

Journal für **Kardiologie**

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauserkrankungen

Kardiale Magnetresonanztomographie bei Aortenerkrankungen: Aneurysma intramurales Hämatom und Dissektion

Salomonowitz E, Kaiser B

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2003; 10

(1-2), 43-49

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Veranstaltungskalender

Hybrid-Veranstaltungen der Herausgeber des **Journals für Kardiologie**

Finden Sie alle laufend aktualisierten Termine
auf einem Blick unter

www.kup.at/images/ads/kongress.pdf

Kardiale Magnetresonanztomographie bei Aortenerkrankungen: Aneurysma, intramurales Hämatom und Dissektion

E. Salomonowitz, B. Kaiser

Kurzfassung: Die Magnetresonanztomographie (MRT) erfüllt alle Anforderungen zur Diagnostik und Analyse der Aorta, Akutpatienten kommen aber üblicherweise primär zur Computertomographie (CT), da sie schnell und ubiquitär verfügbar ist. Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf alle relevanten Techniken zur Darstellung von Aneurysma, intramuralem Hämatom oder Dissektion mittels MRT als eigenständige Untersuchung mit hohem intellektuellem Anspruch, beschreibt ihre

Applikation und detailliert die diagnostischen Befundkriterien.

Abstract: Cardiac Magnetic Resonance Tomography in Diseases of the Aorta: Aneurysm, Intramural Hematoma, and Dissection. Magnetic Resonance Tomography (MRT) fulfills all prerequisites for diagnostic and analytic work-up of the aorta. Only patients with acute disease states will be primarily

transferred to computed tomography (CT) which, as of yet, is considerably faster and, most importantly, readily available. This paper considers all relevant imaging techniques for demonstration of aneurysms, intramural hematomas, and dissections of the aorta with the use of modern MR-scanners with specific emphasis on its high intellectual demands, describes its applications, and details all necessary criteria for the radiological report. **J Kardiologie 2003; 10: 43–9.**

■ Einleitung

Das Aneurysma, das intramurale Hämatom und die Dissektion der Aorta sind derzeit die häufigsten Indikationen zur MRT der mediastinalen Strukturen [1]. Zweck der Untersuchung ist einerseits die vollständige Darstellung von Anatomie und pathologischem Substrat in allen (sechs) Richtungen bzw. Ebenen, andererseits die qualitative und quantitative Flußanalyse und weiters die kontrastverstärkte dreidimensionale Abbildung im Raum mit detaillierter Beurteilung der Pathologie von ihrem Anfang bis zu ihrem Ende, mit dem Ziel, konsekutiv therapeutische Entscheidungen zu treffen.

■ MR-Protokoll

Als Minimalanforderung umfaßt ein MR-Protokoll die Untersuchung in axialer und parasagittaler LAO-Projektion. Black blood-protonengewichtete schnelle Spinecho-Sequenzen umfassen den Bereich vom Jugulum bis kaudal der Pathologie, alternativ Spinecho-EPI oder T2W-Turbo oder Fast-Spinecho axial sowie parasagittal. Zur Beurteilung der Aortenwand sind nicht nur Double-, sondern auch Triple-TSE-Sequenzoptionen mit Fettunterdrückung in modernen Geräten verfügbar. Bright Blood-Gradienten-Cine-Darstellungen in LAO-Projektion oder axial zur Differenzierung von fließendem und stagnierendem Blut gehören ebenso zum Basisprotokoll wie eine Phasenkontrast-Angiographie (PCA) zur Beurteilung des Flows mit quantitativer Flußanalyse für Rückschlüsse auf Entry Site, Reentry Site und Flußmuster. Aus heutiger Sicht konkurriert eine balanced TFE-Technik mit einer kontrastverstärkten MRA zur Beurteilung der Aorta als Ganzes. Die kontrastverstärkte MR ermöglicht die Beurteilung der Source Images. Alle 3-D-Akquisitionen müssen ausführlich nachverarbeitet werden (Postprocessing) [2].

■ Prinzipien der MR-Technik

Obwohl die Auflösung der MR-Kontrastdarstellung der Gefäße und des Blutflusses an die konventionelle Angiographie keinesfalls heranreicht, genügt sie dennoch, um in größeren Gefäßstrukturen brauchbare, nichtinvasive Diagnostik zu liefern, ungeachtet ihrer Indikation für Hochrisikopatienten, Patienten mit optionaler KM-Allergie und Patienten mit Kontraindikationen für eine KM-Gabe, wie z. B. Niereninsuffizienz.

Black Blood Imaging

Wenn bei einer Sequenz vom Spinecho-Typ die Parameter so gewählt werden, daß Schicht für Schicht Intravoxeldephasierung innerhalb der Blutgefäße stattfinden kann, zerstört dieser Prozeß das Signal und ergibt einen Black Blood-Effekt. Theoretisch muß für diesen Effekt lediglich die Time to Echo-Zeit (TE) lang genug gewählt werden, damit das Blut fortfließt und zwischen einem Puls und dessen Echo sein Signal verliert. Für normale Flow-Verhältnisse genügt hier *in praxi* eine TE von 15–30 ms für Arterien und Venen. Durch duale Inversionstechnik wird dieser Effekt heute künstlich herbeigeführt: Der erste Inversionspuls dephasiert das Blut kaudal der Schicht und in der Schicht, der zweite Inversionspuls rephasiert das Gewebe. Der Black Blood-Effekt ergibt also ein schwarzes Lumen und einen normalen Kontrast im umgebenden Gewebe. Dadurch kommen auch Herzstrukturen, Muskel und Aortenwand direkt und ohne störende Flow-Artefakte zur Darstellung. Mit einem dritten Inversionspuls kann Fett gesondert abgesättigt werden, zumal das Akquisitionsfenster ultraschneller Sequenzen für diese Pulsdauer genügend Raum bietet (Abb. 1a–c).

Zur Akquisition der BB-Sequenzen gibt es mehrere moderne Möglichkeiten. Abbildung 1 zeigt drei Beispiele unserer Technik in BB-TSE, links eingestellt nach TE, mittig eine duale Inversions- und rechts eine Triple-Inversionstechnik, letztere mit zusätzlichem Fettsättigungspuls. Die Aortenwand kommt mit zusätzlicher Pulsfolge deutlicher zur Darstellung, insbesondere bildet die duale Inversion eine sehr gute Standardsequenz.

