

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 2011 · 51:106–112 · DOI 10.1007/s00117-010-2050-5

© Springer-Verlag 2011

zur nichtkommerziellen Nutzung auf der
privaten Homepage und Institutssite des Autors

C. Roth

Wertigkeit der CT- und MR-Angiographie zur Diagnostik intrakranieller Aneurysmen

Wertigkeit der CT- und MR-Angiographie zur Diagnostik intrakranieller Aneurysmen

Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung von CT- und MR-Geräten und nicht zuletzt der Nachbearbeitungssoftware hat die nichtinvasive Bildgebung der zerebralen Gefäße eine bisher nicht da gewesene Qualität erreicht. Die räumliche und zeitliche Auflösung der digitalen Subtraktionsangiographie (DSA) ist nach wie vor unangefochten, jedoch haben die Schnittbildverfahren inzwischen eine solche Qualität erreicht, dass viele Fragestellungen mit dieser Technik beantwortet werden können.

Im Hinblick auf die CT-Angiographie (CTA) sind insbesondere die zunehmende Verbreitung von Mehrzeilengeräten (bis zu 320 Zeilen) zu nennen und nicht zuletzt die Entwicklung von Dual-source-Geräten. Die Magnetresonanztomographie (MRA) hat im Wesentlichen von der Entwicklung höherer Feldstärken sowie schnellerer Gradienten und der Möglichkeit der parallelen Bildgebung durch Kombination verschiedener Spulenelemente profitiert. Die Anforderungen insbesondere in der neurovaskulären Bildgebung sind hoch, da zum einen die zu untersuchenden Strukturen sehr klein sind und zum anderen schon unter physiologischen Bedingungen die arteriovenöse Transitzeit sehr kurz ist, was zu störenden venösen Überlagerungen führen kann [1].

Die DSA wird nach wie vor als Goldstandard zur Diagnose intrakranieller Aneurysmen angesehen, jedoch birgt die

se Methode ein wenn auch geringes Risiko von Mortalität und Morbidität [2, 3, 4]. Die weniger invasiven Methoden zur Darstellung der intrakraniellen Gefäße, die mit dem Makel der geringeren räumlichen und zeitlichen Auflösung behaftet sind, kompensieren diese Nachteile zum Teil durch vielfältige Möglichkeiten der Nachbearbeitung. Hier sind die dreidimensionale Volume-rendering-Technik (VRT) und die Maximum-intensity-Projektion (MIP) zu nennen, deren Möglichkeiten sich zum einen durch die Weiterentwicklung der Scanner, zum anderen durch die zunehmende Rechenleistung der Nachbearbeitungskonsolen von einem „Spielzeug“ zu einem ernstzunehmenden Werkzeug weiterentwickelt haben. Durch diese Möglichkeiten lässt sich eine nahezu unbegrenzte Anzahl an Projektionen generieren. Dieses ist zugleich die Achillesferse der DSA, da der Untersucher hier bei der Wahl der Projektionen deutlich eingeschränkt ist.

CT-Angiographie

Mit der Einführung der mehrzeiligen CT-Geräte in den 90er Jahren wurde es erstmals möglich, größere Akquisitionsvolumina in sehr kurzer Zeit mit einer hohen Ortsauflösung zu untersuchen. Nach der Einführung von 16-Zeilen-Geräten im Jahr 2002 folgten bald 64- sowie vor kurzem 320-Zeiler bzw. Dual-source-Geräte, mit denen 4-D-Untersuchungen möglich sind. Hiermit lässt sich das ge-

samte supraaortale Gefäßterritorium in einem Untersuchungsschritt darstellen.

Der bedeutendste Nachteil der nichtinvasiven Untersuchungsverfahren ist im Gegensatz zur DSA die geringe Ortsauflösung. Man sollte in der CTA versuchen, ein Maximum an Ortsauflösung durch minimale Schichtkollimierung bei akzeptabler Scanzeit zu erreichen, um eine zu starke venöse Überlagerung zu vermeiden.

Kontrastmittel

Ziel der i.v.-Kontrastmittelapplikation ist, eine möglichst gute Kontrastierung der intrakraniellen Arterien zu erreichen. Hierbei sollten Dichtewerte von 250–400 HU (Hounsfield Units) erreicht werden. Da Herzzeit- und Verteilungsvolumen die Kontrastierung beeinflussen, ist bei neueren CT-Scannern ein Bolustracking möglich und sinnvoll. Die Injektionsgeschwindigkeit sollte in Abhängigkeit vom Gerätetyp gewählt werden. Bei Geräten mit mehr als 32 Zeilen und sehr kurzen Untersuchungszeiten sind Injektionsraten von 4–5 ml/s sinnvoll, um schnell einen möglichst hohen Kontrast in der Arterie zu erhalten. Ansonsten sind Injektionsgeschwindigkeiten von 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 [5].

