aufwärtsbewegung des Stents kommen, welche oft zu einer etwas höheren Implantation der Klappe führt [6]. Diese höhere Implantation ist trotzdem mit einem klinisch guten Ergebnis verbunden. Ein gutes Ergebnis ist daher erreicht, wenn das inferiore Stentende unterhalb des Annulus, also unterhalb der Semilunarklappeninsertion, implantiert ist



► **Abb. 2** CT-Befund einer CoreValve Evolut R-Prothese **a** axial und **b** parasagittal anguliert auf die Klappenebene sowie **c** dickschichtige, parasagittale multiplanare Rekonstruktion (MPR), welche die Geometrie des Stentes und die genaue Implantationsposition verdeutlicht.

und das kraniale Stentende die Semilunarklappen vollständig überdeckt [4]. Bei zu hoher Position kann es passieren, dass der basale Ansatz der originären Klappe nicht überdeckt wird, bei zu tiefer Position kann entsprechend der freie Rand der originären Klappe (Lunula) nicht vollständig überdeckt werden. Die Abdichtung des Stents ist im CT nicht sichtbar, der gecoverte Teil ist vom ungecoverten nicht zu unterscheiden.

Selbst bei optimaler Positionierung kann das Stentgitter partiell über die Koronarostien, meist das linke, reichen. Bei zu hoher Positionierung der Klappe überragt das Stentgitter ein Koronarostium, meist links, vollständig. Dadurch, dass der Stent nur in den inferioren 2/3 gecovert ist, führt dies jedoch fast nie zu einer Okklusion der Koronarostien [4]. Auf freie, regelrecht kontrastierte Koronarostien muss geachtet werden.

Der Stent sollte mit seiner gesamten Zirkumferenz dem linksventrikulären Ausflusstrakt (left ventricular outflow tract, LVOT) anliegen (► **Abb. 1b, c**). Massive, asymmetrische Verkalkungen können zu einer unvollständigen Adaptation des Stents an die Wand des LVOT führen [4].

### CoreValve Prothese

Die „CoreValve“-Prothesen von Medtronic bestehen aus einem kelchförmigen Nitinol-Stent mit eingenähten Taschen aus Schweineperikard. Im Gegensatz zu den Edwards SAPIEN-Prothesen entfalten sie sich nach Freigabe selbst. Sie müssen somit keine runde Form nach Implantation haben, sondern passen sich in ihrer Form dem Annulus an [4]. Sie sind deutlich länger als die „Edwards SAPIEN-Prothesen“ und haben einen weiteren distalen Verankerungspunkt in der Aorta ascendens, dichten dort jedoch nicht ab (► **Abb. 2a–c**) [7]. Die optimale Position ist mit dem unteren Ende etwa 4–6 mm unterhalb der originären Annulusebene [5]. Eine zu tiefe Position besteht, wenn das untere Ende mehr als 12 mm unter dem Annulus liegt, eine zu hohe Position, wenn das untere Ende über den Annulus liegt [8].

### Lotus Prothese

Die „Lotus“-Prothese von Boston Scientific besteht ebenfalls aus einem Nitinol-Rahmen, welcher bei Entfaltung eine runde Form aufweist, und Klappensegeln aus Rinderperikard. Eine flexible Abdichtung um die untere Hälfte des Stentgerüsts aus polyurethane/polycarbonate („Adaptive Seal“) verhindert paravalvuläre Leckagen [9]. Im Gegensatz zu den anderen beiden genannten Prothesen wird die Lotus-Klappenprothese mechanisch mit drei Greifarmen und nicht von selbst oder mittels Ballonkatheter entfaltet. Dies erlaubt ein relativ kontrolliertes Einsetzen der Klappe und gibt darüber hinaus die Möglichkeit die Klappe auch nach vollständiger Entfaltung wieder „einzuholen“ und neu zu positionieren. Ein zusätzlicher röntgendichter Marker aus Tantal in der Mitte des Stentgerüsts erleichtert hierbei die Positionierung der Klappe [9]. Während der Expansion des Stents verkürzt sich das Stentgerüst und der Marker wandert hierbei in Richtung Annulus bis er seine korrekte Position auf Höhe der Sinus valsalvae, ca. 5 mm distal des Annulus erreicht [10]. Der Marker selbst kann im CT Aufhärungsartefakte verursachen und darf nicht mit paravalvulärem Fremdmaterial verwechselt werden (► **Abb. 3a–c**).

