

J. Rieber¹ · C. Rohkohl^{2,3} · G. Lauritsch³ · H. Rittger⁴ · O. Meissner^{3,5}

¹ Abteilung für Kardiologie, Medizinische Poliklinik, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München, Campus Innenstadt, München

² Lehrstuhl für Mustererkennung, Department Informatik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

³ Siemens AG, Healthcare Sector, Forchheim, Forchheim

⁴ Abteilung für Kardiologie, Krankenhaus Coburg, Coburg

⁵ Institut für Klinische Radiologie, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München, München

Kardiale Anwendung der C-Arm-Computertomographie

Die Weiterentwicklung der C-Arm-Computertomographie (CACT) eröffnet für die Untersuchung des Herzens bisher ungeahnte Möglichkeiten. Mit herkömmlichen C-Bogen-Anlagen können dreidimensionale Abbildungen der relevanten kardialen Strukturen erstellt und für weitere Anwendungen nutzbar gemacht werden. Durch zunehmenden Einsatz immer komplexerer Interventionsstrategien kommt der genauen dreidimensionalen Darstellung eine besonders wichtige Rolle zu.

Die Krankheiten des kardiovaskulären Systems sind weiterhin wesentlich verantwortlich für die Morbidität und Mortalität in den Industriestaaten und gewinnen mit der Eindämmung der Infektionskrankheiten an Bedeutung für die Entwicklungsländer [28]. Während der letzten Jahrzehnte konnten eine Vielzahl neuer Krankheitsentitäten erforscht und in vielen Fällen auch Behandlungsmöglichkeiten entwickelt werden. Die fortschreitende Miniaturisierung der benutzten Techniken hat den Trend zu weniger invasiven Therapieverfahren in der Kardiologie beschleunigt. Dies gilt insbesondere für die koronare Herzerkrankung (KHK), strukturelle Herzerkrankungen, angebo-

rene Herzfehler und kardiale Arrhythmien [17, 20].

Die Entwicklung neuer interventioneller Behandlungsmöglichkeiten und deren steigende Komplexität verlangt aber auch nach stetigen Verbesserungen und Innovationen bei den bildgebenden Verfahren. Dabei sind je nach Art der interventionellen Prozedur oftmals ganz unterschiedliche Anforderungen an die bildgebenden Modalitäten zu stellen.

Das Spektrum reicht dabei von der schnellen und genauen Übersichtsdarstellung der Anatomie über die Darstellung von Strukturen im Submillimeterbereich bis hin zu funktionellen Darstellungen.

Im Folgenden sollen die derzeit gebräuchlichen und möglicherweise künftigen Einsatzgebiete der C-Arm-CT-(CACT-)Technologie im Bereich der Kardiologie aufgezeigt werden.

Angiographie und Mehrschicht-computertomographie als Grundlagen der interventionellen kardiologischen Bildgebung

Die kathetergestützte Angiographie gilt seit Jahrzehnten als die Standardmethode der interventionellen Kardiologie. Sie ist einfach durchzuführen und zu erlernen und erlaubt in kurzer Zeit einen guten Überblick über die relevanten Or-

gan- und Gefäßstrukturen. Die Koronarangiographie erreicht dabei eine sehr hohe zeitliche und auch örtliche Auflösung [19]. Neben dem rein diagnostischen Einsatz wird sie auch für die Steuerung der verschiedenen interventionellen Therapieverfahren eingesetzt. Mit den modernen Detektortechnologien können Angiographieranlagen neben den konventionellen zweidimensionalen (2D-)Aufnahmen auch Datensätze für die dreidimensionale (3D-)Bildgebung aufzeichnen und damit eine der CT ähnliche Darstellung erreichen [10, 12, 13, 22, 25].

Wie bei der herkömmlichen CT bewegen sich die Röntgenquelle und der Detektor in einem Kreisbogen um den Patienten und nehmen dabei, abhängig von den gewählten Einstellungen, mehrere hundert Bilder aus verschiedenen Positionen auf. Mithilfe eines Feldkamp-Kegelstrahl-Rekonstruktionsalgorithmus können aus diesen 2D-Bildern dann 3D-Datensätze generiert werden [7, 18]. Verschiedene komplexe Nachverarbeitungsalgorithmen der gemessenen Projektionsdaten müssen vor der Rekonstruktion angewendet werden, um physikalische Effekte wie z. B. Streuungs- und Aufhärtungsartefakte auszugleichen.