Bei sehr langsamem Blutfluß genügen auch lange Time to Echo-Zeiten nicht, um einen vollständigen Flow void-, also

Aus dem Zentralen Institut für Medizinische Radiologie – Diagnostik und Interventionelle Therapie, A.ö. KH St. Pölten

Korrespondenzadresse: Prim. Univ.-Prof. Dr. med. Erich Salomonowitz, MAS, A.ö. KH St. Pölten, Radiologie, Propst-Führer-Straße 4, A-3100 St. Pölten; E-Mail: salomonowitz@kh-st-poelten.at

einen Black Blood-Effekt zu erzeugen, hier ist auch die Differenzierung zu stagnierendem Blut oder intramuralem Hämatom bzw. Thrombus schwierig. Signal to Noise- und Contrast to Noise-Ratios des Black Blood Imaging sind relativ niedrig, kleine Gefäße sind schwer zu differenzieren. In der Aorta ist somit Black Blood Imaging mit Bright Blood Imaging zu kombinieren, das einen viel höheren Signal-zu-Rauschen-Faktor aufweist.

Bright Blood Imaging

Die Blutbewegung kann auch zu Signalanhebung führen: Die Phänomene heißen a) Flow-related Enhancement, b) Even-Echo-Rephasing und c) Diastolic Pseudogating. Der für uns wichtigste Effekt ist das Flow-related Enhancement: Magnetisiertes Blut fließt dabei in die Schicht eines Untersuchungsvolumens ein, dabei stellt sich dieser Inflow magnetisierter und nichtsaturierter (von keinem Prepuls getroffener) Spins signalreich dar.

Auf diesem Effekt beruht die grundlegende Bright Blood-MR-Angiographie-Technik: das Time of Flight Imaging (TOF) mit kurzem TR. Die Pulsfolge ist so schnell, daß keines der Gewebe Zeit hat, seine longitudinale Magnetisierung zwischen den Pulsen zurückzugewinnen: Alle Gewebe bleiben dunkel, die frisch einfließenden Blutströme geben hingegen Signal: Das ins Bild einfließende Blut hat noch keinen Puls erfahren und bringt seine volle Magnetisierung mit. Die Signalakquisition erfolgt möglichst schnell, das heißt mit einem TE von derzeit 0,8–2,4 ms, um das Signal vor seiner Phasendispersion zu messen.

Die Pulssequenz für TOF-MR-Angiographie ist eine Gradientenecho (GE)-Sequenz. Frischer Blutfluß in die Bildebene gibt helles Signal, und der Hintergrund bleibt dunkel. Die Technik funktioniert natürlich dann besonders gut, wenn die Schichtdicke schmal ist und der Blutstrom unmittelbar in 90° zur Schichtebene erfolgt. Blutfluß in der Schicht gibt kein Signal (Abb. 2a und b).

Die neue B-TFE, bei Siemens True Turbo-FISP, ist in einer Schicht-für-Schicht-, also M2D-Akquisition in der Lage, nachträglich „geMIPt“ zu werden (oben) und ergibt in wenigen Sekunden eine saubere Darstellung der Aorta. Abbildung 2 zeigt eine Gegenüberstellung zur Standard-3-D-Kontrastverstärkten-Angiographie. Das kleine Duktusdivertikel kommt in beiden MIPs gut zur Abbildung. Der wesentliche Unterschied

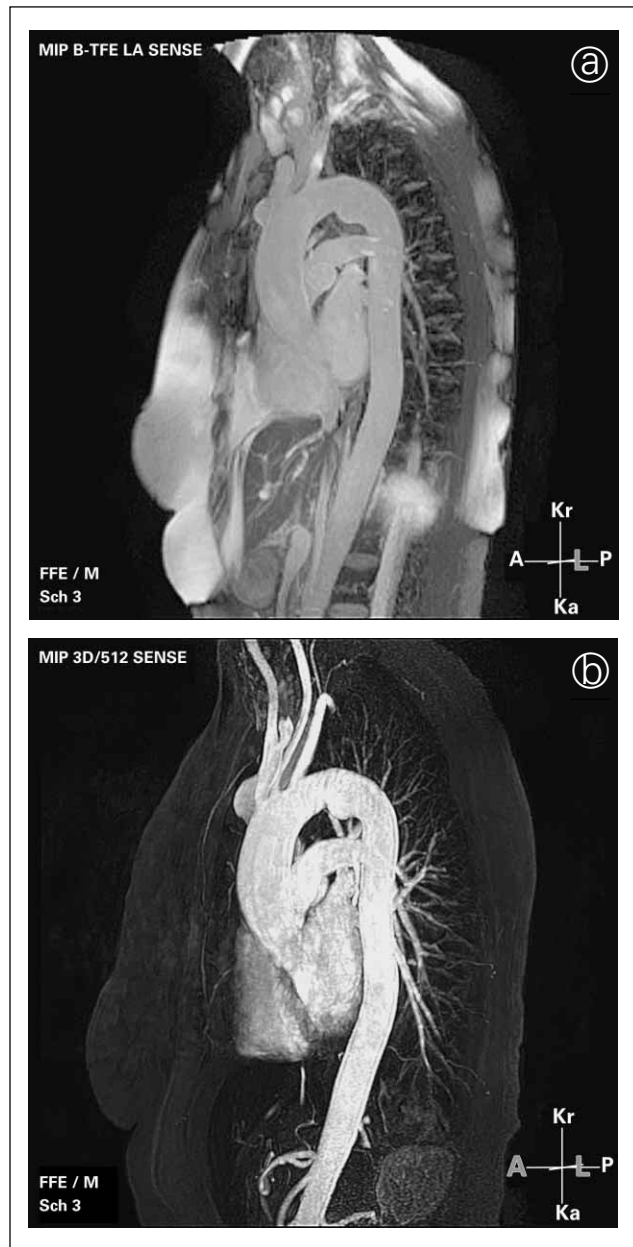


Abbildung 2a-b: Bright Blood-Gradientenecho-Technik mit Schicht-für-Schicht (M2D)-Akquisition und MIP (a) in Konkurrenz zur kontrastverstärkten 3-D-MR-Angiographie (b)