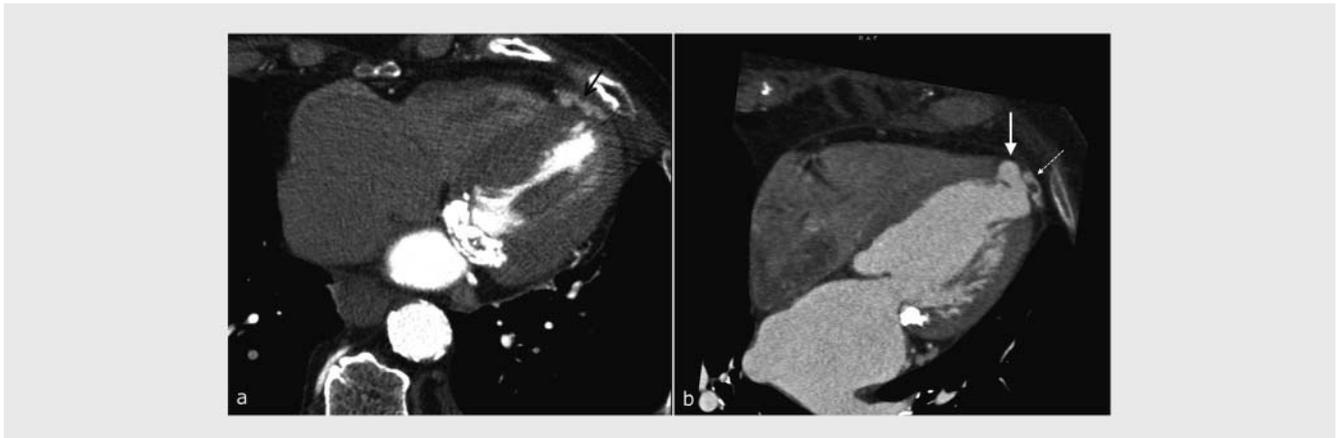
### Prothesensegel

Die Prothesensegel der frisch implantierten Aortenklappe sind im CT als feine, symmetrische, hypodense, bogenförmige Strukturen innerhalb des Lumens erkennbar (► **Abb. 1a, b**). Verdickungen eines oder mehrerer Segel sind als pathologisch einzustufen.

Über die Morphologie der Prothesenklappe hinausgehend ermöglicht die mehrphasige Rekonstruktion aus dem EKG-getriggerten CT-Datensatz eine Beurteilung der Klappenbeweglichkeit. Insbesondere in Abschnitten eines verdickten Klappensegels ist auf eine Hypokinesie, also eine verminderte Bewegung zwischen Diastole und Systole zu achten Mit dedizierter Bildbefundungs-



► **Abb. 3** Lotus-Prothese im Post-TAVI-CT **a** axial und **b** parasagittal anguliert auf die Klappenebene sowie unter Röntgendurchleuchtung bei Implantation **c**. Ein radioopaker Marker ist zu beachten, welcher im CT Aufhärungsartefakte verursacht (Pfeile). Nach der Implantation liegt der Marker auf Höhe der Sinus valsalve, ca. 5 mm distal des Annulus.



► **Abb. 4** **a** Filzmaterial außen um die Herzspitze (Pfeil) nach transapikaler TAVI, nicht zu verwechseln mit einem Nahtaneurysma. **b** Nahtaneurysma an der Herzspitze nach transapikaler TAVI (dicker Pfeil). Lateral davon gelegenes, hyperdenses Filzmaterial (gestrichelter Pfeil).

software kann die Bewegung als Videosequenz betrachtet werden  
► **Video 1.**

### Aortenwurzel

Neben der Klappenprothese selbst ist die Integrität der Aortenwurzel zu beurteilen. Diese kann zwar postinterventionell ihre Form von vormals elliptisch auf rund verändern, es darf allerdings kein exzentrisches Aneurysma (Pseudoaneurysma, siehe auch Kapitel V, Abschnitt 6 Annulusruptur mit Abbildungen) oder Flüssigkeit um die Aortenwurzel abgrenzbar sein [11].

### Spezialfall transapikale TAVI

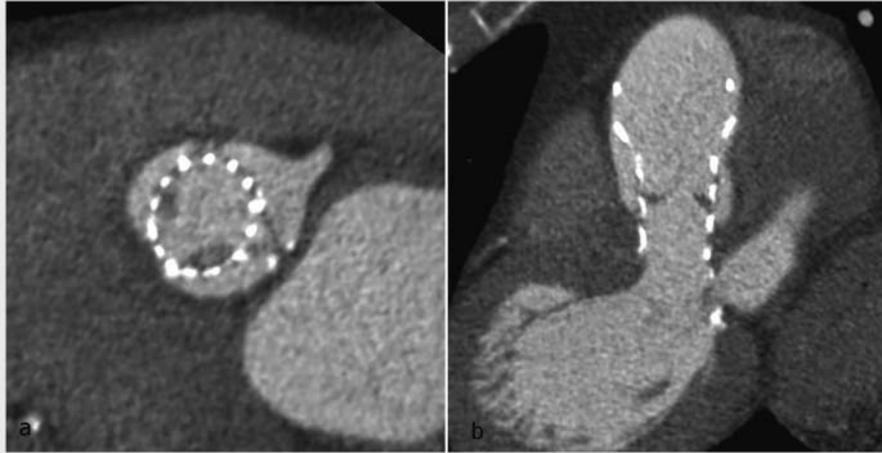
Nach einer transapikalen TAVI mit Zugangsweg über die Herzspitze findet sich in der Regel hyperdenses Nahtmaterial (Filz) außen um die Herzspitze (► **Abb. 4a**). Dies darf nicht mit der seltenen Komplikation eines Nahtaneurysmas nach transapikaler TAVI verwechselt werden (► **Abb. 4b**) [4, 12]. Rein aufgrund der Dichte ist

Filzmaterial in der arteriellen Phase unter Umständen nicht von einem Pseudoaneurysma zu differenzieren. Der typische Verlauf und die Konfiguration des Filzmaterials an der Herzspitze ermöglichen jedoch meist die Unterscheidung. Bei Unklarheiten oder der primär bestehenden Fragestellung nach Nahtaneurysma kann hier ein natives EKG-getriggertes Low-dose-CT (wie beim Kalzium-Scoring in der Koronarbildgebung) ergänzt werden. Nach transapikaler TAVI gehören mediastinale Lufteinschlüsse und geringe mediastinale Flüssigkeit zu den häufigen postoperativen Befunden und haben keine pathologische Bedeutung.

