

Der Radiologe

Zeitschrift für diagnostische und interventionelle Radiologie,
Radioonkologie, Nuklearmedizin

Organ des Berufsverbandes der Deutschen Radiologen e.V. (BDR)

Elektronischer Sonderdruck für

C. Roth

Ein Service von Springer Medizin

Radiologe 2012 · 52:1101–1106 · DOI 10.1007/s00117-012-2370-8

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

zur nichtkommerziellen Nutzung auf der
privaten Homepage und Institutssite des Autors

C. Roth

Zerebrale Gefäßdiagnostik – Bildgebung

Zerebrale Gefäßdiagnostik – Bildgebung

Die Bildgebung der zerebralen Gefäße stützt sich im Wesentlichen auf 3 Verfahren, die nichtinvasive CT- (CTA) und MR-Angiographie (MRA) und die invasive digitale Subtraktionsangiographie (DSA). Für spezielle Fragestellungen im Rahmen neurovaskulärer Interventionen gewinnt zunehmend die Flachdetektor-CT-(FD-CT)-basierte Gefäßdarstellung an Bedeutung. Durch die zunehmende Verbreitung von Mehrzeilen-CT-Geräten (bis zu 640 Zeilen), die Entwicklung von Dual-source-CT-Geräten sowie die zunehmend höheren Feldstärken kombiniert mit paralleler Bildgebung und stärkeren Gradienten in der MR-Bildgebung hat die nichtinvasive Bildgebung der zerebralen Gefäße eine bisher nicht da gewesene Qualität erreicht. Die räumliche und zeitliche Auflösung der DSA ist nach wie vor unangefochten, jedoch haben die Schnittbildverfahren inzwischen eine ausreichende Qualität erreicht, so dass viele Fragestellungen mit diesen Techniken beantwortet werden können. Trotzdem hat die DSA mit ihrer Möglichkeit, dynamische Abläufe darzustellen, einen hohen Stellenwert in der zerebralen Gefäßdiagnostik. Daher sollte die Bildgebungswahl der Fragestellung angepasst sein.

CT-Angiographie

Durch die Einführung mehrzeiliger CT-Geräte in den 90er Jahren wurde es erstmals möglich, größere Volumina in kurzer Zeit mit einer hohen Ortsauflösung

darzustellen. Mit den z. Z. aktuellsten Geräten sind 4-D-Untersuchungen möglich, die eine dynamische Abbildung nahezu der gesamten supraaortalen Strombahn ermöglichen. Um dem bedeutendsten Nachteil der CTA, der geringen Ortsauflösung im Vergleich zur DSA, entgegen zu wirken, sollte man eine möglichst kleine Schichtkollimierung bei akzeptabler Scanzeit wählen. Eine zu lange Scanzeit birgt das Risiko venöser Überlagerungen, die insbesondere im Bereich der Karotisbifurkation zu Problemen führen können.

Durch die Gabe von intravenösem Kontrastmittel sollte eine Kontrastierung der intrakraniellen Gefäße mit ca. 250–400 HU erreicht werden. Um einen optimalen Kontrast zu erreichen, besitzen viele Geräte die Funktion des Bolustrackings. Hierbei wird in einer vorher festgelegten „region of interest“ (ROI), die in der Aorta ascendens platziert wird, kontinuierlich nach Starten der Kontrastmittelinjektion der Dichtewert gemessen und die Messung automatisch nach Erreichen eines bestimmten Schwellenwerts gestartet. Bei Geräten ab 32 Zeilen aufwärts sollte eine Flussgeschwindigkeit von 4–5 ml/s gewählt werden, ansonsten sind 3 ml/s ausreichend. Eine Anpassung der Kontrastmittelmenge an die Scanzeit und Injektionsrate ist notwendig, um kontrastmittelsparend zu arbeiten, durch Erhöhen der NaCl-Menge kann der Kontrastmittelbolus kostengünstig durch das Gefäßsystem geschoben werden. Je nach verwendetem Gerät und Injektionsrate sollten Kontrastmittelmengen von 50–80 ml ausreichend sein. Mit Geräten mit mehr

als 128 Zeilen sind sogar Untersuchungen mit lediglich 30 ml Kontrastmittel in gleicher Qualität möglich [8].