Ein wichtiger Vorteil der konventionellen Mehrschichtcomputertomographie (MSCT), die heute bereits eine wei-

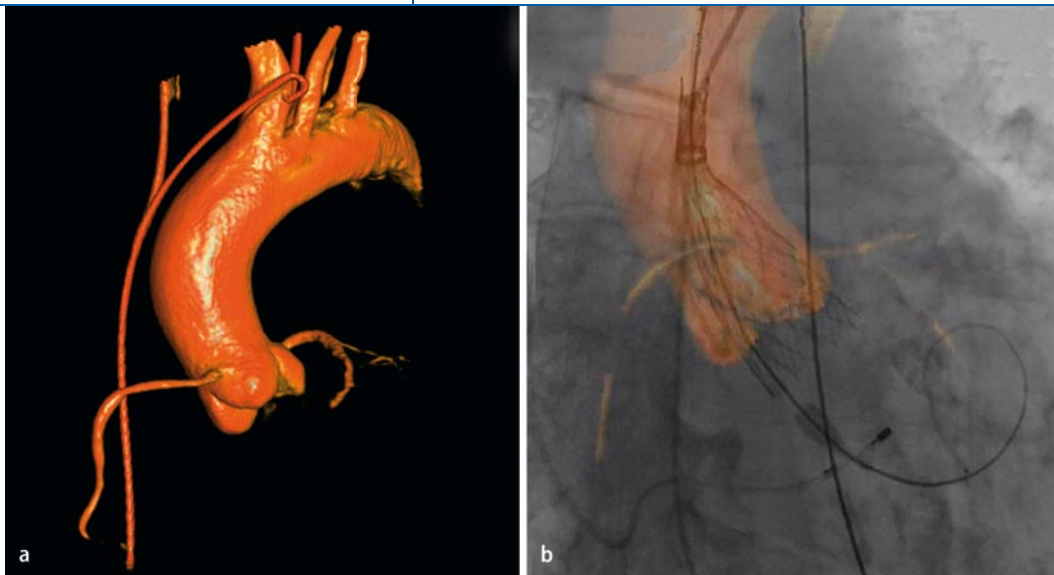


Abb. 1 ◀ **a** Segmentierte Darstellung der Aortenwurzel mittels CACT. Die Aufnahme erfolgte unter schneller Ventrikelstimulation („rapid pacing“), wodurch die Organbewegung auf ein Minimum reduziert wird. **b** Überlagerung der segmentierten Aortenwurzel mit dem Durchleuchtungsbild. Hierdurch wird die Platzierung der Aortenklappe während der Freisetzung des klappentragenden Stents deutlich erleichtert. (Bildquelle: Herzzentrum Leipzig; Deutsches Herzzentrum München)

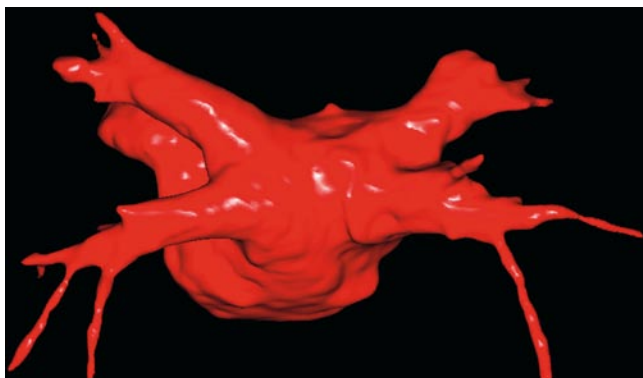


Abb. 2 ◀ Segmentierte Darstellung des linken Vorhofs nach Bildakquisition mittels C-Arm-CT

te Verbreitung zur nichtinvasiven Darstellung der kardialen Strukturen gefunden hat, ist deren bessere zeitliche Auflösung. Während diese je nach Hersteller bei der MSCT bei ca. 180–85 ms liegt, benötigt die Bildakquisition bei der CACT ca. 5 s. Dies ist bei unbewegten Organen unbedenklich, stellt jedoch für die kardiale Bildakquisition eine schwierige Herausforderung dar. Um diese Limitation technisch zumindest teilweise auszugleichen, können entweder eine prospektive EKG-Triggerung oder ein retrospektives EKG-„Gating“ angewendet werden [18]. Die Bewegungsunschärfen aufgrund der Atemexkursionen lassen sich hiermit jedoch nicht ausgleichen. Der wesentliche Vorteil der CACT gegenüber der konventionellen MSCT besteht darin, dass dieses Verfahren direkt im Herzkatheterlabor angewendet und ein Patiententransfer damit umgangen werden kann.