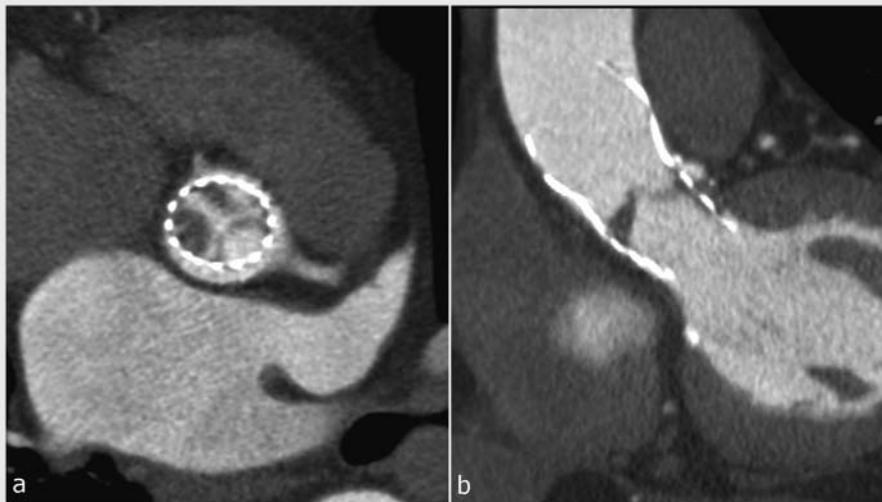
## Komplikationen

### Klappenthrombosen

Die im postinterventionellen CT am häufigsten beobachtete Komplikation ist die Klappenthrombose. Die Inzidenz früher Klappen-



► **Abb. 5** Verdickung jeweils an der Basis des rechts- und akoronaren Segels in **a** axialer und **b** parasagittaler Schichtführung, typisch für eine Klappenthrombose.



► **Abb. 6** Fortgeschrittene Klappenthrombose einer CoreValve-Prothese mit ausgeprägter Verdickung vor allem des rechts- und akoronaren Segels **a** axial, **b** parasagittal. Begleitend bestand eine fortgeschrittene Hypokinesie, welche sich in der Echokardiografie als Stenose manifestierte.

thrombosen ist deutlich höher als ehemals angenommen und liegt in Post-TAVI-follow-up-Studien mittels MDCT bei 5–10% [1, 3]. Hierbei ist folgendes bei der Befundung zu beachten: Die Segel aller Prothesentypen sind sehr dünn, in der Regel dünner als chirurgische Klappen (<0,35 mm). Sie dürfen im CT nur als feine lineare Hypodensitäten abgrenzbar sein. Jede kleinste Verdickung ist nicht mehr als „normal“ einzuordnen. Im CT werden die Segel daher nicht vermessen. Ein Cut-off-Wert ist in der Literatur nicht beschrieben und die Verdickungen werden rein visuell beschrieben. Zur Abgrenzung gegenüber einem Artefakt wird eine hypodense Verbreiterung des Segels als echte Klappenverdickung definiert, wenn diese in multiplanaren Rekonstruktionen (MPRs) in mindestens 2 Ebenen und in mindestens 2 Phasen des Herzzyklus abgrenzbar ist (► **Abb. 5a, b, 6a, b**) [2, 3]. Eine Thrombose des Klappensegels

kann, muss aber nicht zwingend mit einer Hypokinesie des entsprechenden Klappensegels einhergehen. Ein oder mehrere Segel können betroffen sein ► **Video 2**

Differenzialdiagnostisch weist eine an der Basis betonte Verdickung eines Segels eher auf eine Klappenthrombose hin, wohingegen bei einer Verdickung der Prothesensegel mit frei flottierenden Strukturen an die seltene Komplikation einer infektiösen Endokarditis zu denken ist [3, 13, 14].

Frühe, kleinere Thrombosen sind oft asymptomatisch. In der transthorakalen Echokardiografie zeigen ein erhöhter mittlerer Druckgradient und ein erhöhter Geschwindigkeitsquotient über der Klappenprothese eine Stenose an, welche oft durch eine Thrombose verursacht ist [15]. Geringe Klappenthrombosen gehen jedoch nicht zwangsläufig mit einer Hypokinesie und somit

## OP-VIDEO



► **Video 2** Befund aus ► **Abb. 4**. Thrombotische Auflagerungen des rechts- und akoronaren Segels. An den verdickten Stellen besteht eine Minderbeweglichkeit.

auch nicht mit einer Stenose einher. Sie sind daher im transthorakalen Echo meist nicht nachweisbar [1]. Selbst in der transösophagealen Echokardiografie kann die Thrombose durch Schallauslöschungsartefakte des TAVI-Stents nicht abgrenzbar sein [1, 2].

