

Journal für
Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislaufkrankungen

**State of the art in der Diagnostik
aortaler Erkrankungen: CT und MRT
versus konventionelle Angiographie**

Ba-Ssalamah A, Grgurin M

Kettenbach J, Lammer J, Nöbauer IM

Prokop M

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2001; 8

(1-2), 11-18

Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



Member of the ESC-Editors' Club



Indexed in EMBASE/Excerpta Medica/Scopus

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche

Member of the



www.kup.at/kardiologie

Krause & Pachernegg GmbH · VERLAG für MEDIZIN und WIRTSCHAFT · A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031105M, Verlagspostamt: 3002 Purkersdorf, Erscheinungsort: 3003 Gablitz

2012: Abo-Aktion zum Kennenlernen

Wenn Sie Arzt sind, in Ausbildung zu einem ärztlichen Beruf, oder im Gesundheitsbereich tätig, haben Sie die Möglichkeit, die elektronische Ausgabe dieser Zeitschrift kostenlos zu beziehen.

Die Lieferung umfasst 4–6 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Das e-Journal steht als PDF-Datei (ca. 5–10 MB) zur Verfügung und ist auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

Inkludiert im PDF sind im Laufe des Jahres eine Serviceseite für Vortragende, mit direktem Zugriff auf hochauflösende Grafiken und – so vorhanden – embedded Video-Clips.

Bestellung kostenloses e-Journal Abo



State of the art in der Diagnostik aortaler Erkrankungen: CT und MRT versus konventionelle Angiographie

A. Ba-Ssalamah¹, I. M. Nöbauer¹, M. Grgurin², J. Kettenbach^{1,2}, M. Prokop¹, J. Lammer^{1,2}

Kongenitale und posttraumatische Veränderungen der Aorta, Aortenaneurysmen und Dissektionen sowohl im thorakalen als auch abdominellen Anteil wie auch die intramurale Hämorrhagie als Vorstufe der Dissektion sowie Ulzera der Aorta lassen sich mit Computertomographie in Spiral-Technik (SCT), vor allem in Mehrzeilendetektortechnik (MSCT), und Kernspintomographie (MRT) sicher und zuverlässig mit Sensitivitäten und Spezifitäten nahe 100 % diagnostizieren. Für alle Details der Aortenerkrankungen, wie Koarktation, rechtsseitigem Aortenbogen, kongenital bikuspidal angelegter Aortenklappe, supra- und subvalvulärer Aortenstenose, offenem Ductus arteriosus, aortopulmonalen Verbindungen sowie Transpositionen der großen Gefäße, Kompression des Tracheallumens und abnormem Gefäßverlauf, stellen die Magnetresonanztomographie (MRA) und insbesondere die multiplanare MRT die Methoden der Wahl dar. Mit der Einführung der Mehrzeilendetektortechnik hat die Spiral-CT in der Diagnostik vor allem von akuten Gefäßerkrankungen entscheidend an Bedeutung gewonnen. Die MRT hingegen scheint zur Darstellung chronischer und kongenitaler Aortenerkrankungen besser geeignet und vor allem bei jungen Patienten mit kongenitalen Erkrankungen des kardiovaskulären Systems eine hervorragende Methode. Diese nichtinvasiven Methoden haben die Angiographie in der Diagnostik der Aortenerkrankungen als Goldstandard offensichtlich abgelöst. Die einzige Indikation für die konventionelle Angiographie bleibt der Nachweis oder Ausschluß einer Beteiligung der Koronararterien bei der akuten Dissektion.

*Our goal of this overview is to compare between noninvasive imaging modalities such as computed tomography and magnetic resonance imaging with angiography, the current gold standard to diagnose acute and chronic aortic vessel disease. Noninvasive modalities are suitable methods for reliable diagnosis or exclusion of dissection of the aorta, intramural haemorrhage as a precursor of dissection, aortic ulcers, aneurysms as well as congenital and posttraumatic lesions. Computed tomography and magnetic resonance imaging both have been proven to be safe techniques in critically ill patients and may, in our view, particularly with the introduction of multislice spiral CT, replace angiography for the diagnosis of aortic diseases. Thus, in acute aortic diseases invasive angiographic procedures should be avoided. In our opinion the only indication for angiography is the involvement of the coronar arteries by aortic dissection. Computed tomography, especially multislice spiral CT should be the imaging method of choice in acute cases, while magnetic resonance imaging represents a better diagnostic option in chronic cases. **J Kardiol 2001; 8: 11–18***

Die konventionelle Angiographie in DSA-Technik galt über mehrere Jahrzehnte als der Goldstandard zur Untersuchung von Patienten mit Aortenerkrankungen. In den letzten Jahren haben sich jedoch bildgebende Verfahren wie die Sonographie, die transösophageale Echokardiographie (TEE), das Farbduplexverfahren und die kontrastmittelgestützte Spiral-CT, die durch die Einführung der Mehrzeilen-CT weiterentwickelt wurde, etabliert. Auch die Magnetresonanztomographie (MRA) in kontrastmittelgestützter Form bewährt sich zunehmend als geeignete Methode zur Beurteilung der Aorta [1–6]. Gleichzeitig haben diese Verfahren wegen ihrer Nichtinvasivität einen besonders hohen Stellenwert im Vergleich zu den möglichen Komplikationen einer Arteriographie. Die mittels CT und MR erreichbaren hohen Grade an Sensitivität und Spezifität und ihre praktischen Vorteile lassen nahezu einen neuen Goldstandard vermuten [1, 7, 8]. Die spezifische Wahl des diagnostischen Verfahrens muß jedoch aus der genauen Kenntnis der Fragestellung und der Auswahl der geeigneten Methoden resultieren (Tab. 1). In diesem Übersichtsartikel wollen wir die Vor- und Nachteile der CT und MR gegenüber der konventionellen Angiographie in DSA-Technik diskutieren. Der Stellenwert der Sonographie und der transösophagealen Echokardiographie (TEE) wird an anderer Stelle erläutert.

Untersuchungstechnik

Computertomographie

Die Anwendung der Spiral-CT-Angiographie (CTA) hat die computertomographische Gefäßdiagnostik vollständig verändert. Vor allem die CTA in MSCT-Technik erlaubt es,

selbst Gefäße von 1 mm Querdurchmesser zu erfassen und ab einem Durchmesser von ca. 2 mm diagnostisch zu beurteilen [6]. Vorteile gegenüber der arteriellen Angiographie ergeben sich aus der nahezu fehlenden Invasivität, der gleichzeitigen Erfassung von Gefäßwand und Lumen sowie der beliebigen Blickrichtung bei angiographischen Darstellungen. Die CTA kann die intraarterielle DSA bei vielen Fragestellungen ersetzen [1, 6, 9]. Die schlechtere Ortsauflösung der CTA im Vergleich zur intraarteriellen DSA wird durch die Einführung der MSCT mit ihren dünnen Schichten und dem umfangreichen Untersuchungsbereich sowie der Möglichkeit der dreidimensional-(3D-)multiplanaren Darstellung ausgeglichen.

Tabelle 1: Spezifische Vorteile bildgebender Modalitäten

Bildgebende Modalität	Spezifische Vorteile
Angiographie (DSA)-Technik	Goldstandard zur endoluminalen Darstellung Hämodynamisches Monitoring Beurteilung der Aortenwurzel und Koronararterien
Computertomographie	Nicht invasiv Technisch einfach und verfügbar Hohe anatomische Auflösung Multiplanare Rekonstruktion
Magnetresonanztomographie	Nicht invasiv Gute anatomische Auflösung Hoher Weichteilkontrast Keine Strahlenbelastung Anwendung bei Niereninsuffizienz und Jodallergie

Von der ¹Universitätsklinik für Radiodiagnostik und der ²Universitätsklinik für Radiodiagnostik, Abteilung für Angiographie und interventionelle Radiologie, Wien

Korrespondenzadresse: Dr. med. Ahmed Ba-Ssalamah, Universitätsklinik für Radiodiagnostik, Währinger Gürtel 18–20, A-1090 Wien, E-Mail: Ahmed.Ba-Ssalamah@univie.ac.at