Anwendungsgebiete der CACT

Interventioneller Aortenklappenersatz

Die hochgradige Aortenklappenstenose ist eine lebensbedrohende Erkrankung mit einer sehr schlechten Prognose, vergleichbar der eines metastasierten Bronchialkarzinoms. Die Überlebensraten bewegen sich um 60% nach einem und nur 30% nach 5 Jahren. Mit dem operativen Klappenersatz steht ein etabliertes Therapieverfahren zur Verfügung, das die Symptome des Patienten rasch verbessern und die Mortalität deutlich senken kann. Nachdem die Aortenstenose vorwiegend ältere Menschen betrifft, schränkt die hohe Komorbidität in dieser Altersgruppe die Indikationsstellung jedoch deutlich ein.

Durch die Entwicklung des kathetergestützten Klappenersatzes konnte in den letzten Jahren vielen Patienten, die für einen offenen operativen Klappenersatz

aufgrund der bestehenden Komorbidität nicht in Frage kamen, eine wirkungsvolle Therapieoption eröffnet werden. Für den interventionellen Klappenersatz werden derzeit hauptsächlich 2 unterschiedliche Klappentypen benutzt,

- die Edwards-Sapien-Prothese (Edwards Lifescience, Irvine, Kalifornien) und
- das CoreValve-System (CoreValve Inc., Irvine, Kalifornien).

Bisher wurden diese Klappen bereits bei über 4000 Patienten eingesetzt, mit einer für die Schwere der Erkrankung akzeptablen Mortalität zwischen 8 und 20% [27]. Das Prinzip beider Klappen ist ähnlich. Auf einem ballonexpandierbarem oder selbstexpandierenden Stentsystem ist eine biologische Klappenprothese aufgebracht, die nach ausreichender Vordilatation der stenosierten Aortenklappe mittels Katheter unter Durchleuchtung in die Klappenebene eingebracht und dort implantiert wird. Um eine optimale Funktion des Implantats zu gewährleisten, sind die Auswahl der richtigen Klappengröße und die exakte Positionierung von besonderer Bedeutung [27]. Besonders bei der Edwards-Sapien-Prothese muss zudem darauf geachtet werden, dass die Prothese nicht die Ostien der Koronararterien verlegt. Ebenso dürfen die Klappen auch nicht zu tief im linksventrikulären Ausflusstrakt implantiert werden, da sonst ein paravalvuläres Leck verbleibt, das später sehr schwierig zu korrigieren ist.

Die CACT kann diese neue Therapieform effektiv unterstützen. Mit einer kontrastmittelverstärkten CACT können Aortenwurzel und Aorta ascendens dargestellt und aus dem so gewonnenen 3D-Datensatz alle für die Planung erforderlichen Durchmesser bestimmt werden. Insbesondere der Durchmesser der Aortenwurzel und der Abstand der Klappenebene zu den Ostien der Koronararterien lassen sich auf diese Weise sehr exakt quantifizieren (■ **Abb. 1**). Durch die Anwendung spezieller Nachverarbeitungsalgorithmen kann eine automatische Segmentierung erfolgen, die es erlaubt, die wesentlichen Landmarken einfach und zeitsparend zu bestimmen. Zusätzlich wird derzeit an Möglichkeiten für weitere elektronische Hilfestellungen gearbeitet, die es dem Operateur gestatten, das segmentierte Modell der Aortenwurzel mit der Durchleuchtung zu überlagern, um so eine optimale Positionierung des Implantats zu gewährleisten (■ **Abb. 1b**).

Interventionelle Behandlung bei Vorhofflimmern

Ein anderes lohnendes Anwendungsgebiet der CACT ist die interventionelle Behandlung von Vorhofflimmern. Diese Erkrankung hat unter der westeuropäischen Bevölkerung eine hohe Prävalenz, die mit einer Zunahme der Lebenserwartung der Bevölkerung mutmaßlich noch weiter steigen wird. Obwohl diese Erkrankung primär nicht mit einer signifikant erhöhten Morbidität einhergeht, kann sie jedoch einige Komplikationen verursachen und zu einer deutlichen Einschränkung der Lebensqualität führen [9]. Falls die rein medikamentös-konservative Therapie keinen nachhaltigen Erfolg zeitigt, kann versucht werden, die vorhandene elektrische Störung interventionell zu behandeln. Hierbei liegt das arrhythmogene Substrat der Erkrankung oftmals im Bereich der Mündung der Pulmonalvenen in den linken Vorhof.