Je nach Zeilenanzahl des verwendeten CT-Geräts variieren die mögliche Scanlänge sowie die Detektorkollimation (2–0,3 mm). Die Scanlänge ist im Wesentlichen durch die Kontrastmittelkinetik beeinflusst. Während ein 1-Zeilen-Gerät lediglich 80 mm in 20 s bei einem Tischvorschub von 3 mm/Rotation scannen kann, sind ab einem 4-Zeilen-CT Scanlängen von 250 mm ohne Probleme möglich, bei einem 64-Zeiler sind Untersuchungszeiten von 4 s möglich [5]. Zur Diagnostik der intrakraniellen Gefäße sollte die kleinste Kollimation verwendet werden, um eine optimale Ortsauflösung zu erreichen. Dabei ist darauf zu achten, den Tischvorschub so anzupassen, dass ein normalisierter Pitchfaktor von 1 bis maximal 1,5 erreicht wird [2]. Das Untersuchungsvolumen sollte aus Strahlenschutzgründen auf den potenziell diagnostisch relevanten Bereich beschränkt werden, im Hinblick auf eine eventuell geplante Intervention sind jedoch auch die Zugangswege im Bereich des Aortenbogens von Belang.

MR-Angiographie

Die zunehmende Verbreitung von 1,5- und 3-Tesla-Geräten mit der Möglichkeit zur parallelen Bildgebung („parallel acquisition technique“, PAT) brachte die Möglichkeit, die Messzeit zu verkürzen und/oder das Messfeld zu vergrößern und die Abbildungsqualität zu verbessern.

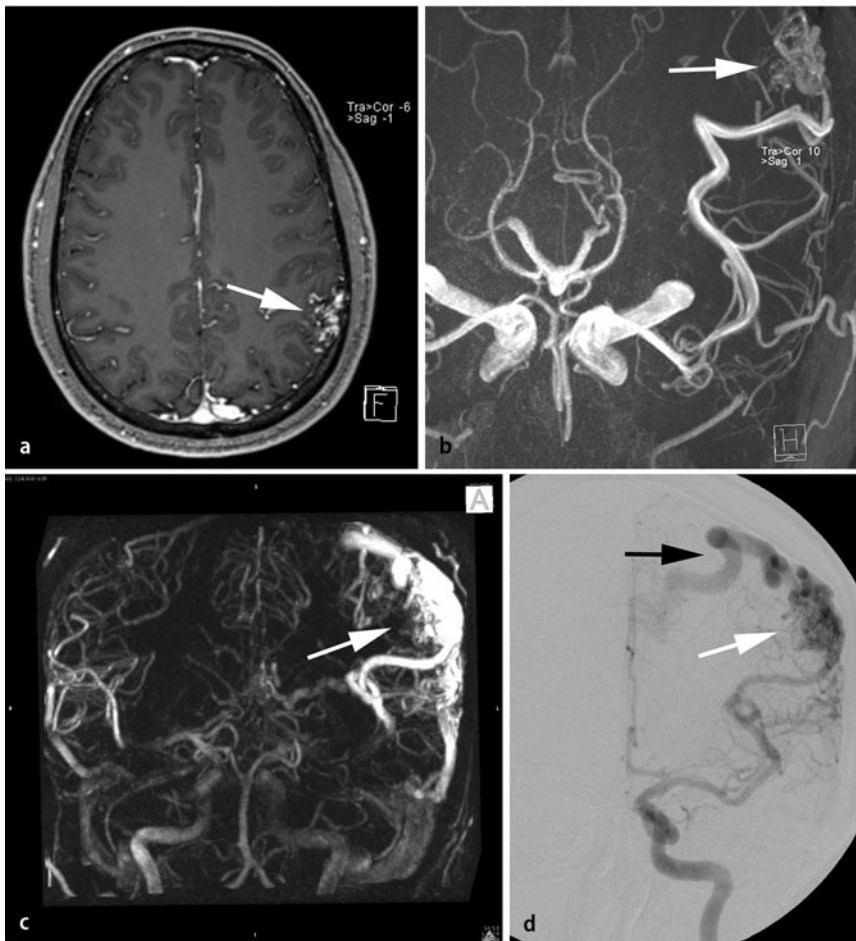


Abb. 1 ▲ Das T1-Bild nach KM-Gabe zeigt den Angiomnidus und angedeutet die dilatierten, drainierenden Venen, eine Aussage über zuführende Gefäße ist nicht möglich **a**. In der TOF- und CE-MRA-Bildgebung (**b, c**) lassen sich zuführende und drainierende Gefäße sowie der Nidus darstellen, als Hinweis auf den schnellen Fluss im Angiom kann man den fehlenden Kontrast im M1-Segment in der CE-MRA werten. Eine wirkliche Beurteilung auch im Hinblick auf eine weitere Therapie ist jedoch nur mit der DSA (**d**) möglich, da sich hier v. a. dynamische Aufnahmen erzeugen lassen. *KM* Kontrastmittel, *TOF* „time of flight“, *CE* „contrast-enhanced“, *DSA* digitale Subtraktionsangiographie

Angewendet werden 3 verschiedene Techniken [3, 7, 10]:

- SENSE („sensitivity encoding“),
- GRAPPA („generalized autocalibrating partially parallel acquisitions“) und
- SMASH („simultaneous acquisition of spatial harmonics“).