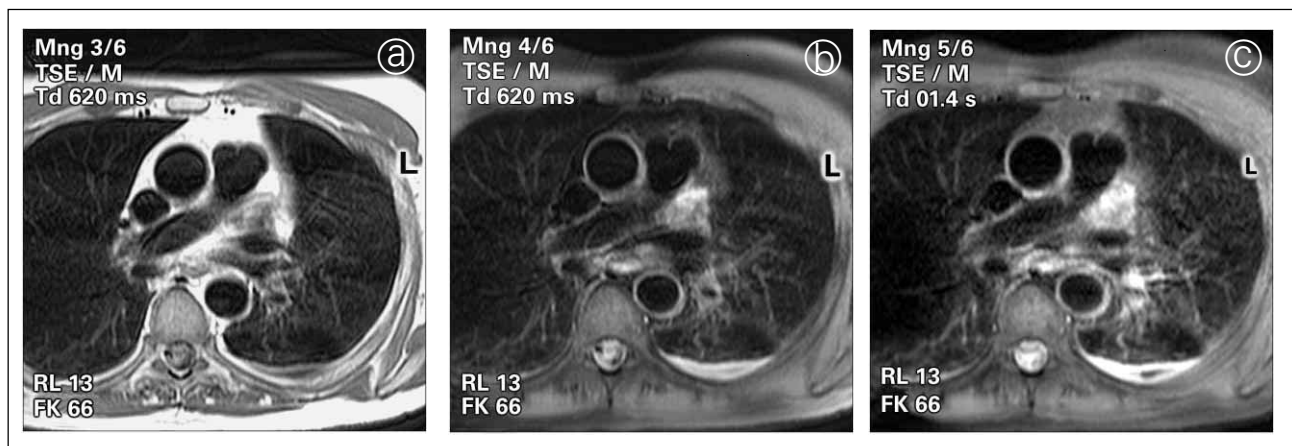


Abbildung 1a-c: Black Blood-Spinecho-Techniken: a) T2W-TSE mit langem TE (~170 msec), b) duale IR-TSE und c) Triple-TSE.

liegt in den Vorteilen der B-TFE: kurze Akquisition, rasche Verfügbarkeit, kein KM-Verbrauch und die KM-Serie immer noch optional möglich.

TOF-Imaging erfolgt in 2-D oder 3-D oder in überlappenden Scheiben. Durch Vorsättigungspulse können Arterien oder Venen vorgesättigt und dadurch signallos gemacht werden. TOF-Imaging kann mit den verschiedenen Fat Saturation- oder Magnetisation Transfer-Techniken kombiniert sein. Wegen der Atembewegung erfolgt diese MRA idealerweise in Atemstillstand. Komplexe Respiratory Gating- oder Navigator-echo-Techniken sind auch üblich. Mit EKG-Trigger werden Daten bewußt während Diastole, Systole oder zu einem anderen Zeitpunkt gemessen.

Phase Contrast Imaging

Neben der Messung der örtlichen Bewegung der Spins erlaubt die MR-Physik die Messung von Flußrichtung und Flußgeschwindigkeit. Die zusätzliche Zeit für den Phasencodierprozeß verlängert die Zeit der normalen Datenakquisition. Die PCA verlangt nach einer vorausschauenden Einstellung der erwarteten Geschwindigkeit, denn die Bildqualität ist direkt proportional zur Genauigkeit der Einstellung von Flußrichtung und Flußgeschwindigkeit, des sogenannten Velocity Encoding (VENC). Das VENC wird empirisch eingestellt.

Cine Imaging

Mit Bright Blood- und Phasenkontrast-Bildgebung wird der pulsatile Fluß als Bildschleife dargestellt und eine Pseudo-Real Time-Beurteilung ermöglicht. Im Cine Imaging werden die Daten unter EKG-Triggerung akquiriert, so daß zahlreiche Bilder am gleichen Ort innerhalb mehrerer Herzzyklen aufgenommen werden. Die Cine-Schleifen beobachtet man am Monitor oder auf einer externen Konsole, ähnlich wie ein Sonogramm bzw. Echokardiogramm. Die Datenmenge erfordert eine kompetente Hardware. Diese Information ist aber für Aortenerkrankungen entscheidend. Nur im Cine-Modus lassen sich echtes und falsches Lumen mit Sicherheit differenzieren oder ein Intimaflap in seiner Bewegung demonstrieren. Aortenwurzel und -klappen müssen ebenfalls im Cine-Modus betrachtet werden. Die Kombination der Phasenkontrast-Angiographie mit Cine Mode, also eine Velocity Encoded-Phasenkontrast-Angiographie, ist integraler Bestandteil des Aortenprotokolls.

Gadolinium Enhanced MRA

Die bisher beschriebenen MRA-Techniken beruhen auf der außergewöhnlichen Empfindlichkeit der MR auf Bewegung, im speziellen Fall auf der Differenzierung zwischen Bewegung und umgebendem stationärem Gewebe. Diese Techniken funktionieren in normalen Gefäßen und bei laminaren Flow-Verhältnissen gut. Bei gestörtem Flow oder Turbulenz verringern Gadolinium-Chelate die T1-Zeit so stark, daß eine Bright Blood-Time of Flight-Inflow-Technik angewandt werden kann. Voraussetzungen sind eine sehr starke und sehr schnelle MR-Maschine für ein TR von unter 4 ms und ein TE von 0,5–2 ms. Mit schneller Pulsfolge wird lediglich das Gefäßlumen dargestellt, ähnlich wie in der konventionellen Angiographie, nur eben nicht in Projektionstechnik, sondern in