Die Behandlung klinisch okkultter Klappenthrombosen nach TAVI mit Antikoagulantien wird kontrovers diskutiert [3].

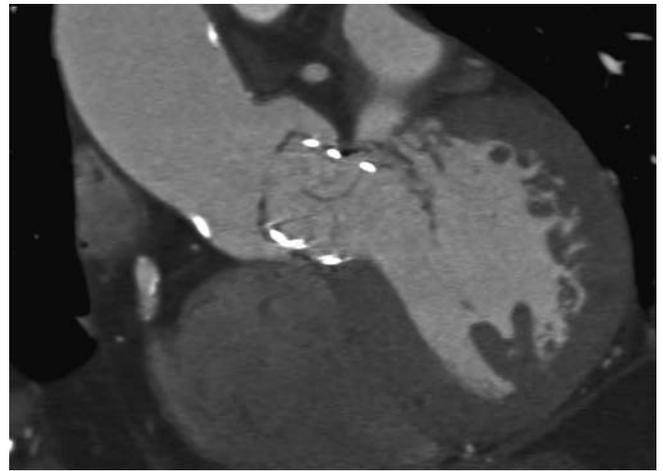
### Fehlerhafte Klappenposition

Wie im Abschnitt Normalbefunde erläutert, sollte die Prothese idealerweise so positioniert sein, dass der gecoverte Anteil des Stents die ursprüngliche Klappe vollständig überdeckt. Ist dies nicht der Fall können die originären Klappentaschen in das Lumen ragen und zu einer Obstruktion führen (► **Abb. 7**). Die fehlerhafte Stentposition kann außerdem ein erhöhtes Risiko für eine sekundäre Dislokation darstellen (► **Abb. 8**).

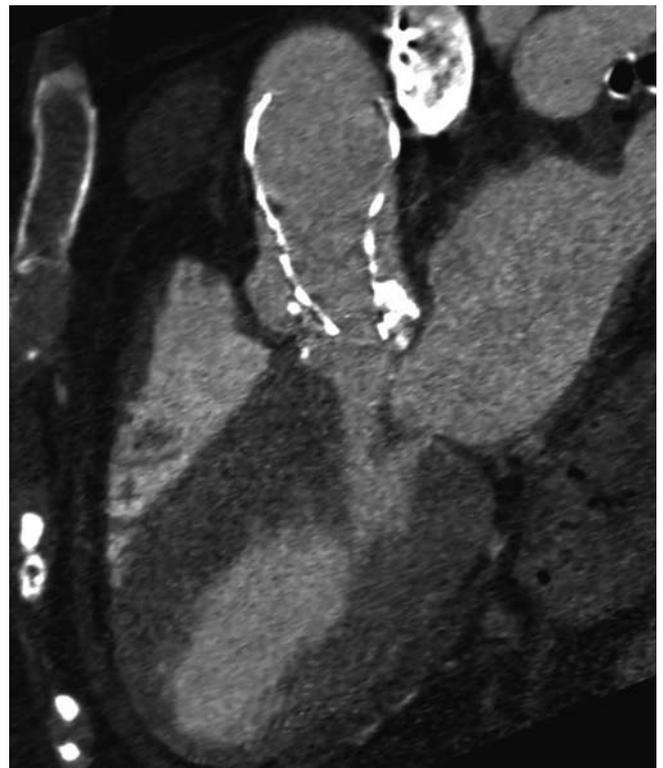
### Stentdislokation

Die Stentdislokation nach initial korrekter Position ist eine seltene Komplikation und tritt meist noch während der Intervention auf (0,2% der Patienten [16]). Im Falle einer zu tiefen Position der Klappenprothese mit hämodynamisch relevanter paraaortaler Regurgitation wird zunächst noch während der Intervention versucht, mit einer speziellen Kathedertechnik („Lasso“-Technik) die Klappe manuell zu repositionieren [8]. Falls das nicht gelingt besteht die Möglichkeit, eine zweite Klappe ein kleines Stück weiter distal in die Aorta einzusetzen um eine paravalvuläre Regurgitation abzudecken.

Bei initial zu hoch implantierter Klappenprothese oder bei einer sekundären Dislokation nach distal mit hämodynamischer Relevanz oder einer Verlegung der Koronarostien wird versucht, die Klappe weiter distal vom Annulus in die Aorta ascendens zu repositionieren, um Platz für eine zweite Klappenprothese zu schaffen und diese in korrekter Position einzusetzen [8].