Durch diese Techniken lässt sich die Messzeit bei gleicher Bildqualität um bis zu 50% verkürzen [11]. Zu beachten ist jedoch, dass je höher der PAT-Faktor gewählt wird, desto geringer wird das Signal-zu-Rausch-Verhältnis („signal-to-noise ratio“, SNR). Die kontrastmittelgestützte MRA (Contrast-enhanced[CE]-MRA) verfügt über ein hohes SNR und ist somit ideal zur Anwendung der PAT.

Im Folgenden werden 3 Techniken zur Darstellung intrakranieller Gefäße näher erläutert:

- Bei der *Time-of-flight*(TOF)-Angiographie wird das stationäre Gewebe durch wiederholt eingestrahlte HF-Impulse abgesättigt, während das im Untersuchungsvolumen ungesättigte Blut ein hohes Signal gibt. Diese Technik wird durch Gewebe mit kurzer T1-Zeit (Fett in der Orbita, Methämoglobin in Hämatomen oder in subarachnoidalem Blut) limitiert, da hierdurch ein erhöhtes Hintergrundrauschen entsteht. Zusätzlich können turbulente Flüsse oder Gefäße, welche sich parallel zur Schichtebene befinden, zu Auslöschungen führen und somit Stenosen vortäuschen. Bei letz-

terem kommt es zu einer Absättigung des einströmenden Bluts durch die HF-Impulse und somit zu einer Auslöschung.

- Die *CE-MRA* basiert auf einem „first pass“ eines Kontrastmittelbolus. In letzter Zeit hat diese Untersuchungstechnik, bedingt durch immer schnellere und stärkere Gradientenspulen, nicht nur Bedeutung bei der Darstellung der Halsarterien, sondern auch der Hirnarterien erlangt. Hierzu ist ein schnelles und starkes Gradientensystem notwendig. Des Weiteren müssen Kontrastmittelbolus und Akquisition perfekt aufeinander abgestimmt sein, um ein maximales arterielles Signal ohne zu starke venöse Überlagerungen zu erhalten. Da die arteriovenöse Transitzeit im Regelfall sehr kurz ist, muss man einen Kompromiss aus Messzeit, -volumen und räumlicher Auflösung eingehen.
- Die *Phasen-Kontrast-MRA* (*PC-MRA*) ist ebenfalls eine flussabhängige Untersuchungstechnik, für die 4 Messungen benötigt werden, um den Fluss in allen 3 Raumrichtungen zu kodieren; hierdurch verlängert sich die Messzeit deutlich. Es hat sich gezeigt, dass diese Technik nicht besonders gut geeignet ist, um die intrakraniellen Gefäße oder Aneurysmen darzustellen [9]. Sie kann aber durchaus verwendet werden, um zum Ausschluss einer Sinusvenenthrombose die venösen Gefäße im Kopf darzustellen.

Nachverarbeitung der CTA-/MRA-Daten

Ein großer Vorteil der Gefäßdarstellung mittels CTA oder MRA ist, dass jeweils Volumendatensätze erzeugt werden, welche sich mit den Nachbearbeitungsworkstations der Hersteller nachbearbeiten lassen. Zunehmend finden aber auch alternative Systeme wie z. B. auf der Open-source-Software OsiriX (OsiriX Foundation, Geneva, Switzerland) basierende CE- oder FDA-zertifizierte Lösungen Verwendung. Diese sind im Vergleich oft deutlich günstiger bei vergleichbarer Leistung. Ein neuerer Ansatz, der letztendlich die klassische Workstation ablösen soll, ist die so

C. Roth

**Zerebrale Gefäßdiagnostik –
Bildgebung****Zusammenfassung**

Die Bildgebung der zerebralen Gefäße stützt sich im Wesentlichen auf die CT-Angiographie (CTA), MR-Angiographie (MRA) und die digitale Subtraktionsangiographie (DSA). Obwohl die DSA nach wie vor als Goldstandard gilt, lassen sich durch die technischen Neuerungen der Schnittbilddiagnostik viele Fragestellungen mithilfe von CTA und MR-A beantworten. Im nachfolgenden Artikel werden im Hinblick auf verschiedene Fragestellungen Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren aufgeführt sowie Grundlagen zu den einzelnen Techniken erläutert.