Das Grundprinzip der CT-Angiographie ist einfach und basiert auf einem hochauflösenden, spiralförmigen Scan mit gleichzeitiger maximaler Kontrastmittelanflutung im untersuchten Gefäß. Um die bestmögliche Ortsauflösung in Patientenlängsrichtung (z-Achse) zu erhalten, müssen alle Parameter so optimiert werden, daß damit die kleinstmögliche effektive Schichtdicke eingesetzt werden kann. Gleichzeitig müssen die Kontrastmittelparameter individuell so angepaßt werden, daß ein möglichst konstanter und hoher Gefäßkontrast über die gesamte Untersuchungsdauer erreicht wird. Mit der individuellen Anpassung der Kontrastmittelinjektionsrate und der Bolusform ist es möglich geworden, bei jeder CTA-Untersuchung ein in der Höhe und im zeitlichen Verlauf gleichbleibendes ideales Gefäßanfärbemuster und eine effektive Kontrastmittelnutzung zu erreichen und damit eine hochqualitative CTA-Untersuchung zu erzielen [10]. Das typische Untersuchungsprotokoll in der Spiral-CT beinhaltet eine Schichtdicke von 3 mm, einen Tischvorschub von 5 mm und einen Rekonstruktionsindex von 3 mm. Das Kontrastmittel-(KM-)Volumen beträgt ca. 150 ml mit einer KM-Konzentration von 300 mg Jod/ml sowie einer Flußrate von 4 ml/sec und einer individuell bestimmten Startverzögerung nach Testbolus oder Bolustriggerung. Deutlich schnellere bzw. kürzere Untersuchungszeiten mit gleichzeitig höheren Auflösungen lassen sich mit MSCT-Systemen erreichen (Kollimation 4 x 1,25 mm, Tischvorschub 4 mm/360°, Rotationszeit 0,5 sec, Rekonstruktionsindex 0,7 mm, zeitgesteuerte Kontrastmitteleingabe, üblicherweise ca. 150 ml, 4–8 ml/sec).

Magnetresonanztomographie

Die MRT-Untersuchung der Aorta erfolgt analog zur Computertomographie zunächst in transversaler Schichtführung. Im Anschluß daran empfiehlt sich analog zur linksanterioren Schrägprojektion (LAO = 30°) des Herzkatheters eine parasagittale Schichtführung. Bei Verwendung von Spin-Echo-(SE-)Sequenzen wird so eine exzellente Beurteilung der Morphologie der Aorta möglich. Bei Verwendung von retrospektiv getriggerten Gradienten-Echo-(GE-)Sequenzen hingegen ist eine Beurteilung der dynamischen Compliance der Aorta in Abhängigkeit von der Herztätigkeit möglich. Weiterhin können koronare Schichten über der Aortenwurzel wichtige Zusatzinformationen über die Weite des Sinus valsalvae und des Bulbus aortae und über die Lagebeziehung zum linksventrikulären Ausflußtrakt liefern. Eine spezielle Projektionstechnik ermöglicht die Anwendung schneller 3D-Gradienten-Echo-Sequenzen (3D-FISP) in Atemstillstand sowie eine überlagerungsfreie dreidimensionale Rekonstruktion der Aorta in jeder beliebigen Projektion.

Die kontrastmittelverstärkte 3D-MRA [11, 12] ist geeignet, Morphologie und Pathologie der Aorta und ihrer Äste ohne Atemartefakte darzustellen. Diese Darstellung ist im Vergleich zu den konventionellen MRA-Techniken wie „time of flight“- (TOF) [13] und Phasenkontrast-(PC-)Angiographie [14] umfassender und robuster. Sie beruht auf drei Faktoren: Verwendung paramagnetischer Kontrastmittel, Erstellung eines Volumensdatensatzes und kurzdauernde Aquisition in Apnoe. Entsprechend der CT-Angiographie muß auch in der kontrastmittelverstärkten 3D-MRA die Bolusapplikation individuell optimiert werden. Ähnlich wie die Katheterangiographie und die CT-Angiographie gibt auch die kontrastmittelverstärkte 3D-MRA lediglich die Gefäßmorphologie wieder. Im Gegensatz dazu bietet die MRT die Möglichkeit der Verwendung von Phasenkontrasttechniken, um die Flußgeschwindigkeiten und -volumina quantitativ zu bestimmen [15]. Weitere Vorteile der MR-Verfahren (Gd-MRA) ergeben sich insbesondere auch bei jungen Patienten

(Strahlenexposition) und niereninsuffizienten Patienten (Nephrotoxizität). Das typische MR-Untersuchungsprotokoll beinhaltet T1-GRE-Sequenzen (Echozeit (TE) 6,9 ms, Repetitionszeit (TR) 15,1 ms, Kippwinkel (FA) 25°) und T2-TSE Sequenzen (TE/TR/FA=130/2200/90°). Die Schichtdicke beträgt üblicherweise 8 mm, das Field of View 450 mm, die Matrix 256 x 256 Pixel. Für die Angiographie-Sequenz sind die Parameter der GRE-Sequenz wie folgt: TE/TR/FA = 1,8/6,5/40°, Matrix 512 x 512. Die Kontrastmittelmenge von 20 ml MR-Kontrastmittel wird nach einem Testbolus in einer Flußrate von etwa 2 ml/sec verabreicht.

Digitale Subtraktionsangiographie

Die Angiographie der thorakalen und abdominalen Aorta erfolgt über einen transfemorale oder transaxillären Zugang. Für die Angiographie der Aorta ascendens wird die Katheterspitze eines 5- oder 7-F Pigtail-Katheters ca. 2 cm oberhalb der Aortenklappe plaziert. Zur Darstellung von Aortenbogen und supraaortalen Gefäßen ist die Lage des Katheterendes 3–4 cm oberhalb der Aortenklappe ausreichend. Bei der Angiographie der Aorta descendens wird das Katheterende über den in die absteigende Aorta vorgeschobenen Führungsdraht in den proximalen Anteil der Aorta descendens gelegt. Für die Aorta abdominalis wird die Katheterspitze eines 5- oder 6-F Pigtail-Katheters in Höhe von TH 12 bzw. L 1 plaziert. Eine detaillierte Untersuchung der Aorta erfordert die Darstellung des Gefäßes in zwei Ebenen (in der Regel a.-p. und seitlich). Sind nur Aufnahmen in einer Ebene möglich bzw. vertretbar, so empfiehlt sich für die Aortenbogendarstellung eine 45°-LAO-Projektion. Die Aortographie in seitlicher Projektion stellt Plaques und Stenosen dar, die u.U. nur im Profil erkennbar sind und der Diagnostik bei alleiniger Anfertigung einer Aufnahme in a.-p.-Projektion entgehen können. Weiterhin ermöglicht die seitliche Aortographie eine bessere Darstellung der Abgänge von Truncus coeliacus und Aa. mesentericae superior und inferior bezüglich Abgangsstenosen. Routinemäßig wird eine Kontrastmittelmenge von 20–25 ml (370 bzw. 300 mg Jod/ml) mit einer Geschwindigkeit von 10–15 ml/s verwendet.

Normale Anatomie

Die Aorta ascendens nimmt ihren Ursprung im supra-valvulären Teil des linken Ventrikels. Dieser Teil der Aorta ascendens, die Aortenwurzel (Bulbus aortae), ist zwiebelartig erweitert, enthält entsprechend den Aortenklappentaschen drei Ausbuchtungen (Sinus valsalvae) und dient als Blutreservoir für die Koronararterien. Die ascendierende Aorta ist vor dem Übergang in den Arcus aortae noch völlig in die perikardiale Umschlagfalte integriert. Im weiteren Verlauf, im Bereich des Arcus bzw. Isthmus aortae, gehen die supraaortalen Äste ab. Bei ca. 70 % findet die Aufteilung in der Reihenfolge Truncus brachiocephalicus, linke A. carotis communis und linke A. subclavia statt, während in ca. 20 % die linke A. carotis communis sich dem Truncus brachiocephalicus anschließt, so daß die A. subclavia dextra und beide Aa. carotis communes gemeinsam abgehen. Bei vielen Patienten zeigt die thorakale Aorta im Bereich des Isthmus aortae durch den Ansatz des Lig. arteriosum eine physiologische Enge. Sie bleibt hämodynamisch meist ohne Bedeutung.