einem 3-D-Schicht- bzw. Volumensatz [3]. Mit Gadolinium-Komplexen wird das T1 des Blutes unter das T1 von Fett reduziert ($T1/\text{Fett} = 270 \text{ ms}$, das hellste stationäre Gewebesignal). Generell gibt eine höhere Dosis Gadolinium ein besseres Enhancement. Praktisch beschränken der zunehmende T2*-Effekt die T1-Signalgebung der GE-Sequenzen und die Schalleistung der Gradienten (TE nicht kurz genug). Sobald aber das T1 des Blutes mit einer Gadoliniuminfusion genügend verkürzt ist, bedarf es lediglich einer T1W-3D-GE-Sequenz, um das stationäre Gewebe dunkel und das Blut leuchtend hell darzustellen. Gerade jetzt kommen auch Uspio-Blood Pool-Agents auf den Markt, die einen ähnlichen Effekt mit T2*-Sequenzen erzeugen [4]. Diese produzieren hochaufgelöste Bilder mit fast isotropen Voxeln, minimaler Artefaktanfälligkeit und nur geringen Mißregistrationsen. Die Datenregistrierung erfolgt so rasch, daß auch in der Aorta ascendens kaum Bewegungs- oder Pulsationsartefakte auftreten, auch ohne EKG- oder peripheres Gating. Je nach K-Space-Füllung läßt sich der Bolus zum zentralen K-Raum (für Kontrast verantwortlich) zeitlich einstellen. Der Scan-Delay, also die Wartezeit der Akquisition bis zum Eintreffen des Bolus, wird nur von unerfahrenen Untersuchern nach Gefühl bestimmt. Der erfahrene Untersucher wendet zwei Möglichkeiten an: Die eher ungenaue Option des Trackings, eine Time-to-Peak-Attenuation-Technik, bei der durch Dichteanhebung (KM-Anflutung) in einer definierten Struktur die KM-Anflutung indirekt den Scanner startet; dies erlaubt bei genügend langer Boluslänge einen bequemen Untersuchungsablauf. Ein genaues Timing erhält man aber nur durch die altmodische Methode der Probeinjektion: Über der interessierenden Region (ROI) wird die Passage eines KM-Testbolus zeitlich dokumentiert und der richtige Zeitpunkt für die eigentliche Bildakquisition sekundengenau bestimmt. Das Timing entscheidet auch über Darstellung von arterieller Phase, parenchymatöser Phase und venöser Rückstromphase. Der seriöse Untersucher verwendet eine Timing-Sequenz und berechnet die KM-Gabe in Übereinstimmung zu seiner K-Raum-Füllungswahl.

■ MRT/MRA-Protokollbeispiel

Eine saubere EKG (bzw. VCG)-Triggerung ist unabdingbare Studienvoraussetzung. Vor der Untersuchung soll die Qualität der Ableitung im Magneten in Ruhe und während der Akquisition stimmen. Es empfiehlt sich nicht, die Ableitungen der externen Überwachung im MR als Trigger für die eigene Maschine zu nutzen. Das EKG definiert generell die Qualität der Akquisition. Für manche Sequenzen ist auch eine Atemtriggerung erforderlich. Ob dies durch direkten Atemgurt oder mit Navigatorecho erfolgt, sei eine Frage des technischen Standards und der Ausrüstung des Gerätes. Auch eine Untersuchung in Bauchlage sei zur Minimierung von Bewegungsartefakten überlegt.

Obwohl zahlreiche Sequenzen zur Bildgebung verfügbar sind, ist eine B-TFE (True Turbo-FISP) oder eine EKG-getriggerte BB-PD-TSE-Sequenz (Black Blood-protonendichte Turbospinecho) empfehlenswert. Sie gibt statische Black Blood-Darstellungen, für Erwachsene üblicherweise in 7–10 mm Schichtdicke, direkt axial von Höhe des Jugulums bis kaudal des Zwerchfells. Fließendes Blut erscheint schwarz. Die Herzfrequenz (das RR-Intervall) definiert die TR; hohe

Herzfrequenz bedeutet weniger Schichten pro Akquisition und optional die Durchführung der Untersuchung in mehreren Schichtgruppen (Stacks).

Alternativ oder ergänzend wird für die axiale Anatomie eine weitere Black Blood-Darstellung ausgeführt, entweder als SE-EPI oder als T2W-Fast-SE (TSE)-Sequenz.

Neben der axialen Akquisition werden dann auch oblique parasagittale Darstellungen in einer LAO-Projektion in 3 oder 5 Schichten von jeweils 7–10 mm Schichtdicke angewandt. Diese Projektion stellt die Aorta thoracalis ausgebreitet dar. Eine steile RAO-Darstellung ist nur selten erforderlich (schräg parakoronar durch Aorta ascendens und Bogen), eventuell für erweiterte Evaluation von Sinus Valsalvae, Dissektionsmembran oder Aneurysmawand.

Die zweite große Untersuchungsgruppe umfaßt Bright Blood-Bilder. Hier wird anatomische und physiologische Information vereint. Die Untersuchung erfolgt entweder als Single Slice- oder als Multi Slice-Akquisition von Gradienten-echo (GE)-Sequenzen in zahlreichen Herzphasen, also in Single Slice/Multi Phase- oder in Multi Slice/Multi Phase-Technik. In dieser GE-Akquisition wird bewegtes Blut als Inflow nichtsaturierter Spins hell, mit verstärktem Signal dargestellt (flow-related-enhancement). Die Stärke des Signals ist grob proportional der Geschwindigkeit des Blutflusses. Dadurch können echtes von falschem Lumen, Flußrichtung wie auch Aliasing durch Fluß-Jets differenziert werden. Die Bright Blood-Darstellung des GE erlaubt auch die Differenzierung von fließendem und stagnierendem Blut (Thrombus, z. B. im falschen Lumen oder im intramuralen Hämatom).

Moderne schnelle und ultraschnelle GE-Sequenzen messen eine Bildschleife im Cine Mode, idealerweise EKG-getriggert frei atmend, navigatorgesteuert oder in Atemanhaltetechnik. Diese Bright Blood Cine-Sequenzen sind integraler zweiter Bestandteil des Aortenprotokolls, zunächst (und in jedem Fall) in der LAO-Projektion der schräg parasagittalen Schichtung. Hier muß jede Einzelschicht im Cine-Modus an der Konsole (alternativ an der Workstation) in Ruhe betrachtet werden. Weitere Projektionen ergeben sich aus den Befunden: LA-2-CH, SA, LA-4-CH, LVOT etc., zur genauen Beurteilung der Ventrikelfunktion, der Herzwandbewegungen und der physiologischen Parameter.

Der dritte Untersuchungsblock umfaßt die Phasenkontrastangiographie zur Beurteilung des Flows in der Aorta in Form einer blutgeschwindigkeitscodierten Cine-MRA. Diese Untersuchungssequenz erfolgt möglichst in der gleichen LAO-Projektion und Schichtung sowie auch im direkten Vergleich mit den bislang akquirierten Black Blood- und Bright Blood-Darstellungen (z. B. QF FFE, VCG, 20, 3.0, 30 [TR, TE, Alpha], VENC 100, Flow FH). Die PCA ermöglicht eine quantitative Flußanalyse in der Aorta und läßt Rückschlüsse auf Entry Site, Reentry Site und Flow-Muster zu. Die Technik nutzt die Messung der Phasenveränderung der Protonen während ihrer Bewegung entlang der Gradienten, die proportional zur Geschwindigkeit ist. Erweiterte Softwarepakete erlauben die quantitative Analyse von Fluß- oder Rückfluß (Regurgitations)-Volumina bzw. der Druckgradienten vor und nach Stenosen.