Schlüsselwörter

Digitale Subtraktionsangiographie (DSA) · CT-Angiographie (CTA) · MR-Angiographie (MRA) · Aneurysma · Stenose

**Cerebrovascular
diagnostics – Imaging****Abstract**

Imaging of the cerebral vasculature relies mostly on computed tomography angiography (CTA), magnetic resonance angiography (MRA) and digital subtraction angiography (DSA). Although DSA is still the gold standard, many questions can be answered with CTA and/or MRA thanks to recent technological advances. The following article describes the advantages and disadvantages of these techniques with regard to different questions. Basic principles regarding the different techniques are explained.

Keywords

Computed tomography angiography (CTA) · Magnetic resonance angiography (MRA) · Digital subtraction angiography (DSA) · Aneurysm · Stenosis

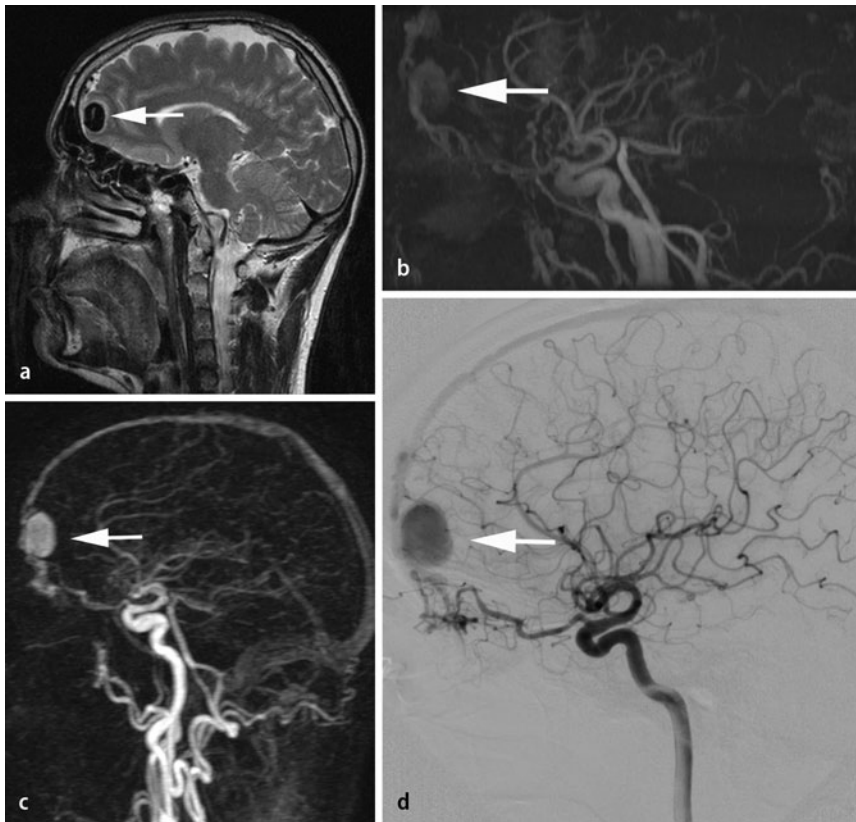


Abb. 2 ▲ Die durale AV-Fistel mit venösem Aneurysma lässt sich in Bezug auf zuführende Gefäße und drainierende Venen gut in der CE-MRA (c) darstellen; die entscheidenden Hinweise in Bezug auf eine weiterführende Therapie und v. a. die Dynamik gibt nur die DSA (d). CE, „contrast-enhanced“; DSA digitale Subtraktionsangiographie

genannte „cloud“. Dabei wird die benötigte Rechnerleistung, die zur Nachbearbeitung notwendig ist, auf einen zentralen Server ausgelagert, der lokale Client kann auf einem Standard-PC installiert werden. Damit sind Nachbearbeitungen z. B. beim Befunden an der PACS-Station möglich.