Von der Aorta descendens gehen die Vasa propria der Lunge, die Aa. spinales und viele andere, kleinere Arterien ab. Die Aorta descendens ist insbesondere bei älteren Patienten oft erheblich elongiert und verläuft geschlängelt („Kinking“), meist ohne klinische Folgen. Die Aorta

descendens besitzt einen deutlich kleineren Durchmesser als die Aorta ascendens, verjüngt sich in ihrem Verlauf jedoch nur gering. Kaudal des Hiatus aorticus wird sie als Aorta abdominalis bezeichnet. Sie gibt zunächst Truncus coeliacus und A. mesenteria superior ab. Die Aufzweigung des Truncus in die Milz- und Leberarterie zeigt eine typische schwalbenschwanzartige Konfiguration. Unmittelbar an der Teilungsstelle zieht die A. gastrica sinistra nach kranial. Anatomische Varianten der Oberbaucharternen finden sich bei etwa 50 % der Patienten. Die Nierenarterien entspringen im Regelfall knapp kaudal des Ursprungs der A. mesenterica superior. In ca. 20 % besteht eine renale Mehrgefäßversorgung. Die A. mesenterica inferior entspringt ventral aus der Aorta, etwa in Höhe des 3. und 4. Lendenwirbelkörpers. Die Aortenbifurkation liegt etwa auf Höhe des Zwischenwirbelraumes L 4/L 5.

Kongenitale Fehlbildungen

Rechts deszendierende Aorta

Der rechts deszendierende Aortenbogen ohne gleichzeitigem Vorhandensein eines Situs inversus ist eine sehr seltene embryologische Fehlentwicklung. Es resultiert eine spiegelbildliche Anatomie, bei der der Truncus brachiocephalicus die linke Seite versorgt und die A. subclavia dextra und die A. carotis dextra folgen. In einem sehr hohen Prozentsatz besteht gleichzeitig eine Fehlbildung des Herzens, meist eine Fallot-Tetralogie oder ein Truncus arteriosus. Häufigste klinische Manifestation des rechts deszendierenden Aortenbogens ist die Kompression der Trachea mit konsekutiver Dyspnoe.

Doppelter Aortenbogen

Beim doppelten Aortenbogen liegt eine Teilung der ascendierenden Aorta in einen links und einen rechts der Trachea verlaufenden Anteil vor. In den meisten Fällen findet diese Aufteilung unmittelbar vor der Trachea statt (Abb. 1). Die beiden Schenkel des Aortenbogens ziehen an der Trachea vorbei und vereinigen sich retrotracheal und retroösophageal, in seltenen Fällen auch präösophageal, wieder zu einer mittig oder links deszendierenden Aorta. Der doppelte Aortenbogen ist nur in Ausnahmefällen mit anderen kardiovaskulären Fehlbildungen assoziiert. Er wird jedoch in den meisten Fällen frühzeitig klinisch manifest, da durch die Ummauerung der Trachea eine extrinsische Tracheomalazie resultiert und die Patienten dyspnoeisch werden.

Aortenbogenanomalien

Ein weit dorsal gelegener Abgang der linken A. subclavia kann auf eine Aortenfehlbildung, z. B. eine Koarktation, hinweisen. Unter der Vielzahl der Abgangsvarianten ist die aberrante A. subclavia dextra (A. lusoria) am bedeutendsten (Abb. 2). Sie entspringt dorsal unterhalb des aortalen Scheitelpunktes und zieht hinter Trachea und Ösophagus nach rechts. Anomalien im Bereich des Aortenbogens und aberrierende Abgänge der supraaortalen Äste sowie Transposition der großen Gefäße können mit der MRA bzw. CTA sicher diagnostiziert und klassifiziert werden. Allerdings ist die MRT in der Darstellung der Morphologie der ventrikulären Ausflußtrakte und der Klappen der CTA überlegen. Eine relativ häufige Ursache vaskulärer Kompressionssyndrome stellt die mittlere Trachealstenose dar, bei der die Trachea durch einen abnormen Gefäßverlauf durch den Aortenbogen oder den Truncus brachiocephalicus komprimiert wird. Die multiplanare MRT ist dabei das ideale bildgebende Verfahren, um sowohl die Kompression des

Tracheallumens als auch den abnormen Gefäßverlauf zu dokumentieren.

Kongenitale und vererbte Aortenerkrankungen

Bei jungen Patienten mit kongenitalen Erkrankungen des kardiovaskulären Systems ist die Kernspintomographie hervorragend geeignet, um alle Details der Aortenerkrankungen wie Koarktation, rechtsseitigen Aortenbogen, kongenitale bikuspidal angelegte Aortenklappe, supra- und subvalvuläre Aortenstenose, offenen Ductus arteriosus, aortopulmonale Verbindungen sowie Transpositionen der großen Gefäße nachzuweisen [3–5, 16]. Bei den vererbten Bindegewebs-erkrankungen wie dem Marfan-Syndrom mit kardiovaskulärer Beteiligung und Komplikationen an der Aorta, wie Klappeninsuffizienz, Dissektion und Ruptur [17], ist die MRT in der Diagnostik die Methode der Wahl. Auch beim Ehlers-Danlos-Syndrom treten häufig arterielle und aortale Rupturen auf, die nichtinvasiv prognostiziert und nachgewiesen wer-

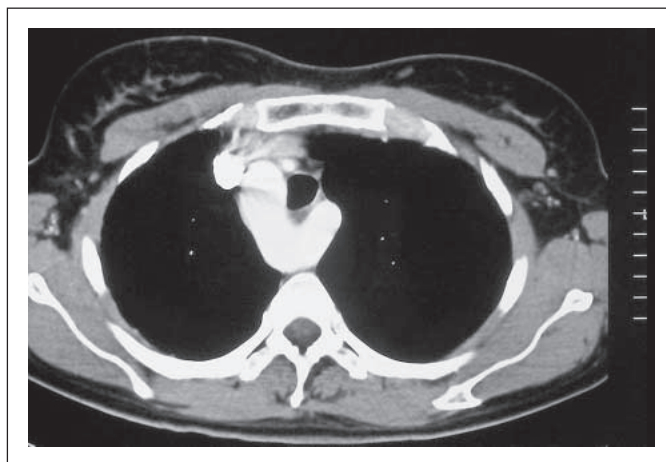


Abbildung 1: Doppelter Aortenbogen: Axiales CT-Bild eines doppelten Aortenbogens mit der Teilung der ascendierenden Aorta in einen links und einen rechts der Trachea verlaufenden Anteil, wobei die Aufteilung unmittelbar vor der Trachea stattfindet. Die beiden Schenkel des Aortenbogens ziehen an der Trachea vorbei und vereinigen sich retrotracheal und retroösophageal wieder zu einer mittig deszendierenden Aorta.

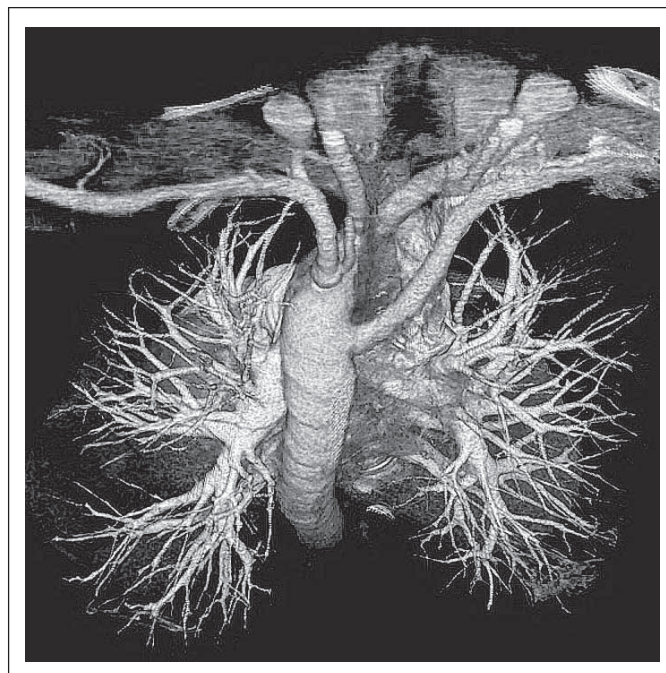


Abbildung 2: A. lusoria: Das Volume Rendering eines Spiral-CT-Datensatzes zeigt die aberrante A. subclavia dextra (A. lusoria), welche dorsal unterhalb des aortalen Scheitelpunktes entspringt und hinter Trachea und Ösophagus nach rechts zieht.