Im vierten Untersuchungsblock der Aorta wird die MR-Angiographie mit KM durchgeführt. Gadolinium-Chelate verkürzen die T1-Relaxationszeit und erlauben eine 3-D-Akquisition in einer sagittalen, parasagittalen oder koronalen

Scheibe, also in einer breiten, dicken Schicht, die nachträglich segmentiert wird. Diese Bildinformation wird einem ausführlichen Postprocessing unterworfen. Das nachbearbeitete MR-Angiogramm kann im Raum rotiert und von unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden, und es erlaubt multiplanare Rekonstruktion (MPR), maximale Intensitätsprojektion (MIP) und auch Shaded Surface Display (SSD). Es bedarf fachlicher Kompetenz, um die Tücken der Akquisition und des Processings zu erkennen. Die verführerische Leichtigkeit der lockeren Beurteilung eines 3-D-Modells, womöglich unter Lichteffekten und drehbar gelagert, kann schwerwiegende Fehlbefunde veranlassen.

■ Aneurysma, intramurales Hämatom, Dissektion

Eine zeitgerechte und umfassende Darstellung der Aortenerkrankungen ist wichtig, da Dissektionen der Aorta ascendens und gedeckte Aortenrupturen lebensgefährlich sind und unmittelbare chirurgische Intervention erfordern [5–8]. Eine saubere Chirurgie aber beruht auf dem kompletten Verständnis aller Strukturen der Aorta mit Beurteilung von Innenwand, Wandbeschaffenheit, Abgängen aller Gefäße, von Aortenursprung samt seinen Klappen, von Aortenkaliber und mediastinaler Umgebung [9].

Ein Großteil kardiovaskulärer MRs erfolgt für die Untersuchungen von Aortenerkrankungen. Die MR ist aber nur ein Teil des Untersuchungsspektrums und abhängig von Verfügbarkeit, spitalseigener Logistik und radiologischer Fachkompetenz. Es sei hier betont, daß die Grundlage – der Anfang des Untersuchungsgangs – eine Spiral-CT des Thorax ist. Neben Erkrankungen der Aorta zeigt die CT Ergüsse, mediastinale Veränderungen oder pathologische Verkalkungen. Der ehemalige Standard einer initialen Aortographie, also einer konventionellen invasiven Katheterangiographie, ist heute durch die Spiral-CT in der Akutphase weitgehend verlassen [10].

Die Spiral-CT-Angiographie der Aorta ist mit hoher Sicherheit die schnellste, genaueste und eine für Patienten-anwalt und Laien (lawyer and layman) verständliche, wiederholbare, billige, umfassende Diagnostik. Ihr Nachteil besteht vorwiegend in der axialen Form der Volumenakquisition, in der Feinheiten, wie Entry oder Reentry Site und Gefäßabgänge, eventuell unvollständig beurteilt werden können. Ebenso ist die Echokardiographie ein fester Bestandteil der Untersuchung, insbesondere für die Aortenklappe und die Sinus Valsalvae. Ein Teil der Aorta ascendens ist beurteilbar, ebenso weite Abschnitte der Aorta thoracalis descendens und auch der Aorta abdominalis [11, 12].

Die MR-Angiographie der Aorta verlangt einen kooperativen und hämodynamisch stabilen Patienten. Dies kann nicht oft genug festgehalten werden. Die Untersuchung erfordert Zeit und hohes technisches und intellektuelles Know-how.

Aortenaneurysma

Von allen kardiovaskulären MR-Untersuchungen sind jene der Aorta, und von diesen wiederum die der Aneurysmen am häufigsten. Unter den Aneurysmen sind jene der Aorta thoracalis am zahlreichsten.

Die Ursache für ein Aortenaneurysma ist üblicherweise eine langdauernde Arteriosklerose. Andere Ursachen betreffen Erkrankungen der Sinus Valsalvae oder der Aortenklappe, zystische Medianekrose, Syphilis, Aortitis anderer Ursache, Trauma und iatrogene, in erster Linie mykotische Manifestation. Zur kompletten Abklärung eines Aneurysmas gehören: innerer und äußerer Aortendurchmesser, Größe des frei durchflossenen Lumens, Status der Aortenwand, Ausmaß und Umfang des muralen Thrombus, periaortales Hämatom, Effekte des Aneurysmas auf umgebende Strukturen, Länge des Aneurysmas, optionale Extension in Gefäßäste, zusätzliche Aneurysmen – thorakal oder abdominell? Ausmaß und Beurteilung eines muralen Thrombus sind wichtig für Patienten, die periphere Embolisierungen erleiden.

Der normale Durchmesser (DM) der Aorta ascendens beträgt etwa 3–3,5 cm und ist in der axialen Schnittführung vergleichbar mit jenem des Truncus pulmonalis. Bei jungen Erwachsenen mißt die Aorta in Höhe der Sinus Valsalvae $3,3 \pm 0,4$ cm, in der Aorta ascendens $3,0 \pm 0,4$ cm und in der proximalen Aorta descendens $2,4 \pm 0,4$ cm. Ein DM über 4 cm bedeutet hier eine bereits erweiterte Aorta thoracalis, da 4 cm zwei Standardabweichungen der Normalbevölkerung übertrifft. Bis max. 5 cm spricht man beim alten Erwachsenen von einer „Ausweitung“ der Aorta ascendens, ab 5 cm von einem „Aneurysma“. Allerdings kann auch eine umschriebene Ausweitung über 4 cm, wenn sie lokal umschrieben ist, ein Aneurysma darstellen. Über einem DM von 6 cm ist die Rupturgefahr so groß, daß sie auch bei asymptomatischen Patienten zu einem chirurgischen Eingriff führt (30 % Rupturgefahr in der näheren Zukunft).