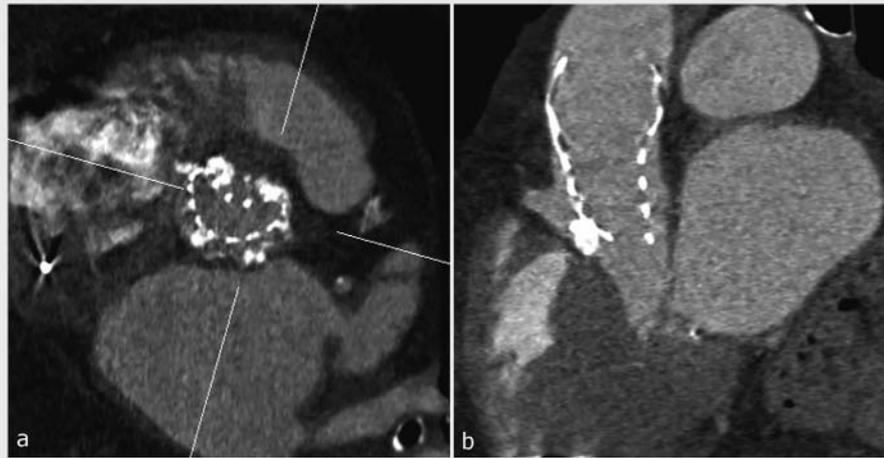
► **Abb. 7** Zu tiefe Position einer Edwards SAPIEN 3-Prothese im LVOT mit über das Stentgitter reichenden originären Klappentaschen, welche hier glücklicherweise nicht zu einer wesentlichen Obstruktion führten.



► **Abb. 8** Zu hohe Position einer CoreValve-Prothese in der Aortenwurzel. Bei ausgeprägten, konfluierenden Verkalkungen der originären Taschen konnte die Prothese hier nicht tief genug platziert werden, sodass das inferiore Stentende nur knapp mit dem ursprünglichen Annulus abschließt. Darüber hinaus gehend ist der Stent nicht vollständig entfaltet. Die Gefahr einer sekundären Dislokation nach distal in die Aorta ascendens ist erhöht.

### Okklusion der Koronarostien

Eine Okklusion der Koronarostien durch eine sehr hohe Stentlage ist sehr selten, da bei der Edwards SAPIEN- und der Lotus-Prothese



► **Abb. 9** Selber Patient wie in ► **Abb. 8** Ausgeprägte Kalzifizierungen führen zu einer Pelottierung des Stents **a**. Dieser liegt dem LVOT nicht mehr vollständig an **b**. Die Folge ist eine paravalvuläre Insuffizienz.

nur die unteren Stentanteile gecouvert sind und bei der CoreValve-Prothese eine deutliche Taillierung auf Höhe der Koronarostien besteht [4, 9, 12]. Eine Okklusion der Ostien kann jedoch nicht nur durch den Stent selbst, sondern auch durch eine Positionierung der originären verkalkten Klappen vor das Ostium, eine Aortendissektion mit Beteiligung der Koronararterie oder eine Embolisation von Kalk oder Auflagerungen auf der alten Aortenklappe in die Koronararterien auftreten. Sie ist allerdings eine insgesamt sehr seltene akute Komplikation, welche im akuten Setting in der Regel während der Intervention in der Angiografie oder in der Echokardiografie diagnostiziert und nur in extremen Ausnahmefällen im CT nachgewiesen wird [17–19]. Die Gesamtinzidenz beträgt in Studien 0,66% [20]. Die akute Okklusion konnte in den meisten Fällen katheterinterventionell therapiert werden, in wenigen Fällen war die Konversion in eine offene Bypass-OP nötig [19, 20]. Zur Protektion wird, falls das Risiko hoch erscheint, eine Katheterisierung mit einem koronaren Draht vor dem Einsetzen der Klappe angeraten. Die Verwendung einer wieder zurückziehbaren Klappe (z. B. Lotus) kann ebenfalls hilfreich sein [20].

### Fehlerhafte Stententfaltung

Selten führt eine ausgeprägte, asymmetrische Verkalkung der originären Aortenklappe zu einer unvollständigen Stententfaltung. Hieraus resultiert meist eine unvollständige Adaptation des Stents an den LVOT mit der Folge einer paravalvulären Regurgitation (► **Abb. 9a, b**) [4]. Eine optimale Position und Entfaltung der Klappenprothese schließt eine paravalvuläre Insuffizienz jedoch nicht aus. Im Gegenteil sind unserer Erfahrung nach die meisten in der Echokardiografie nachgewiesenen paravalvulären Insuffizienzen in der MDCT auch retrospektiv nicht nachweisbar. Die Dopplertechnik der Echokardiografie führt zu einem deutlich sensitiveren Nachweis paravalvulärer Insuffizienzen als die MDCT.

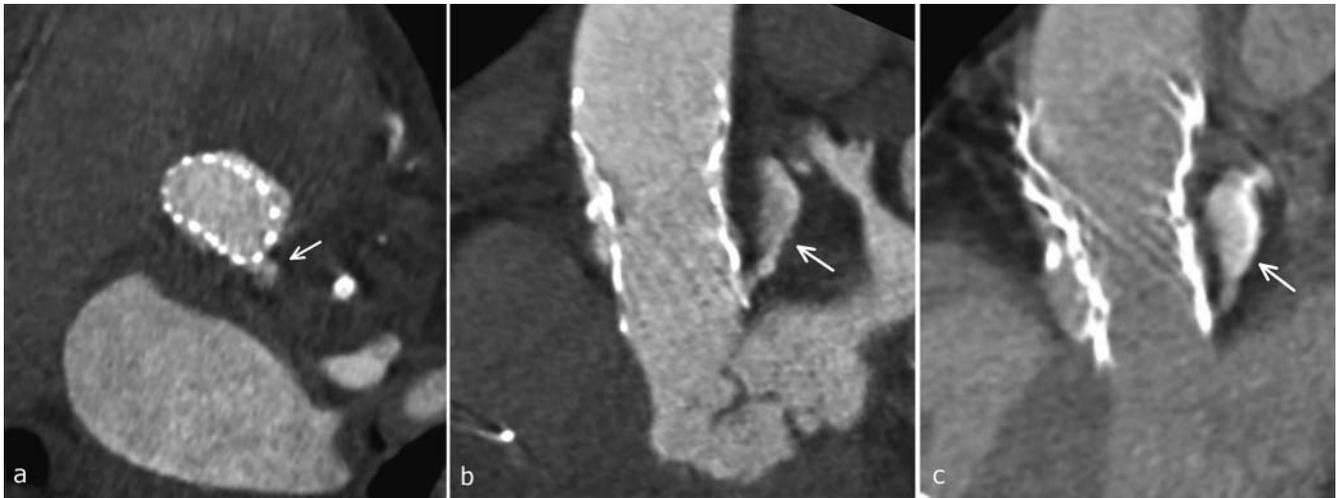
### Annulusruptur – seltene aber lebensbedrohliche Komplikation