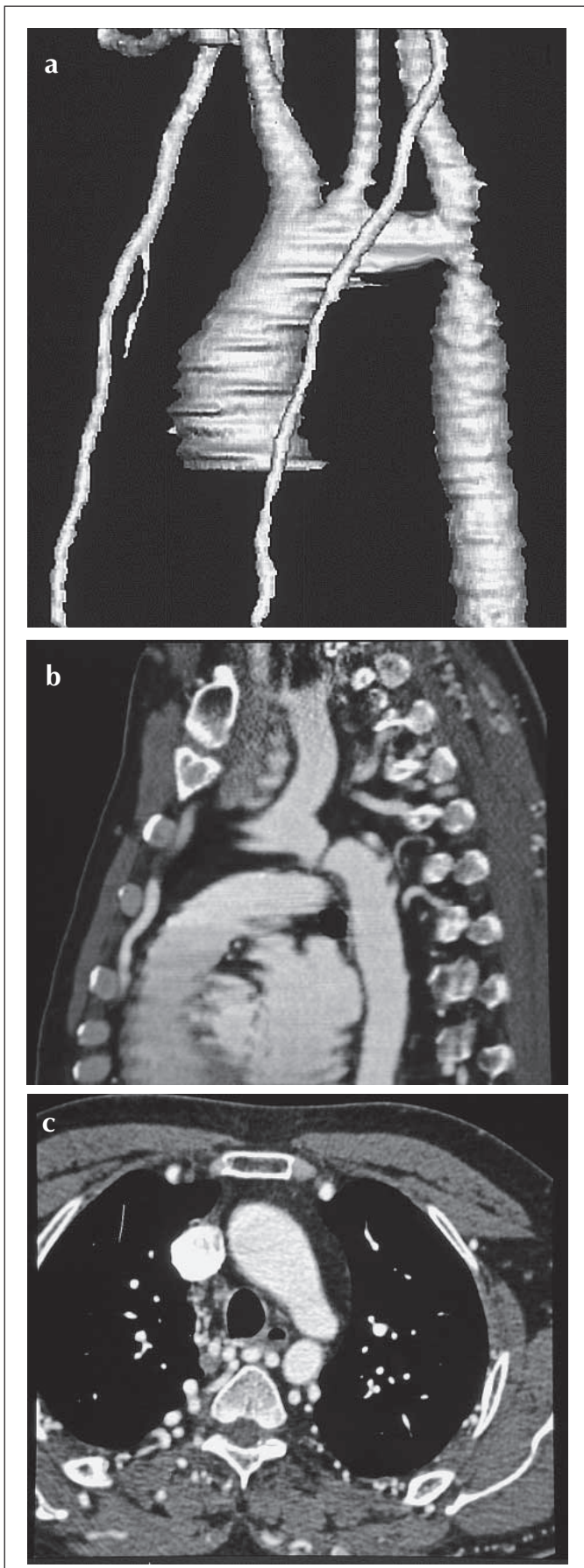


Abbildung 3: Aortenisthmusstenose (postduktale Form): **a.** 3-D-Oberflächenrekonstruktion einer Aortenisthmusstenose an typischer Stelle distal des Abganges der Arteria subclavia sinistra mit kaliberstarken Arteriae mammae beidseits; **b.** Multiplanare sagittale Rekonstruktion einer hochgradigen Aortenisthmusstenose im MSCT an typischer Stelle distal des Abganges der Arteria subclavia sinistra mit deutlichen Kollateralen entlang der Thoraxwand; **c.** Axiale Darstellung der Kollateralgefäße der Aortenisthmusstenose.

den können. Hier ist die direkte angiographische Dokumentation angesichts der Gefäßfragilität gefährlich und sollte unbedingt durch MRT und CTA ersetzt werden.

Aortenisthmusstenose

Die Isthmusstenose der Aorta ist mit ca. 5 % aller Angiokardiopathien eine relativ häufige, angeborene Fehlbildung, die oft in Kombination mit anderen Anomalien auftritt. Bei den Isthmusstenosen gilt es zu unterscheiden zwischen der präduktalen Form, die fast ausschließlich bei Kindern auftritt und in ca. 75 % mit einem persistierenden Ductus arteriosus Botalli kombiniert ist, und der postduktalen Form, die in der Mehrzahl der Fälle bei Erwachsenen auftritt und mit ausgeprägten Kollateralkreisläufen einhergeht (Abb. 3). Der Unterschied zwischen diesen beiden Typen besteht in der Lokalisation der maximalen Stenosierung. Bei der präduktalen Form ist die maximale Einengung im eigentlichen Isthmusbereich, also nach Abgang der A. subclavia sinistra und vor Einmündung des Ductus arteriosus Botalli, lokalisiert. Bedingt durch die stark reduzierten Druckwerte in der Aorta distal der Stenose findet ein Blutfluß vom Truncus pulmonalis über den Truncus arteriosus Botalli in die Aorta descendens statt. Die Körperperipherie wird bei diesen Patienten hauptsächlich durch den rechten Ventrikel über den Ductus arteriosus Botalli versorgt, so daß eine periphere Mischzyanose besteht und die physiologische Obliteration des Ductus Botalli verhindert wird. Im Gegensatz dazu ist bei der postduktalen Form der Isthmusstenose die maximale Einengung distal des Ductus Botalli lokalisiert, so daß eine Versorgung der Peripherie nur über eine ausgeprägte Kollateralisierung möglich ist. Typische Kollateralwege bei der postduktalen Form sind die Interkostalararterien mit den typischen röntgenologischen Zeichen der Rippenusuren, die Skapulararterien sowie die Aa. mammae internae (Abb. 3). Charakteristisch für alle Aortenisthmusstenosen ist die Blutdruckdifferenz zwischen oberer und unterer Extremität. LAO-Darstellungen in GE-Technik zeigen typischerweise die Kaliberdifferenz zwischen Aorta ascendens und descendens sowie die „Geweihkonfiguration“ der Aorta. Diese Konfiguration entsteht durch die Stenose und die prästenotische Dilatation der Aorta ascendens und ist aus den katheterangiographischen Darstellungen bekannt [16, 18, 19]. In Abhängigkeit der Charakteristika des Blutflusses können proximal, innerhalb und distal der Stenose unterschiedliche Signalauslösungen durch Flußturbulenzen beobachtet werden.

Aortenbogensyndrom

Unter dem Begriff „Aortenbogensyndrom“ werden stenosierende und obliterierende Prozesse unterschiedlicher Genese an einer oder mehreren vom Aortenbogen abgehenden Stammarterien subsummiert. Die charakteristische klinische Beschwerdesymptomatik entsteht durch die Kombination von zerebrovaskulärer Insuffizienz und Durchblutungsstörungen der oberen Extremität bei erhaltener Durchblutung der unteren Extremität. Die häufigste Ursache ist die arterielle Verschlusskrankheit vom Schultergürteltyp (Arteriosklerose des Aortenbogens und der abgehenden Kopf- und Armgefäße). Weitere mögliche Ursachen sind entzündliche Veränderungen der Gefäßintima und -media im Rahmen von Kollagenosen, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, Riesenzellarteriitis, Tuberkulose, Lues, Thrombangitis obliterans und selteneren Autoimmunerkrankungen, wie z. B. das Takayasu-Syndrom [20]. MRT vor und nach Applikation von Kontrastmittel zeigt die meist entzündlich verdickten, in der Signalintensität veränderten Gefäßwände. Darüber hinaus zeigen Angiographiesequenzen und MR-Flußmessungssequenzen die veränderten Flußverhältnisse in den Gefäßen.

Aortenaneurysmen

Für die optimale Behandlung eines Aortenaneurysmas ist die genaue Bestimmung vieler Faktoren von Bedeutung. Evaluiert werden müssen der Durchmesser des perfundierten Aortenlumens wie auch der des äußeren Lumens in verschiedenen Ebenen, die genaue anatomische Lokalisation, die relative Lage zu entspringenden Arterien, die Ausdehnung sowie die Wachstumsrate. Eine Dissektion, eine gedeckte oder komplette Ruptur sowie eine Thrombosierung im falschen Lumen müssen ausgeschlossen bzw. nachgewiesen werden. Des weiteren gilt es, die Frage der Zugehörigkeit zu den verschiedenen Aneurysmatypen und der Ätiologie zu beantworten. Man unterscheidet bei den Aneurysmen morphologisch zwischen dem fusiformen und dem sakkulären Typ als Vertreter der „echten“ Aneurysmen und dem Aneurysma spurium als Vertreter des „falschen“ Aneurysmas. Einen weiteren Hinweis auf den zugrundeliegenden Entstehungsprozeß gibt dabei die Lokalisation des Aneurysmas, da das Ausbreitungsmuster der Aneurysmatypen auf die verschiedenen Abschnitte der Aorta typisch ist. So sind typischerweise arteriosklerotisch bedingte Aneurysmen nur in Ausnahmefällen auf einen Abschnitt der Aorta begrenzt. Sie beginnen meist im oberen Aszendensbereich und erstrecken sich kontinuierlich über den Aortenbogen hinaus bis zur deszendierenden Aorta. Traumatisch bedingte Aneurysmen, z. B. nach Dezelerationstraumen, sind dagegen charakteristischerweise im Bereich des Aortenbogens lokalisiert. Im Übergangsbereich zwischen Aorta und Aortenisthmus werden daher die größten physikalischen Kräfte wirksam. Differentialdiagnostisch müssen bei Aneurysmen im Bereich der Aorta ascendens die Syphilis, die zystische Medianekrose, das Marfan-Syndrom und die poststenotische Dilatation bei Aortenklappenvitien in Betracht gezogen werden. Aneurysmen im Isthmus-/Deszendensbereich entstehen am häufigsten durch autoimmun, mykotisch und bakteriell bedingte Aortitiden.