Das Prinzip der sog. Pulmonalvenenisolation (PVI) beruht darauf, diese arrhythmogenen Areale vom restlichen Myokard elektrisch zu isolieren. Diese Eingriffe sind in vielen Fällen relativ kompliziert, können mehrere Stunden in Anspruch nehmen und gehen mit einer ho-

hen Strahlungsbelastung einher [4, 14]. Eine genaue Kenntnis der jeweiligen anatomischen Situation während des Eingriffs könnte daher die Dauer der Prozedur, die Strahlenbelastung und auch die Komplikationsrate reduzieren. Mithilfe der 3D-Information der CACT können die für die Prozedur relevanten Teile des Herzens (z. B. linker Vorhof, Morphologie der Pulmonalvenen, gemeinsame Ostien) dargestellt und segmentiert werden (■ **Abb. 2**). Diese Darstellung kann dann ebenfalls dem Durchleuchtungsbild überlagert werden und so dem Untersucher jederzeit eine optimale räumliche Orientierung ermöglichen. Außerdem ermöglicht die CACT, die räumliche Nähe zu umgebenden Strukturen wie z. B. dem Ösophagus darzustellen und kann so helfen, typische Komplikationen wie die Entstehung einer Ösophagusfistel zu vermeiden [26].

Koronarintervention

Neben der Bypassoperation und der medikamentös-konservativen Therapie stellt die perkutante transluminale Koronarangioplastie (PTCA) die wichtigste Behandlungsmöglichkeit der koronaren Herzerkrankung dar. So wurden allein im Jahre 2007 in Deutschland fast 300.000 PTCA durchgeführt und dabei 261.000 Stents implantiert. Insgesamt ist es damit ein weiteres Jahr in Folge zu einer nochmaligen Zunahme der Interventionszahlen gekommen. Gleichzeitig konnte aber auch die Sterbeziffer (die Anzahl gestorbener Personen/100.000 Einwohner) dieser Erkrankung von 216 im Jahre 1990 auf 175 im Jahre 2006 reduziert werden [2]. Auch werden heute zunehmend komplexere Läsionen interventionell behandelt, für die früher nur eine operative Therapieoption bestand. Zu diesen komplexeren Läsionen zählen chronische Gefäßverschlüsse (CTO), Bifurkationen und schwierige Gefäßgeometrien.

Aufgrund optischer Verkürzungen und Überlagerungen ist die reine 2D-Angiographie bei der Darstellung dieser komplexen Situationen limitiert. Eine dreidimensionale Darstellung könnte eine deutliche Verbesserung bringen. Im Gegensatz zur konventionellen MSCT besteht der Vorteil der CACT-Technologie bei die-

Radiologe 2009
DOI 10.1007/s00117-009-1869-0
© Springer Medizin Verlag 2009

J. Rieber · C. Rohkohl · G. Lauritsch · H. Rittger · O. Meissner

Kardiale Anwendung der C-Arm-Computertomographie

Zusammenfassung

Durch die Entwicklung der C-Arm-Computertomographie- (CACT-)Angiographie ist es erstmals möglich, während einer Herzkatherunteruntersuchung eine detaillierte dreidimensionale Darstellung der kardialen Anatomie zu erhalten. Derartige zusätzliche Informationen könnten die Durchführung der immer komplexer werdenden Strategien der interventionellen Kardiologie wirkungsvoll unterstützen. Hierzu zählen u. a. der transkutane Klappenersatz, die interventionelle Behandlung von Vorhofflimmern, die Implantation biventrikulärer Schrittmacher sowie die Beurteilung der Myokardperfusion. Die derzeit größte Limitation dieser Methode ist die relativ geringe zeitliche Auflösung, die aufgrund der Bewegung des Herzens die Anwendung dieser Technologie einschränkt.

Schlüsselwörter

Kardiologie · C-Arm-Computertomographie (CACT) · Vorhofflimmern · Transkutaner Klappenersatz · Myokardperfusion

Application of C-arm computed tomography in cardiology

Abstract

C-arm computed tomography is currently being introduced into cardiac imaging and offers the potential for three-dimensional imaging of the cardiac anatomy within the interventional environment. This detailed view is necessary to support complex interventional strategies, such as transcatheter valve replacement, interventional therapy of atrial fibrillation, implantation of biventricular pacemakers and assessment of myocardial perfusion. Currently, the major limitation of this technology is its insufficient temporal resolution which limits the visualization of fast moving parts of the heart.