Untersuchungsprotokolle und Rekonstruktionskernel

Je nach Zeilenanzahl des verwendeten CT-Geräts variieren die mögliche Scanlänge sowie die Detektorkollimation (2–0,6 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 [6]. Zur Diagnostik der intrakraniellen Gefäße sollte die kleinste Kollimation verwendet werden, um eine optimale Ortsauflösung zu erreichen. Hierbei ist darauf zu achten, den Tischvorschub so anzupassen, dass ein normalisierter Pitchfaktor von 1 bis maximal 1,5 erreicht wird [7]. Natürlich sollte das Untersuchungsvolumen 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 und der Karotiden bzw. eventuelle nachgeschaltete Stenosen von Belang.

MR-Angiographie

Ein wesentlicher Fortschritt neben der zunehmenden Verbreitung von 1,5- und 3-Tesla-Geräten ist die Möglichkeit der parallelen Bildgebung („parallel acquisition technique“, PAT). Bei der PAT werden Mehrkanalspulen benutzt, um eine Messzeitverkürzung und/oder Messvolumenvergrößerung zu erreichen. Drei verschiedene Techniken kommen zur Anwendung [8, 9, 10]:

- SENSE („sensitivity encoding“),
- GRAPPA („generalized autocalibrating partially parallel acquisitions“) und

- SMASH („simultaneous acquisition of spatial harmonics“).

Je nach PAT-Faktor und Feldstärke lassen sich bei gleicher Bildqualität Messzeitverkürzungen um bis zu 50% erreichen [11]. Zu beachten ist jedoch, dass je höher der PAT-Faktor gewählt wird, desto geringer das resultierende Signal-Rausch-Verhältnis („signal to noise ratio“, SNR) ist. Da die kontrastmittelgestützte MRA (CE-MRA) über ein besonders hohes SNR verfügt, bringt die PAT hier den meisten Nutzen.

Darstellungstechniken

Es gibt 3 Techniken, mit deren Hilfe sich die intrakraniellen Gefäße darstellen lassen:

Die am häufigsten genutzte Technik zur Darstellung der intrakraniellen Arterien ist die *Time-of-flight- (TOF-)Angiographie*. Hierbei wird das stationäre Gewebe durch wiederholt eingestrahlte HF-Impulse abgesättigt, während das in das Untersuchungsvolumen ungesättigte Blut ein hohes Signal gibt. Limitierungen dieser Technik sind z. B. Hintergrundrauschen (hohes Signal) durch Gewebe mit kurzer T₁-Zeit, Fett (insbesondere in der Orbita) und Blutabbauprodukte (Methämoglobin in Hämatomen oder auch subarachnoidales Blut). Weitere limitierende Faktoren sind turbulente Flüsse, die zu Auslöschungen führen können, sowie Sättigungen des einströmenden Bluts in parallel zur Schichtebene verlaufenden Gefäßen.

Die *CE-MRA* basiert auf einem „first pass“ eines Kontrastmittelbolus. In letzter Zeit, bedingt durch immer schnellere und stärkere Gradientenspulen, hat diese Untersuchungstechnik nicht nur Bedeutung bei der Darstellung der Hals-, sondern auch der Hirnarterien erlangt. Im Gegensatz zur TOF benötigt diese Technik ein schnelles und starkes Gradientensystem, um eine schnelle Akquisition eines räumlich hoch aufgelösten Datensatzes zu ermöglichen. Des Weiteren ist ein perfektes Timing im Bezug auf Akquisition und KM-Bolus notwendig, um ein maximales arterielles Signal zu erhalten, im Idealfall ohne venöse Überlagerungen. Da wie oben angesprochen die arteriovenöse Transitzeit intrakraniell sehr kurz ist,

Hier steht eine Anzeige.