Generell gelten bei Erwachsenen im Bereich der Aorta ascendens Aneurysmalumina zwischen 4 und 5 cm im Durchmesser als ungefährliche, kontrollbedürftige ektaische Erweiterungen über 5 cm als potentiell und ab 6 cm als dringend operationswürdige Erkrankungen. Wichtiger als die absolute Größe des Aneurysmas ist die Geschwindigkeit, mit der das Aneurysmalumen zunimmt, so daß Patienten mit Aneurysmalumina über 5 cm im Durchmesser häufig kontrolliert werden sollten. Entscheidend für das therapeutische Konzept bei einem Aortenaneurysma sind – wie oben ausgeführt – Art, Form, Größe, Lagebeziehungen, Wandverkalkungen, Thrombuslokalisation und -konfiguration sowie die Thrombus-Lumen-Relation. Zur Klärung dieser Fragen ist die MSCT bzw. MRT ausgezeichnet geeignet.

Die topographische Beziehung eines Aneurysmas zu den entspringenden Arterien wird MR- und computertomographisch ebenfalls sicher gezeigt. So werden die Aortenbogenäste, der Truncus coeliacus, die Nierenarterien sowie die A. mesenterica superior und inferior zeitgleich dargestellt und können durch axiale, sagittale oder sogar dem Gefäßverlauf folgende Reformatierungen der 3D-MRA- bzw. 3D-CTA-Daten problemlos beurteilt werden (Abb. 4). Läsionen in diesen Arterien können ideal identifiziert und somit – sofern indiziert – frühzeitig in eine therapeutische Planung miteinbezogen werden [7, 8]. Dreidimensionale Rekonstruktionen bilden die tatsächlichen Relationen auch exakter ab als die Meßkatheterangiographie vor Stentimplantation. Insbesondere kann eine Meßlinie dem Gefäßverlauf optimal angepaßt werden, während der Meßkatheter innerhalb eines großen Aneu-

rysmas Abweichungen vortäuschen kann [7, 8, 21]. Insbesondere kann angiographisch die Größe des Aneurysmas durch Wandthrombosierungen unterschätzt werden. Komplikationen eines Aneurysmas können mit der MRT bzw. MSCT ebenfalls nachgewiesen werden. Die raumfordernden Wirkungen eines Aortenaneurysmas wie die Einengung der A. pulmonalis mit der Folge eines Rechtsherzversagens, die Kompression von Ösophagus, Trachea oder abdomineller Organe sind leicht zu erkennen. Ein weiterer Vorteil der CT ist der Nachweis einer gedeckten oder kompletten Aortenruptur (Abb. 5), die mit anderen bildgebenden Verfahren weniger exakt dokumentiert werden kann. Aus der Lagebeziehung des Hämatoms zur Aorta kann die mutmaßliche Lokalisation der Wandruptur ermittelt werden. Die MRT wiederum kann Bilder primär in multiplen Ebenen konstruieren. Ein besonderer Vorteil der MRT liegt außerdem darin, daß kein ionisches Kontrastmittel benötigt wird, was bei Patienten mit Niereninsuffizienz oder KM-Allergie wichtig ist, und daß keine ionisierende Strahlung angewandt wird. Gleichzeitig

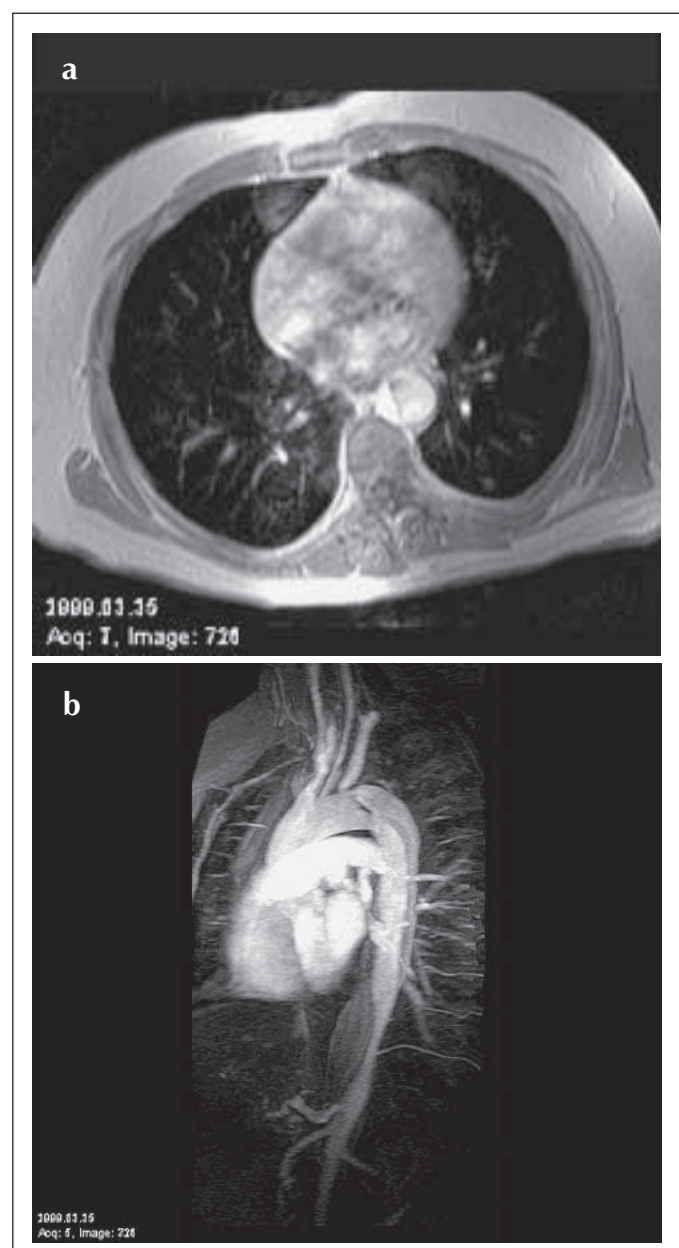


Abbildung 4: Aortenaneurysma mit Dissektion Typ B: **a.** Transversale MR-Tomographie einer Aortendissektion. Die dissezierende Membran trennt das echte vom falschen Lumen. **b.** Sagittale KM-verstärkte 3D-MR-Angiographie zeigt das Dissektat der Aorta descendens bis in Höhe des Hiatus aorticus.

besteht die Möglichkeit, neben der Anatomie das Flußverhalten an der Aortenklappe (Aortenklappeninsuffizienz), die Thrombosierung im falschen Lumen (Thrombusformation) und Verbindungen zwischen den Lumina im Sinne von Kommunikationen nachzuweisen [15, 22]. Neben der exzellenten diagnostischen Zuverlässigkeit hat die Kernspintomographie jedoch auch Nachteile; zum einen ist die Untersuchung zeitraubend, was die Untersuchung von instabilen und beatmeten Patienten erschwert. Zum anderen sind Patienten mit Herzschrittmachern, implantierten Defibrillatoren und anderen Metallinstrumenten selbstverständlich ausgeschlossen.