Keywords

Cardiology · C-arm computed tomography (CACT) · Atrial fibrillation · Transcatheter valve replacement · Myocardial perfusion



Abb. 3 ◀ Bewegungskompensierte dreidimensionale Darstellung der linken Koronararterie mittels C-Arm-CT

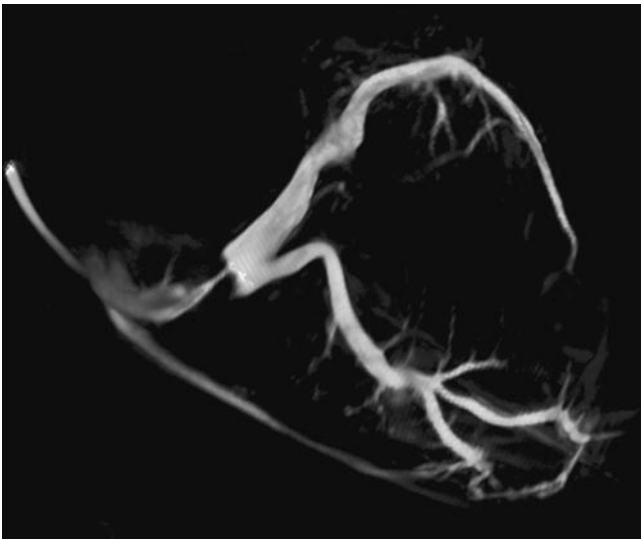


Abb. 4 ◀ Bewegungskompensierte Darstellung des Koronarsinus mittels C-Arm-CT. Die Aufnahme wurde nach retrograder Injektion von Kontrastmittel in den Koronarsinus aufgenommen

sem Anwendungsgebiet in der Möglichkeit, das Kontrastmittel durch den Koronarkatheter direkt arteriell zu applizieren und so einen hohen Kontrastunterschied zwischen dem Gefäß und den umliegenden Strukturen zu erreichen. Aufgrund der noch nicht ausreichenden zeitlichen Auflösung werden jedoch spezielle Nachverarbeitungsalgorithmen benötigt, die die Bewegungsunschärfe während der Bildakquisition kompensieren (▣ **Abb. 3**). In wie weit sich die CACT deshalb für diese interventionellen Fragestellungen nutzen lässt, müssen prospektive Studien klären.

Implantation biventrikulärer Schrittmachersysteme

Die Implantation biventrikulärer Schrittmachersysteme gehört heute zu einem etablierten Verfahren der Behandlung herzinsuffizienter Patienten [3]. Dabei wird neben der rechtsventrikulären Stimulation auch eine Sonde zur Stimulation des linken Ventrikels eingebracht. Diese Sonde wird typischerweise über den Koronarsinus eingeführt und kommt im Bereich der freien Wand des linken Ventrikels in den Koronarvenen zu liegen [3, 6]. Die Platzierung dieser Sonde ist nicht selten schwierig und zeitaufwendig [3, 8]. Sollte es gelingen, einen dreidimensionalen Überblick über die Gefäßgeometrie

zu erhalten, würde dies die Prozedur wesentlich vereinfachen. Dabei wird typischerweise Kontrastmittel retrograd in den Koronarsinus injiziert und die Bild-daten akquiriert [3]. Neben einer retrograden Injektion kann aber auch eine antegrade Injektion über die Koronararterien erfolgen und dann die Kontrastmit-telanreicherung im Koronarsinus dargestellt werden. Dabei ist eine genaue Koordination von Injektion und Bildakquisition notwendig. Erste Versuche zeigten bereits ermutigende Ergebnisse (▣ **Abb. 4**).

Beurteilung der Myokardperfusion

Neben der reinen Morphologie kommt der Beurteilung der Physiologie bei der Entscheidung zur Intervention mehr und mehr Bedeutung zu. So ist beispielsweise die Dilatation eines Koronargefäßes, das nur Narbengewebe versorgt, nicht sinnvoll, da sie funktionell keine Verbesserung erwarten lässt, aber mit prozeduralen Risiken verbunden ist. Die Beurteilung des Perfusionsgebiets der jeweiligen Koronararterie kann jedoch im Einzelfall durchaus schwierig sein. Hier gilt derzeit die kardiale MRT neben der Positronen-emissionstomographie (PET) als verlässlichste Methode [15, 21]. Beide Techniken sind jedoch in der Regel während einer Herzkatheteruntersuchung nicht verfügbar, sodass im Zweifelsfall die Wiederholung der Untersuchung nach Komplettierung der präinterventionellen Diagnostik notwendig ist.