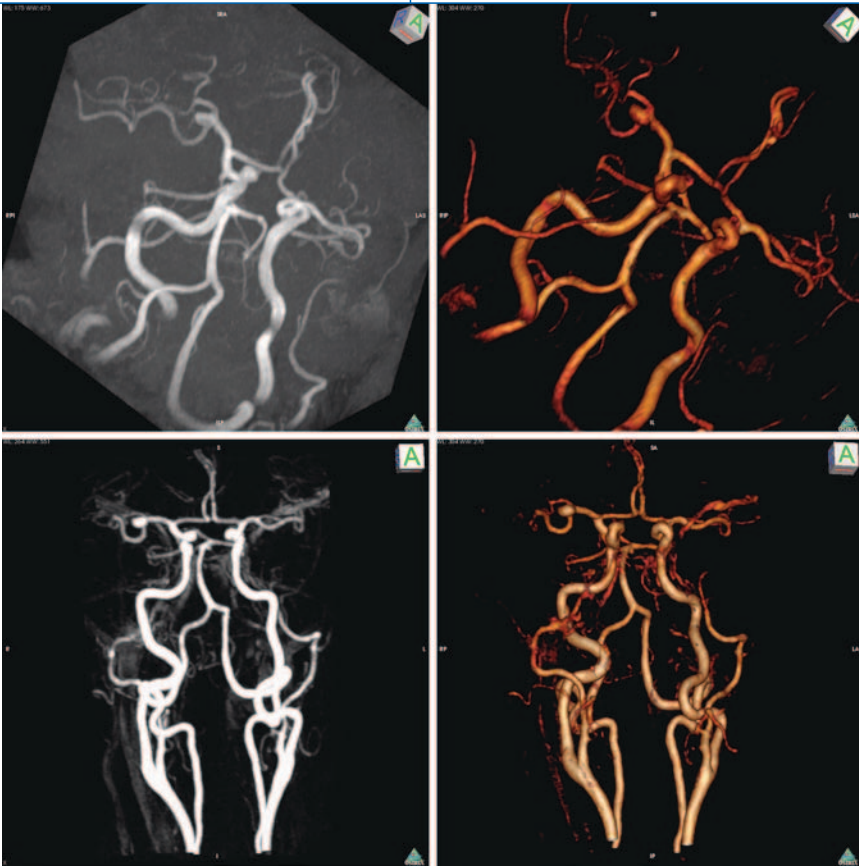


Abb. 1 ▲ Darstellung eines Mediabifurkationsaneurysmas auf der rechten Seite in der TOF- (obere Reihe) und CE-MRA (untere Reihe), Rekonstruktion jeweils in MIP- (linke Spalte) und VRT-Technik (rechte Spalte). Man erkennt deutlich die räumlichere Darstellung der VRT-Rekonstruktionen, in denen sich sowohl die Aneurysmakonfiguration als auch die umgebenden Gefäße besser differenzieren lassen. Die CE-MRA bietet zudem den Vorteil, dass der Zugangsweg zur Planung einer endovaskulären Therapie komplett mit abgebildet wird. TOF „time of flight“, CE-MRA kontrastmittelgestützte MR-Angiographie, MIP Maximum-intensity-Projektion, VRT Volume-rendering-Technik

muss man, um zu starke venöse Überlagerungen zu vermeiden, 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 intrakranielle Gefäße oder Aneurysmen darzustellen [12, 13, 14].

Nachverarbeitung

Zur Beurteilung der Schnittbilder, um einen Eindruck vom Gefäßverlauf zubegeben oder pathologische Veränderungen in Bezug auf die Umgebung zu erfassen, ist in den meisten Fällen eine Nach-

verarbeitung der Bilder nötig. Hierzu kann man die Nachverarbeitungskonsolen der Gerätehersteller verwenden, 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 weiterer Ansatz ist das „cloud-based computing“, wie es z. B. von TeraRecon (TeraRecon, USA) umgesetzt wird. Hier entfällt die klassische Workstation, sie wird durch eine Anwendung, die auf einem Standard-PC installiert wird, ersetzt. Die Berechnungen bei der Nachbearbeitung werden von einem zentralen Server übernommen. Dies ist praktisch, wenn man an der PACS-Konsole noch schnell eine weitere Projektion zur Befunderstellung erzeugen möchte.

Der am häufigsten angewendete Algorithmus ist die 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. Informationen zur Anordnung der Dinge im Raum gehen hierbei verloren, d. h. ein MIP-Bild aus einer 180°-Position ist dasselbe wie das aus der 0°-Position. Um einen scheinbaren dreidimensionalen Effekt zu erreichen, werden oft Cine-Sequenzen aus mehreren Winkeln generiert, um z. B. eine 180°-Drehung eines Gefäßbaums zu simulieren. Die meisten MR-Geräte bieten eine so genannte „Autorecon“-Funktion an, in der automatisch aus einer TOF-Projektion eine MIP des gesamten TOF-Datensatzes erstellt wird. Dadurch ist ein schneller Überblick über die Gefäßsituation möglich, jedoch sollte ein 3-D-Datensatz grundsätzlich zur Vermeidung von Überlagerungen nachbearbeitet und störende Signale aus dem Hintergrund, z. B. orbitales Fett, ausgeschnitten werden.

Eine weitere Technik ist die VRT, hierbei wird eine Oberflächenrekonstruktion der Strukturen angefertigt. Durch diese Technik lassen sich Lagebeziehungen im dreidimensionalen Raum sehr gut charakterisieren. Objekte mit einer hohen Dichte sind opaque, Objekte mit einer geringen Dichte werden transparent dargestellt. Die meisten Nachverarbeitungskonsolen bieten zahlreiche Voreinstellungen der „Thresholdparameter“ (die Voxel, die sichtbar werden), mit denen verschiedene Darstellungen ermöglicht werden.