Aortendissektion

Akute Erkrankungen der Körperschlagader sind immer lebensbedrohliche Situationen mit der Gefahr einer plötzlichen, nicht zu beherrschenden Kreislaufinstabilität. Nur eine schnelle und sichere Diagnostik ermöglicht den rechtzeitigen Einsatz von geeigneten therapeutischen Maßnahmen [23]. Dissektionen können die Aorta in ihrer gesamten Länge betreffen. Es gibt zwei Klassifikationen: Die Bakes Einteilung basiert auf anatomischen Kriterien und

der Ausdehnung der Dissektion [24]; die Typ I-Dissektion involviert die gesamte Aorta mit Beginn in der A. ascendens, Typ II-Dissektionen sind auf die Aorta ascendens beschränkt; Typ III-Dissektionen beginnen distal des Abgangs der linken A. subclavia. Die Stanford-Klassifikation basiert auf prognostischen Kriterien, wobei Typ A die ascendierende Aorta betrifft und Typ B die descendierende Aorta ohne Berücksichtigung des Entry [25].

Alle Dissektionen mit Beteiligung der Aorta ascendens erfordern eine schnelle chirurgische Versorgung, während alle übrigen Formen konservativ durch Blutdrucksenkung behandelt werden können, solange keine Minderperfusion wichtiger Organe vorliegt [26, 27]. Dissektionen entstehen durch Ablösung der Gefäßlumina auf dem Boden einer arteriosklerotisch, entzündlich, traumatisch oder idiopathisch bedingten Medianekrose und haben das Entstehen eines zweiten, zusätzlichen Gefäßlumens zur Folge. Über 90 % aller Aortendissektionen sind im Bereich des Thorax lokalisiert oder haben zumindest dort ihren Ursprung [28]. Kriterien für die Beurteilung von Aortendissektionen sind die Lage von Entry und Reentry, die Beurteilung einer (Teil-)Thrombosierung und insbesondere das Übergreifen der Dissektion auf Gefäßäste oder die Verlegung von Gefäßabgängen. Der Goldstandard der Diagnose war früher die Aortographie mit einer Sensitivität zwischen 80 und 100 % bei einer Spezifität zwischen 80 und 100 % [1, 2, 9]. Die Aortographie ist jedoch ein invasives Verfahren mit bekannten Risiken und erfordert ein Katheterlabor mit 24-h-Bereitschaft. CT-Technik und Kernspintomographie (Abb. 5) stellen moderne und bessere diagnostische alternative Instrumente dar [1, 2, 6, 9]. Der Informationsgehalt rechtfertigt den Einsatz der relativ zeitaufwendigen und möglicherweise gefährlichen Angiographie in einer akuten Situation nicht, zumal allein der Nachweis einer Beteiligung der Aorta ascendens die wesentliche Indikation für den chirurgischen Eingriff darstellt [9, 24]. Bei Akutsituationen ist die MSCT aufgrund der kurzen Untersuchungszeiten die Methode der Wahl [6]. Die CT-Technologie ist weit verbreitet, nicht invasiv und leicht durchzuführen. Sie erfordert allerdings Kontrastmittel und liefert keine Informationen über die Koronaranatomie und über eine Aorteninsuffizienz. In der Diagnostik von Dissektionen erreicht die Einzelschicht-Spiral-CT (EZ-SCT) eine hohe Sensitivität von 98,3 %, ähnlich hoch wie die der MRA (98,3 %). Die Spezifität der CT ist mit 87,1 % etwas geringer als die der MRA (97,8 %) [1, 2, 8, 9].



Abbildung 5: Gedeckte Ruptur der Aorta: Axiales CT-Bild einer gedeckten Ruptur mit polypoiden Dichteerhöhungen, irregulären Wandkonturen mit Aortenwandverdickung sowie retroperitonealem Hämatom.

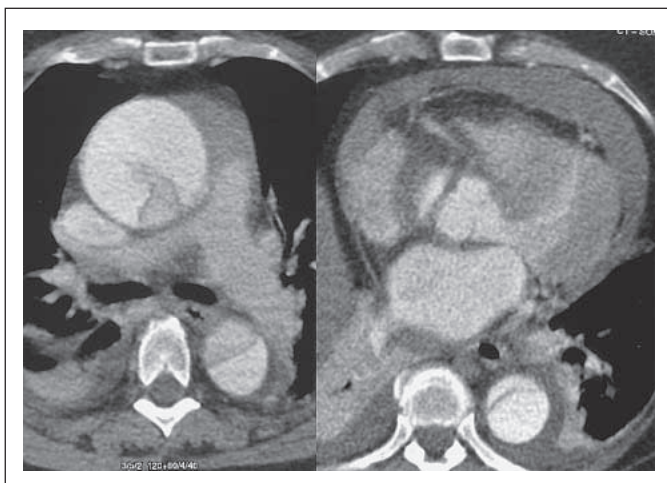


Abbildung 6: Akute Dissektion mit Aneurysma der Aorta Typ B mit frischem Hämoperikard.

Mit der Einführung der MSCT und Optimierung der KM-Applikation ist zu erwarten, daß Spezifität und Sensitivität weiter steigen. Die MSCT kann den gesamten aortalen Gefäßbaum einschließlich der sog. „großen Seitenäste“ vollständig zur Darstellung bringen [6]. Auch die KM-gestützte MRA kann große Abschnitte der Aorta abbilden (Abb. 5). Der bisherige Vorteil der MRA mit primär koronaler Schichtführung wird durch die gleichwertigen sekundären Reformationen der MSCT komplett ausgeglichen. Mit der MSCT können im Gegensatz zur MRA Komplikationen wie Mediastinalhämatom, Hämothorax, Hämoperikard (Abb. 6) oder abdominelles Hämatom zuverlässig nachgewiesen werden [6]. Bei allen Patienten in stabilem hämodynamischem Zustand scheint die kernspintomographische Untersuchung eine ideale Methode zur exakten Beschreibung der Aorta, sowohl zur Diagnostik vor einem operativen Eingriff als auch im Rahmen der Verlaufskontrolle. Bei der Kernspintomographie kann mit Hilfe anatomischer Bilder (Spinechos) und von Funktionsbildern (Gradientenechos) nicht nur die Makro-pathologie, sondern auch das Flußverhalten dargestellt werden [15].

Dadurch kann nicht nur eine umfassende anatomische Darstellung geliefert werden, sondern es können auch wichtige Epiphänomene wie ein Perikarderguß, Aortenklappeninsuffizienz, eine intramurale Hämorrhagie, diskrete Intimaeinriße und das Verhalten des Blutflusses im falschen Lumen analysiert werden – Faktoren, die wichtig für Prognose und notwendige therapeutische Entscheidungen sind. Zusammenfassend muß festgehalten werden, daß in Anbetracht der hohen Sensitivität und Spezifität der MSCT/MRT und der hohen Komplikationsrate bei der Untersuchung von dissezierenden Aneurysmata mittels Kathetervorfahren die MRT und MSCT als Verfahren der ersten Wahl bei der präoperativen Abklärung und postoperativen Verlaufskontrolle von Aneurysmata gelten muß.

Intramurale Hämorrhagie der Aorta (IMH)

Mit den hochauflösenden, tomographischen, bildgebenden, nichtinvasiven Verfahren ist es möglich, Vorstufen der Dissektion ohne intraluminale Komponente, nämlich die intramurale Hämorrhagie, nachzuweisen [29–31]. Ursache für eine IMH ist wahrscheinlich die spontane Ruptur von atherosklerotisch veränderten Vasa vasorum der Aorta, die sekundär zum Intimaeinriß führen kann [28]. Auch der therapeutische Ansatz ist, ähnlich wie bei der klassischen Dissektion, von der anatomischen Beteiligung abhängig. Kernspintomographische Verfahren und die CT-Technik stellen optimale Methoden zum Nachweis der IMH dar. Die diskreten Wandverletzungen der Gefäße bei penetrierenden Intima-Ulzera und intramuralen Einblutungen als Vorstufe einer Dissektion lassen sich computertomographisch als polypoide oder lineare intraluminale Dichteminderungen (Abb. 7), als irreguläre Wandkonturen oder als intramurales Hämatom nachweisen [32–34]. Hier ist die Sensitivität der konventionellen CT mit 65 %, der Angiographie (83 %) und der MRA (86 %) unterlegen [35]. Eine dünnere Schichtführung in der Mehrzeilendetektortechnik erleichtert insbesondere das Aufspüren kleiner Wandläsionen. Dies läßt eine verbesserte Detektion der CTA bei Einsatz der MSCT erwarten. Der Nachweis der IMH beruht auf der Darstellung einer intramuralen Blutansammlung bei gleichzeitig lokalisierter Zunahme der Aortenwanddicke. Mit kernspintomographischen Techniken läßt sich jedoch nicht nur das sequestrierte Blut abbilden, sondern auch mit dem Nachweis von Methämoglobin das Alter des Hämatoms abschätzen [31–34]. Aufgrund der intramuralen Pathologie bei der IMH ist klar, daß eine angiographische Darstellung der Aorta diagnostisch nicht hilfreich ist

Ulzera der Aorta

Ulzera befinden sich überwiegend im deszendierenden thorakalen oder abdominalen Teil der Aorta. Klinisch können sie sich wie eine Dissektion oder eine intramurale Hämorrhagie äußern. Über die Prognose der Ulzera herrscht keine Klarheit. Penetrierende Ulzera wurden als Ursache für die intramuralen Einblutungen diskutiert. Angiographisch sind sie durch eine fokale Kontrastverstärkung im Angiogramm außerhalb der Begrenzung des Aortenlumens charakterisiert. Sowohl mit CT-Techniken als auch mittels Kernspintomographie konnten Ulzera nachgewiesen werden (Abb. 8). Der definitive Nachweis gestaltet sich jedoch, abgesehen von der Angiographie, mit tomographischen Methoden nicht einfach. In den meisten Fällen sieht man im CT das umgebende Hämatom und die Ablagerung von Kalzium [35–36].