Das klassische Aortenaneurysma ist ein echtes Aneurysma mit Beteiligung aller drei Wandschichten [13, 14]. Falsche oder Pseudoaneurysmen entstehen, wenn durch einen Innenwandriß unter Intima und Media Blut in die Aortenwand eintritt. Manchmal wird nur die Adventitia als Barriere belassen, um das Pseudoaneurysma gegen die Umgebung abzukapseln. Pseudoaneurysmen entstehen typischerweise durch Traumen, z. B. Autounfälle, häufig in Höhe des Ligamentum arteriosum, bzw. nach Anastomosen, Katheterisierungen, Sondierungen [15].

Aneurysmen der Aorta ascendens werden chirurgisch saniert, denn es besteht über einem Durchmesser von 5 cm ein erhöhtes Rupturrisiko. Die genaue Darstellung von Größe, Wandbeschaffenheit, Ausdehnung, Lokalbefund und Umgebung eines Aneurysmas sind für Prozedere, präoperative Planung und Nachsorge unerlässlich. Die Verdickung der Aortenwand ist darzustellen und zu beurteilen, wie auch arteriosklerotische Plaques oder Wandkalk. Ausmaß, Weite und Lokalisation des intraluminalen Thrombus sind festzuhalten. Arteriosklerotische Aneurysmen der Aorta ascendens beeinträchtigen im Verlauf der Erkrankung die Sinus Valsalvae und die Aortenklappe (Messen!). Die Wandverdünnung durch zystische Medianekrose (Marfan- und Ehlers-Danlos-Syndrom) ist besonders zu beachten [14]. Insbesondere beim Marfan-Syndrom findet sich eine charakteristische Bildgebung in Form einer Erweiterung der Aortenwurzel und der proximalen Aorta ascendens, wobei die Sinus Valsalvae in die Weitung eingehen. Man spricht hier von Birnen-, Glühbirnen oder Zwiebelform der Aorta im parasagittalen (MR) Schnitt bzw. der LAO-Projektion. Eine Erweiterung des MR-Protokolls zur Beurteilung der Aortenklappenfunktion ist hier empfehlenswert

(durch Dilatation des Aortenringes erfolgt ein inkompletter Klappenschluß). Fortgeschrittene Krankheitsstadien weisen eine Aortenklappeninsuffizienz auf, wodurch die schon schwache Aortenwand weiter belastet wird (größeres Blutvolumen, stärkerer Flow). Eine ernste oder tödliche Komplikation bei einer Erkrankung der Aorta ascendens im Rahmen eines Marfan-Syndroms ist dann die akute Dissektion oder Ruptur der Wand.

Andere Ursachen für Aortenaneurysmen sind Aortenklappenerkrankungen [15, 16]. Hier sind Sinus- und Aortenwurzel in Form und Funktion erhalten. Aortenklappenstenosen verursachen aneurysmatische Weitungen der Aorta ascendens in ihrer zentralen oder mittleren Portion, wo die Effekte poststenotischer Blutverwirbelung am stärksten wirksam sind. Aneurysmen auf Basis von Aortenklappenstenosen können aber auch in den Arcus aortae reichen. Bright Blood-Cine-Sequenzen in LAO-Projektion können zur Darstellung des turbulenten Blutflusses und des transvalvulären Jets herangezogen werden. Die Differenzierung zum Aneurysma auf Basis einer Aorteninsuffizienz ist schwierig, aber normalerweise ist die Ausweitung durch Aorteninsuffizienz weiter in den Aortenbogen nachzuweisen und kann sogar in die Aorta thoracalis descendens reichen. Mittels Cine-PC-Angiographie kann in der Aorta ascendens das Ausmaß der Regurgitation semiquantitativ erfaßt werden (Rückflußvolumen : Auswurfvolumen).

Intramurales Hämatom

Intramurale Hämatome entsprechen praktisch Aortenwanddissektionen ohne Riß [17]. Möglicherweise gibt es einen proximalen Riß, der sich verschlossen hat, aber keinen zweiten distalen Riß, also kein Reentry. Die Ursache des intramuralen Hämatoms ist nicht ganz geklärt [18]. Es basiert aber mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einer Mediaschwäche, sei es durch banale Arteriosklerose oder durch ein arteriosklerotisches Ulkus [18, 19]. Klinisch präsentieren sich intramurale Hämatome ähnlich wie Aortendissektionen mit Schmerzen. Intramurale Aortenhämatome treten vorwiegend in der Aorta descendens auf [20].

So wie die Ursache des intramuralen Hämatoms nicht vollständig geklärt ist, wissen wir wenig über den natürlichen Verlauf, also ob sich das Hämatom über eine Periode von Monaten oder Jahren zurückbildet oder ob es, im Gegenteil, zu einer echten Dissektion wird (wahrscheinlich!). So wird die Behandlung des intramuralen Hämatoms in der Literatur kontrovers behandelt. Die eine Schule empfiehlt konservative Therapie, d. h. Kontrolluntersuchungen, die andere Schule empfiehlt aggressives chirurgisches Vorgehen. In der Aorta ascendens ist wohl die chirurgische Sanierung die Methode der Wahl, insbesondere bei morphologischer Veränderung des Hämatoms über einen gewissen Zeitraum, wenn angenommen werden kann, daß eine gedeckte Ruptur vorliegt, oder wenn ein wachsendes Aneurysma besteht. Entsprechend dem Alter des Hämatoms gibt die intramurale Wandverdickung ein unterschiedliches Signal: Das akute Hämatom ist relativ isointens zum Muskel, wird im subakuten Stadium signalreich, dann wieder isointens, wenn die Blutung sistiert. Dieses Signalmuster findet sich in T1W-SE- und GE-Sequenzen, somit in der Black Blood- und in der Bright Blood-Darstellung in ähnlicher Form. Während in den Cine-Sequenzen jedoch

Blutbewegung in Entsprechung der Herzphasen festgehalten wird, bleibt die Signalgebung des intramuralen Hämatoms innerhalb des gesamten Herzzyklus gleich [13].

Schwierigkeiten mag es in der Differenzierung eines intramuralen Hämatoms von einer Dissektion mit langsamem Flow im falschen Lumen geben [21]. Auch hier braucht es Kompetenz, persönlichen Einsatz und Zeit zur Untersuchung sowie eventuell technische Hilfsmittel, wie Flow-Encoding oder Grid-Tagging: Mit Tagging verschwimmen die „Saturation Bands“ auch bei ganz langsamem Fluß (wie im falschen Lumen der Dissektion), bleiben aber beim intramuralen Hämatom durch den gesamten Herzzyklus erhalten.