Der am häufigsten angewendete Algorithmus ist die „maximum intensity projection“ (MIP). Bei dieser Technik werden nur die hellsten Voxel eines Parallelstrahls zur Darstellung eines 2-D-Bildes verwendet, d. h. die 3-D-Daten des ursprünglichen Datensatzes werden in ein zweidimensionales Bild projiziert. Allerdings gehen jegliche räumlichen Informationen verloren, um einen scheinbaren 3-D-Effekt zu erzeugen, kann man z. B. 180- oder 360°-Rotationen erzeugen. Die meisten MRT-Geräte erzeugen so genannte Autorcons, die einen schnellen Überblick über den Gefäßbaum gestatten, in den meisten Fällen ist jedoch zum Herausarbeiten wichtiger Details eine Nachbearbeitung notwendig. Die MI-Projektion ist auch

zur Nachbearbeitung von CTA-Bildern geeignet, es müssen jedoch zunächst die knöchernen Strukturen der Schädelbasis entfernt werden. Diese Funktion wird von allen Softwarelösungen zwar automatisch angeboten, aber die Differenzierung zwischen kontrastmittelgefülltem Gefäß und Knochen ist z. B. im Karotiskanal oft schwierig.

Man kann aber auch ohne Entfernen der knöchernen Strukturen MIPs der intrakraniellen Gefäße in der CTA anfertigen (durch Begrenzen der Schichtdicke auf z. B. 5 mm), hierdurch lassen sich z. B. bei der Diagnostik des akuten Schlaganfalls schnell intrakranielle Verschlüsse nachweisen.

Bei der „volume rendering technique“ (VRT) wird eine Oberflächenrekonstruktion der Strukturen angefertigt. Durch diese Technik lassen sich Lagebeziehungen im dreidimensionalen Raum gut charakterisieren. Die meisten Nachbearbeitungskonsolen bieten zahlreiche Voreinstellungen der „threshold parameter“ (die

Voxel, die sichtbar werden), mit denen sich verschiedene Darstellungen ermöglichen lassen. Hierbei gelten jedoch auch wieder die Limitierungen der CTA im Bereich der Schädelbasis.

Die klassische multiplanare Rekonstruktion (MPR) ist nach wie vor, insbesondere bei der CTA, eine sinnvolle Technik, mit der sich intrakranielle Stenosen oder