Neuere Studien haben gezeigt, dass mit der MSCT und venöser Kontrastmittelgabe die Perfusion des Myokards beurteilt werden kann [1, 5, 16, 23, 24]. Bei der CACT kann man sich den Vorteil zu nutze machen, direkt in die betreffende Koronararterie zu injizieren und so das Versorgungsgebiet mit hohem Kontrast darzustellen (▣ **Abb. 5**). Erste Erfahrungsberichte zeigen im Vergleich zur MRT als Referenzmethode eine gute Sensitivität und Spezifität bei der Erkennung myokardialer Perfusionsdefekte. Dabei ist, wie auch bei der Darstellung der Koronarvenen, eine sehr genaue zeitliche Abstimmung der Injektion und Bildakquisition erforderlich.

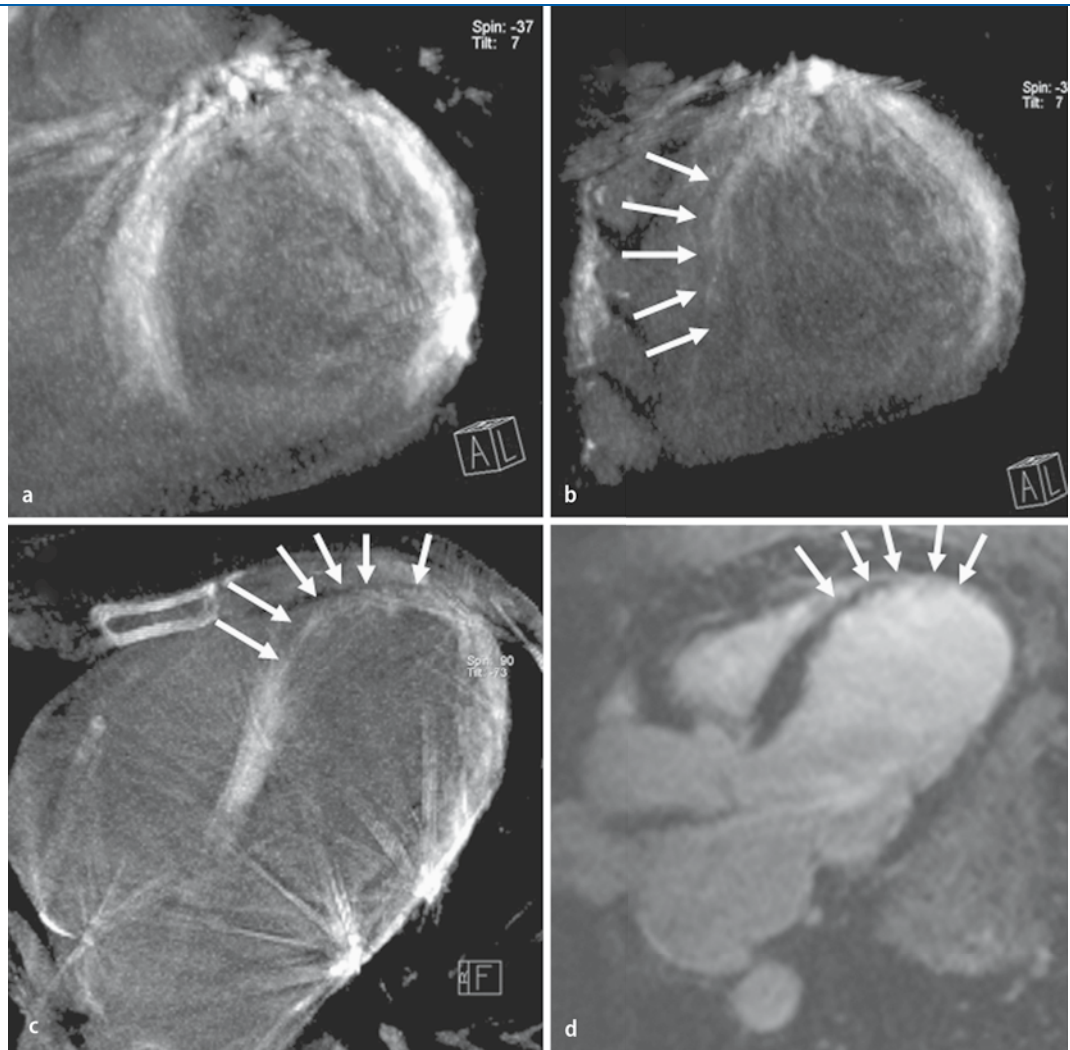


Abb. 5 ▶ Basaler (a) und apikaler (b) Kurzachsen- sowie Langachsenschnitt (c) durch den linken Ventrikel in einem CACT-Datensatz. Die Injektion des Kontrastmittels erfolgte mittels Koronarkatheter in die linke Koronararterie. Es zeigt sich eine deutliche Hypoperfusion im Bereich des apikalen Septums und des Apex (Pfeile). Die kardiale MRT (d) zeigt in der T1-gewichteten Kontrastverstärkten Sequenz im korrespondierenden Bereich eine deutliche Kontrastmittelspeicherung („late enhancement“) als Nachweis von Narbengewebe