Aortendissektion

Aortendissektionen finden wir häufiger als CT- denn als MR-Untersuchungszuweisung [12]. Die Dissektion entsteht meist in der proximalen Aorta ascendens. Aufgrund der hohen Mortalität der Betroffenen sieht man diese Art der Dissektion seltener als jene, die nach dem Abgang der linken Arteria subclavia entsteht. Aortendissektionen betreffen vorwiegend Männer im „besten Alter“, in erster Linie als Ausdruck der zahlreichen Ursachen der Arteriosklerose, der Plaquebildung und der gleichzeitig bestehenden Hypertonie. Bei jungen Patienten mit Aortendissektion müssen prädisponierende Faktoren nachgewiesen oder ausgeschlossen werden, wie Aortenklappenerkrankungen, Marfan-Syndrom, Aortitis oder iatrogene Ursachen, wie Dissektionen nach Katheteruntersuchung oder Bypassoperation [22].

Über den exakten Mechanismus der Dissektionsentstehung wird debattiert [20]. Die eine Schule meint, es entstehe zunächst ein intramurales Hämatom innerhalb der arteriosklerotisch veränderten und geschwächten Media, das dann rupturiert. Die andere Schule geht von einem Intimariß mit konsekutivem Riß der Media aus [23, 24]. Egal wie Aortendissektionen entstehen, werden sie entweder nach dem De Bakey- oder nach dem Stanford-System klassifiziert. Das wesentlichste Klassifikationsmerkmal betrifft die proximale Dissektionsmembran: Betrifft sie die Aorta ascendens mit oder ohne Arcus, entspricht die Klassifikation De Bakey I und II oder Stanford A. Ist der distale Arcus oder die Aorta descendens betroffen, spricht man von De Bakey III oder Stanford B. Diese Aneurysmen der Aorta descendens werden konservativ behandelt, während Aneurysmen der Aorta ascendens chirurgische Notfälle darstellen: Die Dissektionsmembran kann die Koronargefäße oder die supraaortalen Äste treffen [25]. Herzinfarkt oder Schlaganfall wären unmittelbare Folgen. Dissektionen der Aorta ascendens können ins Perikard durch die Sinus Valsalvae oder direkt in das Mediastinum rupturieren. Mediastinalhämatom oder Herztamponade sind die üblichen Todesursachen bei akuter Aorta ascendens-Dissektionsruptur.

Das Problem der Untersuchung der Aortendissektion liegt in der kardiovaskulären Stabilität des Patienten, der Akutheit des Falles, der erforderlichen Schnelligkeit der Diagnostik und der diagnostischen Sicherheit [26, 27]. Deshalb sind CT, transthorakale und transösophageale Echokardiographie und MR-Untersuchung Techniken der Wahl, jedoch in dieser Reihenfolge (Reihenfolge ist hier nicht Rangfolge).

Laut Literatur ist die MR-Bildgebung der Dissektion allen anderen Untersuchungsverfahren überlegen [28]. Dies ist aber nur klinische Theorie, denn für die MR-Untersuchung bedarf

es eines ruhigen, kooperativen Patienten und einer guten Stunde Zeit. Dann können mit hoher Spezifität (98 %) und hoher Sensitivität (98 %) die Vorteile der MR-Bildgebung ausgespielt werden: Evaluation des intimalen Flap, Klassifikation, Darstellung von Entry und Reentry, Beurteilung von echtem und falschem Lumen, Untersuchung der Sinus Valsalvae und der proximalen Koronargefäße, Darstellung der supraaortalen Äste, Beurteilung der Aortenwand, Beurteilung der peri-aortalen Weichteile, alles in einem Untersuchungsgang [29].

Es sollte dann auch die gesamte Aorta untersucht werden, denn bei 25 % der Patienten mit thorakalem Aneurysma bilden sich infrarenale Aortenaneurysmen, und die Dissektion kann sich spiralig ausbreiten und weiter distal neu auftreten [30]. Normalerweise aber findet sich das falsche Lumen in der Aorta ascendens ventral und rechts und in der Aorta descendens dorsal und links, in Entsprechung des Entstehungsmechanismus und des Blutflusses.

Das Ziel der Bildgebung der Aortendissektion (akut oder chronisch) ist somit:

1. Identifikation des Intimal Flap
2. Darstellung des Ausmaßes und der Orientierung des Dissekats
3. Beurteilung der Aortengefäße, d. h. der Koronararterien und der supraaortalen Äste
4. Lokalisation von Entry und Reentry Site bzw. der Intimarrisse
5. Feststellung der Flow-Verhältnisse
6. Messung des Thrombus im falschen Lumen
7. Weiters müssen potentielle Komplikationen festgehalten werden: Pleuraerguß, Mediastinalhämatom, Perikardtamponade, transvalvuläre aortale Regurgitationsfraktion

90 % der Patienten weisen multiple Öffnungen oder Flaps auf, zumindest eine Eintritts- und eine Austrittsstelle. In diesen Situationen ist der Flow üblicherweise im echten und falschen Lumen nachweisbar. In etwa 10 % der Fälle findet sich eine einzige Öffnung in der Intima (sog. inkomplette Dissektion). Die Cine-MRA ist hier zweifach von Bedeutung: a) Nachweis unterschiedlicher Flüsse in den zwei Kanälen, b) Unterscheidung von Thrombus und langsamem Blutfluß im falschen Kanal. Die Cine-MR zeigt auch die Bewegung des Intimasegels. Geschwindigkeitscodierte Phasenkontrast-MR-Angiographie kombiniert die Vorteile von Cine-MR durch die Abbildung des „Magnitude“-Image mit dem quantitativen Geschwindigkeitsmapping durch das Phasenbild. Diese Informationen haben lediglich Phasenkontrastangiographie, MR-Angiographie und transösophageale Echokardiographie mit Doppler (Morphologie der Dissektion und Differentialblutfluß in den zwei Kanälen).