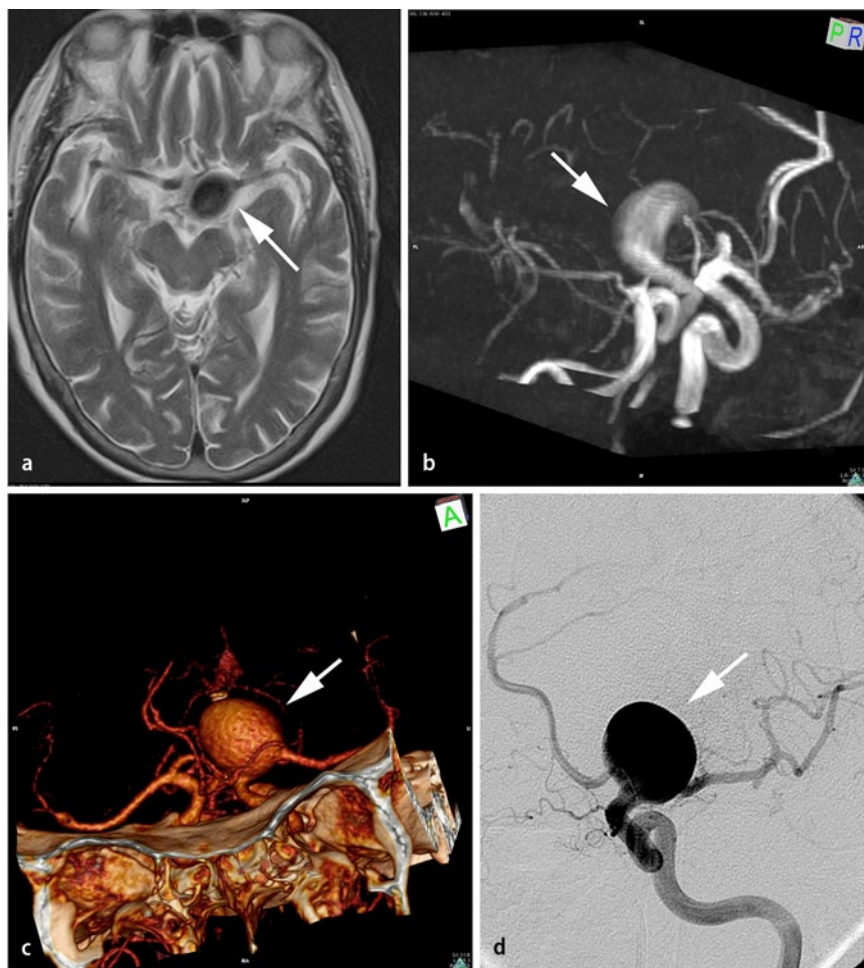


Abb. 3 ▲ Darstellung eines großen Aneurysmas im terminalen Abschnitt der ACI unter Einbeziehung der proximalen M1. Dieses lässt sich in der flusssensitiven TOF-Sequenz nur sehr schlecht darstellen (b), da durch die Verwirbelungen im Aneurysmalumen der Fluss nach distal deutlich verlangsamt wird. Eine sehr gute Darstellung gelingt hier mithilfe der CTA, die zudem noch den Bezug zur Schädelbasis darstellen kann (c). In der DSA ist aufgrund der Länge des betroffenen Gefäßabschnitts eine eindeutige Projektion des Halsbereichs nicht möglich (d). ACI A. carotis interna, TOF „time of flight“, CTA CT-Angiographie, DSA digitale Subtraktionsangiographie

Aneurysmen (hier insbesondere der Halsbereich) darstellen lassen.

Digitale Subtraktionsangiographie

Die DSA ist nach wie vor der Goldstandard zur Darstellung der zerebralen Gefäße. Sie ist zwar eine invasive Technik, jedoch mit einem geringen periprozeduralen Risiko behaftet [2, 3, 4]. Sie kommt meistens dann zum Einsatz, wenn durch die vorgenannten Techniken der Verdacht auf eine intrakranielle Stenose, ein Aneurysma oder eine Gefäßmalformation geäußert wurde.

Normalerweise erfolgt der Zugang über die A. femoralis, in die in Seldin-

ger-Technik eine 4-F- bzw. 5-F-Schleuse eingebracht wird. Die am häufigsten benutzen Katheter sind der Vertebralkatheter oder der Sidewinderkatheter. Um einen bestmöglichen Kontrast zu erreichen werden diese mittels 0,035“ Führungsdraht in der A. carotis interna (ACI) bzw. den Aa. vertebrales platziert und von hieraus das Kontrastmittel (KM) injiziert. Die Rate für die meisten Fragestellungen sollte 2–4 Bilder/s betragen. Wenn es um die Abklärung von Angiomen oder duralen AV-Fisteln geht können auch deutlich höhere Bildraten sinnvoll sein um den arteriellen Zufluss und die venöse Drainage dieser High-flow-Malformationen besser darzustellen. Des Weiteren sind hohe Bildraten sinnvoll bei der Darstellung von

Giantaneurysmen zur Darstellung der intraaneurysmalen Hämodynamik.

Eine der größten Limitationen dieser Technik ist die der nur begrenzt verfügbaren Freiheitsgrade, d. h. es gelingt u. U. nicht, ein Aneurysma so frei zu projizieren, dass man den Aneurysmahals ausreichend beurteilen kann, um eine Intervention zu planen. Die 3-D-Rotationsangiographie ist eine Technik, die diese Limitation überwinden kann. Hierbei rotieren die Röhre oder der Flachdetektor (FD) zunächst ohne KM-Injektion um den Patienten zum Erstellen einer Maske, in der folgenden 2. Rotation wird das KM injiziert. Diese Bilder werden in Schnittbilder umgerechnet, anhand derer VRTs erstellt werden können. Diese „Ansichten“ können automatisch an die DSA-Anlage übertragen und die Röhren in den entsprechenden Gradzahlen positioniert werden, um konventionelle DSA-Aufnahmen in entsprechender Projektion zu erstellen. Diese Technik erfordert, da zunächst eine native Maske erstellt wird, einen kooperativen Patienten, da die Akquisition ca. 20–30 s dauert.

Durch die Einführung der FD-Anlagen kommen neben der Strahlenreduktion noch zusätzliche Funktionen hinzu, z. B. das Erstellen einer venösen FD-CTA. Hierdurch lassen sich z. B. Instenstensen nachweisen. Diese Techniken sind z. Z. jedoch noch nicht in der klinischen Routine etabliert [11].

Klinische Fragestellungen

Akuter Schlaganfall

Bei der Diagnostik eines akuten Schlaganfalls ist es zum einen wichtig, zwischen einem ischämischen und einem hämorrhagischen Infarkt zu unterscheiden, des Weiteren sollten die supraaortalen Gefäße komplett dargestellt werden, um eine extrakranielle Stenose oder einen intrakraniellen Gefäßverschluss darzustellen und einen Überblick über die Zugangswege für eine mögliche Intervention zu bekommen. Hierfür ist das Mittel der Wahl das native Cranio-CT (CCT) in Kombination mit der CTA. Um Hinweise auf relevante Perfusionsdefizite zu erhalten, ist die Ergänzung einer CT-Perfusion sinnvoll.