Trauma der Aorta

Bei Patienten mit Verdacht auf Aortentrauma ist die CT das Instrument der Wahl [37], sofern die Patienten nicht sofort operiert werden sollten (Abb. 9).

Paraaortale Erkrankungen

Paraaortale intrathorakale Erkrankungen wie parakardiale und perikardiale Tumoren, Pleuraergüsse, Lungenaffektionen, Hiatushernien und paraaortale solide Strukturen sind ein ideales Substrat für kernspintomographische und CT-technische Untersuchungen.

Schlußfolgerung

Zur Abklärung der Aortenerkrankungen sind als nicht-invasive bildgebende Verfahren primär die MSCT und der

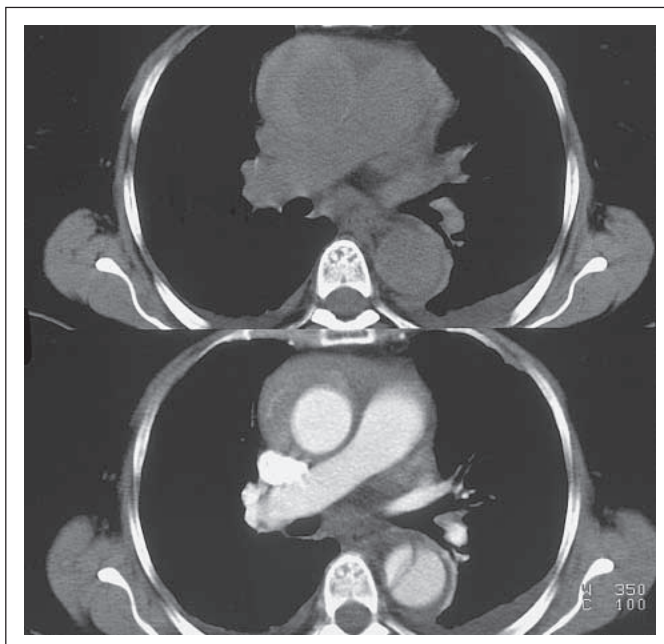


Abbildung 7: Akutes intramurales Hämatom der Aorta. **a.** Im Nativ-CT gering hyperdense, sichelförmige, exzentrische Formation der Aorta ascendens im Sinne einer intramuralen Blutansammlung und konsekutiven Zunahme der Aortenwanddicke. **b.** Nach KM-Gabe regelrechte Lumenkontrastierung ohne Nachweis einer Dissektionsmembran, jedoch umschriebene Kontrastierung des intramuralen Hämatoms als Hinweis für eine akute Blutung. Manifeste Dissektion der Aorta descendens.

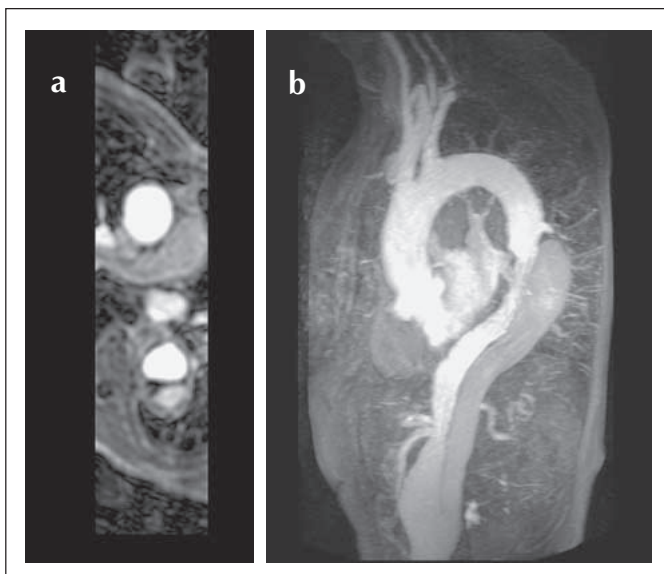


Abbildung 8: Penetrierendes Ulcus bei einem dissezierenden Aortenaneurysma. **a.** Axiales T2-gew. Schichtbild: Spitzwinklige Ausziehung der Aorta descendens. **b.** Sagittale Rekonstruktion der MR-Angiographie: Die Dissektion ist aufgrund eines arteriosklerotischen Ulcus entstanden. Das falsche, dorsal gelegene Lumen ist deutlich größer als das echte Lumen. Die Dissektionsmembran zieht sich über den Hiatus aortae bis in die Mitte der Aorta abdominalis infrarenal mit Re-Entry kaudal dahin.

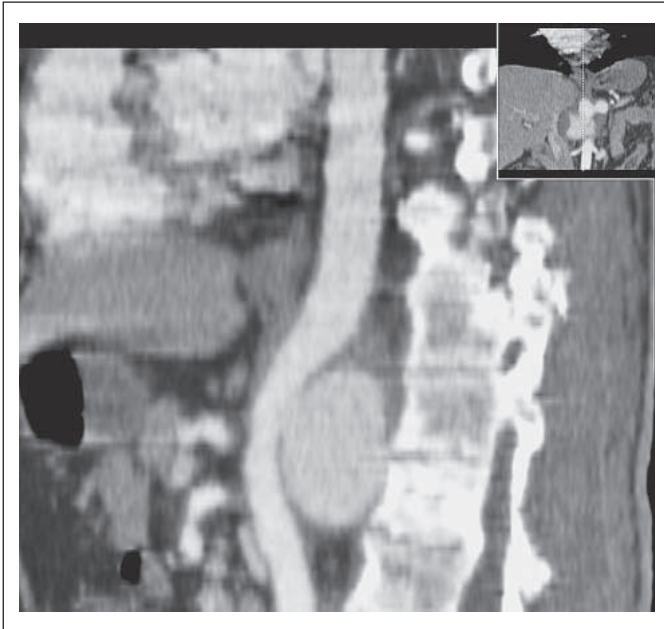


Abbildung 9: Posttraumatisches Pseudoaneurysma. Die multiplanare Rekonstruktion bei Zustand nach Trauma zeigt ein Pseudoaneurysma im Bereich der Aorta abdominalis sowie die Fraktur des 1. Lendenwirbelkörpers.

MRT zu nennen. Damit können nahezu alle Aspekte der Aortenerkrankung beleuchtet werden. In der Akutsituation, bei intubierten und hämodynamisch instabilen Patienten ist die MSCT wegen der kürzeren Untersuchungszeit die Methode der Wahl. Bei Patienten mit chronischem Verlauf und kongenitalen oder entzündlichen Aortenerkrankungen ist die MRT besser geeignet. Absolute Indikationen zur Angiographie sind weiterhin die Mitbeteiligung der Koronararterien sowie das hämodynamische Monitoring.