Eine lebensbedrohliche postinterventionelle Komplikation ist die Ruptur des Aortenannulus. Risikofaktor ist unter anderem eine starke Verkalkung des linksventrikulären Ausflusstraktes [21]. In der MDCT zeigt sich ein Kontrastmittelextravasat. Dieses kann eine KM-Fahne im Sinne einer aktiven Blutung (KM-Pooling) oder ein Pseudoaneurysma im Sinne einer gedeckten Ruptur sein (► **Abb. 10a–c, 11a–c**). Begleitend besteht in der Regel ein mediastinales Hämatom. Bei Perforation in den Herzbeutel kann ein Hämoperikard zu einer Perikardtamponade führen.

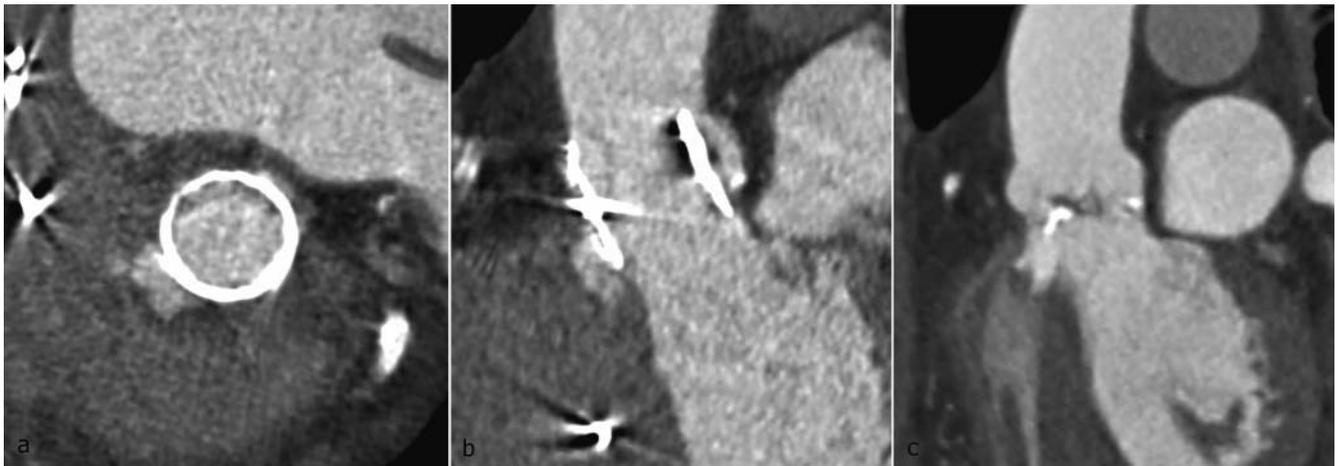
### Diskussion – Indikation der Post-TAVI-MDCT

Für den routinemäßigen Einsatz der MDCT bei allen Patienten nach TAVI gibt es bisher keine Empfehlung, ein Thema, welches in der Literatur kontrovers diskutiert wird. In Studien hat sich bisher gezeigt, dass kleine, mittels MDCT entdeckte Thrombosen meist klinisch inapparent sind. Sie sind nicht unbedingt mit einer funktionellen Beeinträchtigung der Klappe oder Herzinsuffizienz assoziiert [3, 22]. In diesen Fällen wird die Antikoagulation als Konsequenz in der Literatur kritisch hinterfragt [3]. Für das Gesamtkollektiv der TAVI-Patienten sind die späte Dislokation des Stents (0,2% der Patienten [16]) und die Koronararterienokklusion (0,66% der Patienten [20]) ebenfalls sehr seltene Komplikationen, welche für asymptotische Patienten vermutlich keinen Routineeinsatz des CT nach TAVI rechtfertigen würden. Auch paravalvuläre Insuffizienzen sind keine primäre Indikation für die Computertomografie, da sie, wie oben beschrieben, in der Regel mittels Echokardiografie gut diagnostiziert werden können.