Die primäre MR-tomographische Gefäßdarstellung ist im Falle eines akuten Schlaganfalls nicht sinnvoll, da die Untersuchung deutlich länger dauert, der Patient absolut still liegen muss und das Patientenmanagement bei sehr schwer betroffenen Patienten deutlich anspruchsvoller ist mit entsprechender zeitlicher Verzögerung. Des Weiteren sind nicht alle Kontraindikationen gegen eine MRT-Untersuchung in der Akutsituation zu eruieren.

Eine DSA ist dann sinnvoll, wenn eine Intervention angeschlossen wird, z. B. eine mechanische Thrombektomie.

Intrazerebrale Blutung (ICB)

Bei der ICB gilt es, ein Angiom, ein Aneurysma oder eine durale AV-Fistel als Blutungsursache auszuschließen. Bei der Wahl der Darstellung der intrazerebralen Gefäße müssen hier mehrere Gesichtspunkte berücksichtigt werden, nämlich der klinische Zustand des Patienten, d. h. Operation ja/nein sowie das Alter des Patienten und der native CCT-Befund (Marklagerveränderungen ja/nein). Zeigt sich bei einem älteren Patienten mit ausgeprägten Marklagerveränderungen und hypertoner Krise eine ICB loco typico (Stammganglien, Kleinhirn, Pons), reicht in der Regel eine CTA zum Ausschluss einer größeren Gefäßmalformation aus. Ist der Patient jedoch jünger (<50 Jahre) und das native CCT ansonsten unauffällig, die Blutung rein intraparenchymal ohne subarachnoidale Blutanteile, kann man in der Akutsituation eine CTA durchführen, sollte diese jedoch zeitnah durch eine DSA zum Ausschluss eines Angioms oder einer Dura-AV-Fistel ergänzen. Aufgrund der geringen Reblutungsrate von Angiomen oder Dura-AV-Fisteln muss die DSA nicht unbedingt direkt im Anschluss durchgeführt werden, sondern kann auch am Folgetag erfolgen. Findet man im nativen CCT Hinweise auf subarachnoidale Blutanteile, sollte zum Ausschluss eines Aneurysmas primär eine DSA erfolgen. Falls eine DSA nicht zu jeder Tages- und Nachtzeit zur Verfügung steht, kann man sich hier auch zunächst mit einer CTA behelfen, die Aneurysmen >2 mm relativ sicher nachweisen kann [6].

Angiom bzw. durale AV-Fistel

Besteht bei einem Patienten der Verdacht auf das Vorliegen einer duralen AV-Fistel oder eines Angioms, ist das Mittel der Wahl zur Gefäßdarstellung die DSA. In den meisten Fällen haben diese Patienten bereits eine MRT-Bildgebung erhalten, ggf. mit TOF-Angiographie oder CE-MRA. Diese geben jedoch nur weitere Hinweise, z. B. die Darstellung venöser Gefäße in der TOF oder einseitige Darstellung venöser Gefäße in der ansonsten rein arteriellen CE-MRA, auf das Vorliegen einer Gefäßmalformation. Im Falle eines Angioms ist dieses zumeist in den Parenchymbildern abgrenzbar, eine durale AV-Fistel kann jedoch nicht darstellbar sein. Bei dieser Fragestellung wird der größte Nachteil der MRA bzw. CTA offensichtlich, nämlich die fehlende Dynamik. Die DSA hingegen bietet diesen Vorteil und kann sowohl arterielle Zuflüsse als auch die venöse Drainage darstellen. Dies ist zur Planung der weiteren Therapie unerlässlich (■ **Abb. 1, 2**).

Aneurysma

Besteht bei einem Patienten der Verdacht auf das Vorliegen eines Aneurysmas, sollte auch hier zur Planung einer endovaskulären Versorgung bzw. Operation eine DSA erfolgen, mit der sich sowohl das Aneurysma als auch die Zugangswege darstellen lassen. Oft liegen CTA- oder MRA-Voraufnahmen vor. Je nach Gerätetyp sind diese allerdings in der Qualität oft nicht ausreichend, um ein weiteres Vorgehen planen zu können.