Mittels CT ist der Untersuchungsgang einfach und in etwa 5–10 Minuten ausgeführt. In der MR dienen T1W-SE-Sequenzen axial und in LAO-Projektion der Identifikation der schmalen linearen Struktur der Dissektionsmembran. Primäre und sekundäre Intimarrisse bzw. Flaps können am statischen Bild oft schwer beurteilt werden, deshalb ist die Bright Blood-Cine-MR eine deutliche Hilfe: Man erkennt die unterschiedlichen Flußmuster im echten und falschen Lumen und kann die dynamische Wandbewegung und die Flapbewegung beurteilen [13, 31]. Neue Softwarepakete erlauben auch, mittels Tagging die Wandbewegung semiquantitativ darzustellen. Mittels Cine-PC-

MRA können retrograde Flußmuster erkannt werden. Ergänzende LVOT-Orientierung der Cine-Gradienten oder Cine-PC-MR-Angiographiesequenzen erlauben die Beurteilung der Aortenklappe [1].

■ Limitation der MR

Die MR hat auch untersuchungsinhärente Limitationen. SE-EPI-Sequenzen mit kurzem TE können eventuell zwischen zu geringem Inflow frischer Spins, das heißt langsamem Blutfluß einerseits und Thrombus andererseits, nicht differenzieren (gemischtes hyper-/isointenses Signal). Deshalb sind Black Blood- und Cine-Sequenzen feste Bestandteile des Untersuchungsanges: Der Thrombus behält das intermediäre Signal, der Flow zeigt zyklische Signaländerungen. Schwierig ist auch die Differenzierung eines thrombosierten falschen Lumens einer chronischen Dissektion von einem intraluminalen Thrombus in einem Aneurysma (ohne Dissektion). Die Differenzierung ist schwierig, weil ein intraluminaler Thrombus sekundär reepithelialisieren kann. Dieses „Neopithel“ gibt die Erscheinung einer Intimadissektion zwischen echtem Lumen und Thrombus [2].

Weder chirurgische noch medikamentöse Therapie lassen eine Dissektion vollständig verschwinden, kurze Verlaufskontrollen sind notwendig. Allein schon aufgrund ihrer nichtinvasiven Natur ist die MR eine ideale Technik, um sequentiell Aortendissectionen zu überwachen. Ein wichtiges Axiom bei der Bildgebung der Aortendissection lautet: Ein negatives Aortogramm schließt eine Aortendissection nicht aus! TEE, CT und MR sind nicht „alternative bildgebende Verfahren“, sondern gemeinsame, einander ergänzende Teile eines Untersuchungsprotokolls.

Literatur

- Hartnell G, et al. Imaging of aortic aneurysms and dissection: CT and MRI. *J Thor Imaging* 2001; 16: 35.
- Davis CP, et al. Postprocessing techniques for gadolinium-enhanced three-dimensional MR angiography. *RadioGraphics* 1997; 17: 1061.
- Prince MR, et al. Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography of the thoracic aorta. *AJR* 1996; 166: 1387.
- Allkemper T, et al. Contrast-enhanced blood-pool MR angiography with optimized iron oxides: Effect of size and dose on vascular contrast enhancement in rabbits. *Radiology* 2002; 223: 432.
- Khan IA, et al. Clinical, diagnostic, and management perspectives of aortic dissection. *Chest* 2002; 122: 311.
- Klompas M. Does this patient have an acute thoracic aortic dissection? *JAMA* 2002; 287: 2262.
- Lowe LH, et al. Traumatic aortic injuries in children: radiologic evaluation. *AJR* 1998; 170: 39.
- Sawhney NS, et al. Aortic intramural hematoma: an increasingly recognized and potentially fatal entity. *Chest* 2001; 120: 1340.
- Ho VB, et al. Thoracic MR aortography: imaging techniques and strategies. *RadioGraphics* 1998; 18: 287.
- Prokop M. Diagnosis of aortic emergency. *Wien Med Wochenschr* 2001; 151: 536.
- Sherwood JT, et al. Missed acute ascending aortic dissection. *J Card Surg* 2001; 16: 86.
- Vogt FM, et al. Modern diagnostic concepts in dissection and aortic occlusion. *Radiology* 2001; 41: 640.
- Inoue T, et al. Evaluation of blood flow patterns of true and false lumens in dissecting aneurysms using MR phase-contrast techniques. *Clin Imaging* 1996; 20: 262.
- Kodolitsch Y, et al. Aneurysms of the ascending aorta: diagnostic features and prognosis in patients with Marfan's syndrome versus hypertension. *Clin Cardiol* 1998; 21: 817.
- Gilkeson RC, et al. Pseudoaneurysm of aortic cannulation site after coronary artery bypass grafting: evaluation with gadolinium-enhanced MR angiography. *AJR* 1999; 172: 843.
- Itskovich V, et al. Rapid aortic wave velocity measurement with MR imaging. *Radiology* 2001; 219: 551.
- Dieckmann C, et al. Intramural hemorrhage of the thoracic aorta. *RöFo* 1998; 169: 370.
- Nienaber CA, et al. Intramural hemorrhage of the thoracic aorta. Diagnostic and therapeutic implications. *Circulation* 1995; 92: 1465.
- Neri E, et al. Cocaine-induced intramural hematoma of the ascending aorta. *Tex Heart Inst J* 2001; 28: 218.
- Baur A, et al. Penetrating aortic ulceration: an unusual form of aortic dissection. *RöFo* 1998; 168: 550.
- Erbel R, et al. Diagnosis and management of aortic dissection. *Eur Heart J* 2001; 22: 1642.
- Iarussi D, et al. Association of left ventricular hypertrophy and aortic dilation in patients with acute thoracic aortic dissection. *Angiology* 2001; 52: 447.
- Estrera AL, et al. Is acute type A aortic dissection a true surgical emergency? *Semin Vasc Surg* 2002; 15: 75.
- Lois, et al. MRI of thoracic aorta. *Am J Cardiol* 1987; 60: 358.
- Sakuma H, et al. Evaluation of thoracic aortic dissection using breath-holding cine MRI. *JCAT* 1996; 20: 45.
- Pereles F, et al. Thoracic aortic dissection and aneurysm: Evaluation with nonenhanced true FISP MR angiography in less than 4 minutes. *Radiology* 2002; 223: 270.
- Hany T, et al. Aorta and runoff vessels: Single-Injection MR angiography with automated table movement compared with multiinjection time-resolved MR angiography-initial results. *Radiology* 2001; 221: 266.
- Krinsky G, et al. MR angiography of the thoracic aorta. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1998; 6: 293.
- Glockner J. Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography: Applications for abdominal imaging. *RadioGraphics* 2001; 21: 357.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☒ Medizintechnik-Produkte



Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ Bestellung e-Journal-Abo

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)