Limitationen der CACT-Technologie

Für die CACT-Technologie existiert im Bereich der Kardiologie eine Vielzahl interessanter Anwendungsgebiete. Gleichwohl bestehen einige relevante Limitationen, die die sinnvolle Nutzung dieser Technologie derzeit noch einschränken. Dies betrifft in erster Linie die relativ geringe zeitliche Auflösung der CACT. Gerade die Darstellung kleiner und komplexer Strukturen in einem bewegten Organsystem wie dem Herzen wird dadurch erheblich erschwert. Ein möglicher Lösungsansatz zur Verbesserung der zeitlichen Auflösung wäre die Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit des C-Arms. Die damit verbundene Steigerung der kinetischen Energie der bewegten Anlagenteile stellt jedoch neue Anforderungen an die mechanischen Elemente der Anlage, denen man z. B. durch die Nutzung der aus dem

Fahrzeugbau bekannten Robotertechnologie zu begegnen sucht. Zudem ergeben sich aufgrund der erhöhten Rotationsgeschwindigkeit zusätzliche Sicherheitsaspekte für den Patienten und das medizinische Personal, die bisher noch nicht ausreichend gelöst sind. Parallel wird auch an der Optimierung der Nachverarbeitungsalgorithmen gearbeitet, die die Bewegungsunschärfe der dargestellten Objekte kompensieren sollen.

Ein weiteres Problem, dem es spezielle Aufmerksamkeit zu widmen gilt, besteht in der mit der CACT verbundenen zusätzlichen Strahlenexposition. Diese ist insbesondere von den verwendeten Einstellungen sowie den Patientenparametern abhängig, beträgt im Schnitt 3–8 mSv und liegt damit im Bereich einer konventionellen Herzkatheteruntersuchung [11].

Aus diesen Gründen wird die CACT in absehbarer Zeit nicht die konventionelle Angiographie als Routinemethode der in-

terventionellen Kardiologie ablösen. Dennoch wird sie in bestimmten Bereichen zu einer sinnvollen Verbesserung und Vereinfachung der Prozeduren beitragen und somit eine wertvolle Erweiterung der kardialen Bildgebung darstellen.

Fazit für die Praxis

Die Nutzung der CACT in der interventionellen Kardiologie ist eine noch relativ neue Anwendung, mit der bisher nur begrenzte Erfahrungen vorliegen. Die Integration dreidimensionaler Informationen kann bei einer Vielzahl interventioneller Anwendungen hilfreich sein. Insbesondere dann, wenn eine Überlagerung der dreidimensionalen Informationen mit der Fluoroskopie möglich ist. Im Gegensatz zum Einsatz der CACT in den übrigen Organsystemen ist der Einsatz am Herzen insbesondere durch die Organbewegung limitiert. Hier ist bei der im

Vergleich zur MSCT geringen zeitlichen Auflösung eine genaue Darstellung der Strukturen nur unter Verwendung relativ aufwendiger Nachverarbeitungsalgorithmen möglich. Es gibt bereits einige viel versprechende Einsatzbereiche der Technologie in der Kardiologie. Der klinische Nutzen im klinischen Alltag muss erst noch nachgewiesen werden.

Korrespondenzadresse

PD Dr. J. Rieber

Abteilung für Kardiologie,
Medizinische Poliklinik,
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität
München, Campus Innenstadt,
Ziemssenstr. 1, 80336 München
Johannes.Rieber@med.uni-muenchen.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehung hin: Consultant für Fa. Siemens.