Im Rahmen der DSA lassen sich der Aneurysmahals und eventuell aus dem Aneurysmalumen abgehende Gefäße darstellen. Die häufig durchgeführte 3-D-Rotationsangiographie bringt den großen Vorteil, dass man einen sehr guten Überblick über die Anatomie erhält und zugleich leicht ideale Projektionen zur Aneurysmadarstellung findet, birgt aber auch das Risiko, dass der Aneurysmahals durch Pulsationsartefakte als zu breit fehlgedeutet wird oder dass man abgehende Äste im Bereich einer Bifurkation als vermeintlich aus dem Aneurysma entspringend fehldeutet. Daher ist es essenziell, anhand der 3-D-Rotationsangiographie

Hier steht eine Anzeige.

 Springer



Abb. 4 ▲ Darstellung einer Stenose der A. cerebri posterior im Übergang vom P1- zum P2- Segment. Hier zeigt sich, dass sowohl TOF als auch CE-MRA die Stenose „übertreiben“ (a, b), während die CTA (c) im Vergleich zur DSA (d) die genaueste Darstellung ermöglicht. TOF, „time of flight“, CE, „contrast-enhanced“, CTA CT-Angiographie, DSA digitale Subtraktionsangiographie

konventionelle DSA-Aufnahmen der relevanten Projektionen anzufertigen, da nur so der Halsbereich und abgehende Äste sicher beurteilt werden können (■ Abb. 3).

Intrakranielle Stenose

Eine intrakranielle Stenose zeigt sich entweder als Zufallsbefund (asymptomatisch) in einer CTA oder MRA oder als symptomatische Stenose im Rahmen einer Schlaganfallabklärung. Eine genaue Beurteilung einer intrakraniellen Stenose bzgl. der Wahrscheinlichkeit, dass sie symptomatisch wird, ist z. Z. nicht sicher möglich, obwohl insbesondere Studien mit hochauflösenden MRT-Aufnahmen viel versprechende Ergebnisse zeigen. Der Nachteil ist, dass diese Methoden „High-end-Scanner“ voraussetzen [1, 4].

Zur Beurteilung des Stenosegrades im MRT sollte zusätzlich zur TOF- eine KM-

Angiographie durchgeführt werden, da eine TOF-Angiographie den Stenosegrad oftmals überschätzt. Stenosen im Karotisendabschnitt sind manchmal durch den Verlauf im engen knöchernen Canalis caroticus in der CTA schwierig zu detektieren. Hier ist die MRT deutlich überlegen, die Aa. cerebri anterior, media und posterior lassen sich mit beiden Verfahren gleich gut darstellen. Eine DSA ist zu meist dann notwendig, wenn die vorgenannten Verfahren in Zusammenschau mit der Duplexsonographie keine übereinstimmenden Ergebnisse liefern. Im Rahmen der DSA kann auch hier die Anfertigung einer 3-D-Rotationsangiographie sinnvoll sein, da das Freiprojizieren einer Stenose bei sehr elongiert verlaufenden Gefäßen nicht immer auf Anhieb gelingt (■ Abb. 4).

Korrespondenzadresse



Dr. C. Roth
Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, Universitätsklinikum des Saarlandes Homburg/Saar, Kirrberger Straße, 66424 Homburg
christian.roth@uks.eu

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Chung GH et al (2012) High resolution MR imaging in patients with symptomatic middle cerebral artery stenosis. *Eur J Radiol*, in press
2. Ertl-Wagner B et al (2004) Diagnostic evaluation of carotid artery stenoses with multislice CT angiography. Review of the literature and results of a pilot study. *Radiologe* 44(10):960–966
3. Griswold MA et al (2002) Generalized autocalibrating partially parallel acquisitions (GRAPPA). *Magn Reson Med* 47(6):1202–1210
4. Hennerici MG (2004) The unstable plaque. *Cerebrovasc Dis* 17(Suppl 3):17–22
5. Lell M et al (2004) CTA of carotid artery with different scanner types. *Radiologe* 44(10):967–974
6. Papke K et al (2007) Intracranial aneurysms: role of multidetector CT angiography in diagnosis and endovascular therapy planning. *Radiology* 244(2):532–540
7. Pruessmann KP et al (1999) sensitivity encoding for fast MRI. *Magn Reson Med* 42(5):952–962
8. Reith W, Roth C (2010) CT diagnostics of carotid artery stenosis. *Radiologe* 50(7):607–613
9. Roth C (2011) Value of CT and MR angiography for diagnostics of intracranial aneurysms. *Radiologe* 51(2):106–112
10. Sodickson DK et al (2002) Recent advances in image reconstruction, coil sensitivity calibration, and coil array design for SMASH and generalized parallel MRI. *MAGMA* 13(3):158–163
11. Struffert T, Doerfler A (2009) Flat-detector computed tomography in diagnostic and interventional neuroradiology. *Radiologe* 49(9):820–829