Andererseits zeigte eine Studie von 135 Patienten, welche alle ein Routine-Follow-up-MDCT nach TAVI erhielten, bei 4–5% der Patienten schwerwiegende Komplikationen. Hierzu zählten eine Ruptur der Sinus Valsalvae, Aortendissektion, intramurales Hämatom und ein linksventrikuläres Pseudoaneurysma [23]. Bei 4 Patienten waren diese Komplikationen asymptomatisch und



► **Abb. 10** Akute Annulusruptur (Pfeile). **a** Axiale Schicht auf Annulushöhe mit Ursprung des KM-Extravasats aus der Aortenwurzel unter der links-koronaren Tasche. **b, c** Parasagittale Darstellung des gesamten Extravasats zwischen Aortenwurzel und linkem Vorhof in **b** arterieller und **c** venöser Phase, passend zu einer gedeckten Ruptur.



► **Abb. 11** Diese Abbildung zeigt keine post-interventionelle Annulusruptur. Das in **a, b** dargestellte exzentrische Pseudoaneurysma ist allein bildgebend nicht von einer Annulusruptur zu differenzieren. Prä-Interventionell war das Pseudoaneurysma jedoch bereits vorbestehend (im prä-TAVI CT bereits abgrenzbar **c**). Es entspricht einem paravalvulären Abszess nach stattgehabter Endokarditis, der sich nun als Pseudoaneurysma darstellt. Die TAVI konnte trotz des Pseudoaneurysmas komplikationslos durchgeführt werden. Der Patient war zum Zeitpunkt der post-TAVI-Bildgebung asymptomatisch.

sind im MDCT erstmals aufgefallen. Darüber hinaus zeigten Studien, dass frühe Klappenthrombosen in den ersten drei Monaten nach TAVI häufiger sind als bisher angenommen (4–10% der Patienten) [1, 3]. Ohne Antikoagulation oder mit alleiniger dualer Plättchenaggregationshemmung schreiten sie in der Regel voran und können im Verlauf zu signifikanten Bewegungseinschränkungen mit der Folge einer hämodynamisch relevanten Klappenstenose führen. Unter Antikoagulation mit Phenprocoumon plus Clopidogrel waren die Klappenthrombosen rückläufig. Patienten mit kleinen, subklinischen Klappenthrombosen müssen deshalb noch keine Antikoagulation erhalten, sollten jedoch umso genauer beobachtet werden [3].

Relativ unumstritten ist der Einsatz der Post-TAVI-MDCT zur weiteren Abklärung bei neuer oder fortschreitender Funktionsein-

schränkung der Klappe, bei klinischer Verschlechterung oder unklaren echokardiografischen und klinischen Befunden.

Die Prätestwahrscheinlichkeit von Komplikationen ist für diese Patienten nach Untersuchung durch die Kardiologen und interdisziplinärer Absprache natürlich viel höher als für das Gesamtkollektiv (s. o. in Prozent).

In seltenen Fällen, in denen bereits während der Intervention eine schwerwiegende Komplikation wie z. B. eine Annulusruptur vermutet wird, sollte eine Post-TAVI-Bildgebung mittels MDCT immer und rasch erfolgen.

Das Post-TAVI-MDCT ist hierfür eine schnelle und relativ sichere Methode, die mit vergleichsweise wenig Kontrastmittel auskommt. Die Dosis ist zwar relativ hoch (in Studien mit retrospektivem Gating ca. 16 mSv bei einer Scanlänge von 15 cm) [24], es ist

aber zu berücksichtigen, dass Patienten, bei denen eine TAVI-Prothese implantiert wurde, durchschnittlich ein hohes Alter haben und meist Komorbiditäten aufweisen. Nicht für alle Fragestellungen ist allerdings ein retrospektives Gating mit Datenaquisition über den gesamten Herzzyklus nötig. Zum Ausschluss einer Aortendissektion oder einer Fehllage des Stents ist ein prospektives EKG-Gating mit Datenaquisition nur innerhalb eines engen Zeitfensters, z. B. während der Diastole, ausreichend. Dies kann zu einer deutlichen Dosisreduktion führen. Der Nachteil des prospektiven Gatings ist allerdings, dass nicht in dem Maße wie beim retrospektiven Gating die Möglichkeit besteht, die Rohdaten zu verschiedenen Zeitpunkten im EKG-Zyklus zu rekonstruieren (Auswahl der „besten“ Rekonstruktionsphase) oder EKG-Synchronisationspunkte beliebig zu ändern. Im Fall einer Arrhythmie kann dies beim retrospektiven Gating eine deutliche Verbesserung der Bildqualität bewirken.

## Zusammenfassung

Mit einer nur geringen Menge Kontrastmittel kann mittels retrospektiv EKG-getriggter MDCT eine Aortenklappenprothese nach Transkatheter-Aortenklappen-Implantation (TAVI) räumlich hochaufgelöst in mehreren Phasen des Herzzyklus gut dargestellt werden. Voraussetzungen für die sichere Beurteilung des MDCT sind Grundkenntnisse der Klappentypen sowie die Kenntnis des postinterventionellen Normalbefundes, welche in diesem Artikel erläutert wurden. Die MDCT ist der Echokardiografie im direkten Nachweis einer Klappenthrombose überlegen. Die Erfassung mehrerer Phasen des Herzzyklus erlaubt eine Funktionsanalyse der Klappe und somit das Erkennen einer Hypokinesie bei Klappenthrombose. Postinterventionell ist auf die Lage der stentgetragenen Klappe, die Stententfaltung und die Integrität der Aortenwurzel zu achten. Lebensbedrohliche Komplikationen wie eine Annulusruptur können im CT sicher diagnostiziert werden.

## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- [1] Leetmaa T, Hansson NC, Leipsic J et al. Early Aortic Transcatheter Heart Valve Thrombosis: Diagnostic Value of Contrast-Enhanced Multidetector Computed Tomography. *Circ Cardiovasc Interv* 2015; 8: e001596. doi:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.001596
- [2] Pache G, Schoechlin S, Blanke P et al. Early hypo-attenuated leaflet thickening in balloon-expandable transcatheter aortic heart valves. *European Heart Journal* 2016; 28: 2263–2271
- [3] Ruile P, Jander N, Blanke P et al. Course of early subclinical leaflet thrombosis after transcatheter aortic valve implantation with or without oral anticoagulation. *Clinical Research in Cardiology* 2016; 106: 85–95
- [4] Blanke P, Schoepf U, Leipsic J et al. CT in Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Radiology* 2013; 3: 650–669
- [5] Litmanovich DE, Ghersi E, Burke DA et al. Imaging in Transcatheter Aortic Valve Replacement (TAVR): role of the radiologist. *Insights into Imaging* 2014; 1: 123–145
- [6] Dvir D, Lavi Ifat et al. Multicenter Evaluation of Edwards SAPIEN Positioning During Transcatheter Aortic Valve Implantation With Correlates for Device Movement During Final Deployment. *JACC: Cardiovascular Interventions* 2012; 5: 563–570
- [7] Jilaihawi H, Chin D, Spyt T et al. Prosthesis-patient mismatch after transcatheter aortic valve implantation with the Medtronic-Corevalve bioprosthesis. *European Heart Journal* 2010; 7: 857–864
- [8] Laborde JC, Breaker SJ, Roy D et al. Complications at the time of transcatheter aortic valve implantation. *Methodist DeBakey Cardiovasc J* 2012; 8: 38–41
- [9] Halapas A, Chrissoheris M, Bouboulis N et al. Update on current TAVI technology, indications, screening, and outcomes. *Continuing Cardiology Education* 2016; 1: 37–46
- [10] De Backer O et al. Efficacy and safety of the Lotus Valve System for treatment of patients with severe aortic valve stenosis and intermediate surgical risk: Results from the Nordic Lotus-TAVR registry. *International Journal of Cardiology* 2016; 219: 92–97
- [11] Leipsic J, Gurvitch R, LaBounty TM et al. Multidetector Computed Tomography in Transcatheter Aortic Valve Implantation. *JACC: Cardiovascular Imaging* 2011; 4: 416–429
- [12] Vanezis AP, Baig MK, Mitchel IM et al. Pseudoaneurysm of the left ventricle following apical approach TAVI. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2011; 1: 79
- [13] Lane AB, Cahill MS, Letizia AG et al. Multimodality imaging of multivalvular endocarditis after transcatheter aortic valve replacement. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 2015; 1: 68–70
- [14] Entrikin DW, Gupta P, Kon ND et al. Imaging of infective endocarditis with cardiac CT angiography. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 2012; 6: 399–405
- [15] Spethmann S, Dreger H, Schattke S et al. Doppler haemodynamics and effective orifice areas of Edwards SAPIEN and CoreValve transcatheter aortic valves. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging* 2012; 8: 690–696
- [16] Uzoma N et al. Review of Reported Causes of Device Embolization Following Trans-Catheter Aortic Valve Implantation. *Am J Cardiol* 2015; 115: 1767–1772
- [17] Kuck KH, Eggebrecht H, Figulla HR et al. Qualitätskriterien zur Durchführung der transkathetären Aortenklappenimplantation (TAVI). *Der Kardiologe* 2015; 1: 11–26
- [18] Ribeiro HB, Webb JG, Makkar RR et al. Predictive Factors, Management, and Clinical Outcomes of Coronary Obstruction Following Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Journal of the American College of Cardiology* 2013; 17: 1552–1562
- [19] Ribeiro HB, Sarmento-Leite R et al. Coronary Obstruction Following Transcatheter Aortic Valve Implantation. *JACC Cardiovascular Interventions* 2013; 6: 452–461
- [20] Takahide A et al. Incidence and Predictors of Coronary Obstruction Following Transcatheter Aortic Valve Implantation in the Real World. *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 2017; 90: 1192–1197
- [21] Hayashida K, Bouvier E et al. Potential Mechanism of Annulus Rupture During Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 2013; 82: E742–E746
- [22] Jeroen J et al. Does computed tomography detect bioprosthetic aortic valve thrombosis? New findings, new questions? *European Heart Journal* 2016; 37: 2272–2275
- [23] Yuki K et al. Impact of Subclinical Vascular Complications Detected by Systematic Postprocedural Multidetector Computed Tomography After Transcatheter Aortic Valve Implantation Using Balloon-Expandable Edwards SAPIEN XT Heart Valve. *Am J Cardiol* 2017; 119: 1100–1105
- [24] Kristiansen J et al. Multi detector computed tomography (MDCT) of the aortic root; ECG-gated versus non-ECG-gated examinations. *Radiography* 2011; 17: 218–222