Literatur

- Baks T, Cademartiri F, Moelker AD et al (2006) Multislice computed tomography and magnetic resonance imaging for the assessment of reperfused acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 48(1):144–152
- Brucknerberger E (2008) Herzbericht 2007 mit Transplantationschirurgie. 20. Bericht. Sektorenübergreifende Versorgungsanalyse zur Kardiologie und Herzchirurgie in Deutschland sowie vergleichende Daten aus Österreich und der Schweiz
- Burkhardt JD, Wilkoff BL (2007) Interventional electrophysiology and cardiac resynchronization therapy: delivering electrical therapies for heart failure. *Circulation* 115(16):2208–2220
- Callahan TD, Di Biase L, Horton R et al (2009) Catheter ablation of atrial fibrillation. *Cardiol Clin* 27(1):163–178
- Cury RC, Nieman K, Shapiro MD et al (2008) Comprehensive assessment of myocardial perfusion defects, regional wall motion, and left ventricular function by using 64-section multidetector CT. *Radiology* 248(2):466–475
- Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G et al (2008) ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008: the Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2008 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association of the ESC (HFA) and endorsed by the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). *Eur Heart J* 29(19):2388–2442
- Feldkamp LA, Davis LC, Webb S (1988) Comments, with reply, on 'tomographic reconstruction from experimentally obtained cone-beam projections' by S. Webb et al. *IEEE Trans Med Imaging* 7(1):73–74
- Frattini F, Rordorf R, Angoli L et al (2008) Left ventricular pacing lead positioning in the target vein of the coronary sinus: description of a challenging case. *Pacing Clin Electrophysiol* 31(4):503–505
- Fuster V, Ryden LE, Cannom DS et al (2006) ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for the management of patients with atrial fibrillation: full text: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2001 guidelines for the management of patients with atrial fibrillation) developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association and the Heart Rhythm Society. *Europace* 8(9):651–745
- Groh BA, Siewerdsen JH, Drake DG et al (2002) A performance comparison of flat-panel imager-based MV and kV cone-beam CT. *Med Phys* 29(6):967–975
- Hohl C, Boese J, Strobel N et al (2008) Angiographic CT: Messung der Patientendosis. *Rofo* 180(5):1055/s
- Jaffray DA, Siewerdsen JH (2000) Cone-beam computed tomography with a flat-panel imager: initial performance characterization. *Med Phys* 27(6):1311–1323
- Kalender WA, Kyriakou Y (2007) Flat-detector computed tomography (FD-CT). *Eur Radiol* 17(11):2767–2779
- Khan MN, Jais P, Cummings J et al (2008) Pulmonary-vein isolation for atrial fibrillation in patients with heart failure. *N Engl J Med* 359(17):1778–1785
- Knuuti J, Bengel FM (2008) Positron emission tomography and molecular imaging. *Heart* 94(3):360–367
- Koyama Y, Mochizuki T, Higaki J (2004) Computed tomography assessment of myocardial perfusion, viability, and function. *J Magn Reson Imaging* 19(6):800–815
- Krasemann T (2008) Catheter interventions for congenital heart disease. *Herz* 33(8):592–600
- Lauritsch G, Boese J, Wigstrom L et al (2006) Towards cardiac C-arm computed tomography. *IEEE Trans Med Imaging* 25(7):922–934
- Miller DL (2008) Overview of contemporary interventional fluoroscopy procedures. *Health Phys* 95(5):638–644
- Patel HT, Hijazi ZM (2005) Pediatric catheter interventions: a year in review 2004–2005. *Curr Opin Pediatr* 17(5):568–573
- Reddy GP, Pujadas S, Ordovas KG, Higgins CB (2008) MR imaging of ischemic heart disease. *Magn Reson Imaging Clin North Am* 16(2):201–212, viii
- Ritter D, Orman J, Schmidgunst C, Graumann R (2007) 3D soft tissue imaging with a mobile C-arm. *Comput Med Imaging Graph* 31(2):91–102
- Rubinshtein R, Miller TD, Williamson EE et al (2009) Detection of myocardial infarction by dual-source coronary computer tomography angiography using quantitated myocardial scintigraphy as the reference standard. *Heart*, in press
- Ruzsics B, Lee H, Powers ER et al (2008) Images in cardiovascular medicine. Myocardial ischemia diagnosed by dual-energy computed tomography: correlation with single-photon emission computed tomography. *Circulation* 117(9):1244–1245
- Saint-Felix D, Troussset Y, Picard C et al (1994) In vivo evaluation of a new system for 3D computerized angiography. *Phys Med Biol* 39(3):583–595
- Takahashi A, Kuwahara T, Takahashi Y (2009) Complications in the catheter ablation of atrial fibrillation. *Circ J*, in press
- Zajarias A, Cribier AG (2009) Outcomes and safety of percutaneous aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 53(20):1829–1836
- Zarocostas J (2008) Three quarters of deaths in developing world will be caused by heart and lung diseases by 2030. *BMJ* 337:a2322