Literatur:

- Nienaber CA, v. Kodolitsch Y. Bildgebende Diagnostik der Aortenerkrankungen. *Radiologe* 1997; 37: 402–9.
- Jeffrey RB jr. CT angiography of the abdominal and thoracic aorta. *Semin Ultrasound CT MR* 1998; 19: 405–12.
- Simpson IA, Chung KJ, Glass RF, Sahn DJ, Sherman FS, Hesselink J. Cine magnetic resonance imaging for evaluation of anatomy and flow relations in infants and children with coarctation of the aorta. *Circulation* 1988; 78: 142.
- Parsons JM, Baker EJ, Hayes A et al. Magnetic resonance imaging of the great arteries in infants. *Int J Cardiol* 1990; 28: 73.
- Kersting-Sommerhoff BA, Seelos KC, Hardy C, Kondo C, Higgins SS, Higgins CB. Evaluation of surgical procedures for canotic congenital heart disease by using MR imaging. *Am J Roentgenol* 1990; 155: 259.
- Mueller C, Obenauer S, Kopka L, Grabbe E. The diagnosis of acute dissection by multiplanar-detector CT using the spiral technic. *Radiologe* 1999; 39: 979–87.
- Thurnher SA, Dorffner R, Thurnher MM, Winkelbauer FW, Kretschmer G, Polterauer P, Lammer J. Evaluation of abdominal aortic aneurysm for stent-graft placement: comparison of gadolinium-enhanced MR angiography versus helical CT angiography and digital subtraction angiography. *Radiology* 1997; 205: 341–52.
- Kramer SC, Görlich J, Aschoff AJ, Orend K-H, Mickley V, Sokiranski R, Brambs HJ, Rilinger N. Diagnostic value of spiral-CT angiography in comparison with digital subtraction angiography before and after peripheral vascular intervention. *Angiology* 1998; 49: 599–606.
- Nienaber CA, v. Kodolitsch Y, Nicolas V, Siglow V, Piepho A, Brockhoff C, Koschyk DH, Spielmann RP. The diagnosis of thoracic dissection by noninvasive imaging procedures. *N Engl J Med* 1993; 328: 1–9.
- Hittmaier K, Wunderbaldinger P, Fleischmann D. Contrast optimization in CT angiography. *Radiologe* 1999; 39: 93–9.
- Prince MR, Narasimham DL, Stanley CJ, Chenevert TL, Williams DM, Marx MV, Cho KJ. Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the abdominal aorta and its major branches. *Radiology* 1995; 197: 785–92.
- Holland GA, Dougherty L, Carpenter JP, Golden MA, Gilfeather M, Slossman F, Schnall MD, Axel L. Breath-hold ultrafast three-dimensional gadolinium enhanced MR angiography of the aorta and the renal and other visceral abdominal arteries. *Am J Roentgenol* 1996; 166: 971–81.
- Fellner C, Strotzer M, Geissler A, Kohler SM, Krämer BK, Spies V, Held P, Gmeinwieser J. Renal arteries: evaluation with optimized 2 D and 3D time-of-flight MR angiography. *Radiology* 1995; 196: 681–7.
- Debatin JF, Ting RH, Wegmüller H, Sommer FG, Fredrickson JO, Brosnan TJ, Bowman BS, Pelc NJ. Renal artery blood flow: Quantitation with phase-contrast MR-imaging with and without breath holding. *Radiology* 1994; 190: 371–8.
- Payne JA, Firmin DN, Longmore DB. Measurement of flow with NMR. *J Comput Assist Tomogr* 1984; 8: 588–93.
- Kersting-Sommerhoff BA, Sechtern UP, Fisher MR, Higgins CB. MR imaging of congenital abnormalities of the aortic arch. *AJR* 1987; 149: 9–13.
- Pyeritz RE, McKusick VA. The Marfan syndrome: diagnosis and management. *N Engl J Med* 1979; 300: 772–7.
- Rees S, Sommerville J, Warad C, Matinez J, Mohiakkin RH, Underwood R, Longmore DB. Coarctation of the aorta: MR imaging in late postoperative assessment. *Radiology* 1989; 173: 449–502.
- Von Schulthess GK, Higashino SM, Higgins SS, Didier D, Fisher MR, Higgins CB. Coarctation of the aorta: MR imaging. *Radiology* 1986; 158: 469–74.
- Miller DL, Reinig JW, Volkman DJ. Vascular imaging with MRI: inadequacy in Takayasu's arteriitis compared with angiography. *AJR* 1986; 146: 949–54.
- Armon MP, Whitaker SC, Gregson RH, Wenham PW, Hopkinson BR. Spiral CT angiography versus aortography in the assessment of aortoiliac length in patients undergoing endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *J Endovasc Surg* 1998; 5: 222–7.
- Paulin S, Schulthess GK von, Fossel E, Krayenbuehl HP. MR imaging of the aortic root and proximal coronary arteries. *AJR* 1987; 1148: 665–70.
- Cheitlin MD. Commentary on: Anderson MW, Higgins CB. Should the patient with suspected acute dissection of the aorta have MRI, CAT scan, or aortography as the definitive study? In: Cheitlin MD, Brest AM (eds). *Dilemmas in cardiology*. Davis, Philadelphia, 1990; 293–306.
- DeBakey ME, McCollum CH, Crawford ES et al. Dissection and dissecting aneurysms of the aorta. *Surgery* 1982; 92: 1118–34.
- Daily PO, Trueblood W, Stinson EB et al. Management of acute aortic dissections. *Ann Thorac Surg* 1977; 10: 237–47.
- Nienaber CA, v. Kodolitsch Y. Meta-analysis of changing mortality pattern in thoracic aortic dissection. *Herz* 1992; 17: 398–416.
- Eagle KA, DeSanctis RW. Aortic dissection. *Curr Probl Cardiol* 1989; 14: 231–78.
- Gore I. Pathogenesis of dissecting aneurysm of the aorta. *Arch Pathol Lab Med* 1952; 53: 142–53.
- Nienaber CA, v. Kodolitsch Y, Petersen B, Loose R, Helmchen U, Haverich A, Spielmann R. Intramural hemorrhage of the thoracic aorta. Diagnostic and therapeutic implications. *Circulation* 1995; 92: 1465–72.
- Cigarroa JE, Isselbacher EM, De Sanctis RW, Eagle KA. Diagnostic imaging in the evaluation of suspected aortic dissection. *N Engl J Med* 1993; 328: 35–43.
- Yamada T, Tada S, Harada J. Aortic dissection without intimal rupture: diagnosis with MR imaging and CT. *Radiology* 1988; 168: 347–52.
- Dieckmann C, v. Kodolitsch Y, Habermann CR, Csösz S, Loose R, Haverich A, Nicolas V, Nienaber CA. Intramurale Hämorrhagie der thorakalen Aorta. Diagnostische Erfahrungen mit Magnetresonanztomographie, Computertomographie und transösophagealer Echokardiographie. *Rö Fo* 1998; 169: 370–7.
- Svensson LG, Labib SB, Eisenhauer AC, Butterfly JR. Intimal tear without hematoma. An important variant of aortic dissection that can elude current imaging techniques. *Circulation* 1999; 99: 1331–6.
- Stanson AW, Welch TJ, Ehman RL, Sheedy PF. A variant of aortic dissection: computed tomography and magnetic resonance findings. *Cardiovasc Imaging* 1989; 1: 55–9.
- v. Kodolitsch Y, Nienaber CA. Das Ulkus der thorakalen Aorta: Diagnostik, Therapie und Prognose. *Z Kardiol* 1998; 87: 917–27.
- Kazerooni EA, Bree RL, Williams DM. Penetrating atherosclerotic ulcers of the descending thoracic aorta: evaluation with CT and distinction from aortic dissection. *Radiology* 1992; 183: 759–65.
- Del Rossi AJ, Cernainau AC, Madden LD, Cilley JH Jr, Spence RK, Alexander JB, Ross SE, Gamishion RC. Traumatic disruptions of the thoracic aorta: treatment and outcome. *Surgery* 1990; 108: 864–70.

ABONNEMENTBESTELLUNG

JOURNAL FÜR KARDIOLOGIE

Achtung Aktion: Abonnement e-Journal derzeit bis auf Widerruf kostenlos!

 **DAZU HIER KLICKEN**

Hiermit bestelle ich
ein Jahresabonnement
(mindestens 6 Ausgaben)

- als Printversion zum Preis von
€ 60,-*
- als e-Journal (das Gesamt-PDF
erhalte ich per Download zum
Preis von € 60,-)
- als Printversion und e-Journal
zum Preis von € 60,-*

Zutreffendes bitte ankreuzen

* im Ausland zzgl. Versandkosten
Stand 1.1.2012

Name

Anschritt

E-Mail

Datum, Unterschrift

Einsenden oder per Fax an:

Krause & Pachernegg GmbH, Verlag für Medizin und Wirtschaft
A-3003 Gablitz, Mozartgasse 10
FAX: +43/(0)2231/612 58-10

 **ELEKTRONISCHE BESTELLUNG**

Bücher & CDs
Homepage: www.kup.at/buch_cd.htm