Zur genauen Bestimmung z. B. des Aneurysmahalses wird häufig die dünn-schichtige multiplanare Reformation (MPR) angewendet, da hier störende Überlagerungen, wie sie z. B. in MIP und VRT auftreten können, vermieden werden.

Klinische Anwendung

Es gibt zur Diagnostik intrakranieller Aneurysmen 2 Szenarien. Zum einen die Screeninguntersuchung, zum anderen die Diagnostik bei symptomatischen, rupturierten Aneurysmen.

C. Roth

Wertigkeit der CT- und MR-Angiographie zur Diagnostik intrakranieller Aneurysmen**Zusammenfassung**

Die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) wird immer noch als der Goldstandard der neurovaskulären Bildgebung angesehen. Durch die kontinuierlichen Fortschritte im Bereich der Schnittbildgebung mittels Computer- (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) können jedoch viele Fragestellungen mit diesen weniger invasiven Methoden beantwortet werden. Der nachfolgende Artikel soll zunächst kurz die Grundlagen der CT- und MR-Angiographie und die zunehmende Bedeutung dieser Verfahren zur Diagnostik und Verlaufskontrolle intrakranieller Aneurysmen darstellen.

Schlüsselwörter

Digitale Subtraktionsangiographie (DSA) · CT-Angiographie (CTA) · MR-Angiographie (MRA) · Aneurysmen · Intrakraniell

Value of CT and MR angiography for diagnostics of intracranial aneurysms**Abstract**

Digital subtraction angiography (DSA) is still considered the gold standard in neurovascular imaging. However, due to permanent progress in the field of cross-sectional imaging modalities many questions can be answered with these less invasive methods. The following article gives an overview of the principles of computed tomography angiography (CTA) and magnetic resonance angiography (MRA) and demonstrates the growing importance in the diagnosis and follow-up of intracranial aneurysms.

Keywords

Digital subtraction angiography (DSA) · Computed tomography angiography (CTA) · Magnetic resonance angiography (MRA) · Aneurysms · Intracranial

Die geschätzte Prävalenz intrakranieller Aneurysmen in der westlichen Welt liegt bei ca. 2,3%. Mit der zunehmenden Verbreitung von MR-Untersuchungen werden vermehrt asymptomatische Aneurysmen entdeckt [15]. Die Gefahr einer Aneurysmaruptur steigt mit dessen Größe, bis zu 50% kumuliert auf 5 Jahre bei Aneurysmen >25 mm [16]. Das periprozedurale Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko beträgt bei endovaskulärer Therapie 3,7 bzw. 1% und bei neurochirurgischer Therapie 10,9 bzw. 2,6% [17, 18]. Hieraus folgt, dass das Verhältnis zwischen Ruptur- und Therapierisiko ein systematisches Screening der Bevölkerung nicht rechtfertigt. Anders sieht es jedoch bei Angehörigen von Patienten, die eine Subarachnoidalblutung erlitten haben, aus. Hier werden bei Verwandten ersten Grades in bis zu 10% der Fälle ebenfalls Aneurysmen gefunden, des Weiteren hat sich gezeigt, dass diese Aneurysmen früher und schon bei geringerer Größe rupturieren. Daher ist in diesem Patientenkollektiv ein auch wiederholtes Screening sinnvoll. Um eine Strahlenbelastung zu vermeiden, sollten diese Screeninguntersuchungen mittels MRT durchgeführt werden [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

Studien haben gezeigt, dass Aneurysmen >3 mm in der MRA mit einer Sensitivität zwischen 74 und 98% detektiert werden können [20, 28, 29]. Hierbei spielt es keine Rolle, ob man eine TOF- oder CE-MRA anwendet (Abb. 1; [14]). Obwohl das Risiko einer Ruptur mit der Größe des Aneurysmas steigt, bluten auch sehr kleine Aneurysmen (<2 mm), oft mit einer im Verhältnis großen Blutungsmenge [28]. Trotzdem stellt die invasive DSA keine Alternative zur nichtinvasiven Screeninguntersuchung mittels MRA dar. Mit zunehmender Feldstärke der MR-Geräte erhält man zugleich auch eine höhere Sensitivität zur Detektion von Aneurysmen [30, 31].

Wenn in der TOF-MRA ein Aneurysma nachgewiesen wurde, sei es bei einer Screeninguntersuchung oder als Zufallsbefund bei einer anderen Fragestellung, sollte zur Erfassung der genaueren Aneurysmamorphanologie eine CE-MRA oder CTA angeschlossen werden, da durch Turbulenzen oder langsam durchströmte Aneurysmaanteile diese technike-

dingt in der TOF-MRA nicht vollständig erfasst werden können. Die TOF-MRA zeigt eher Flüsse als wirkliche Gefäßgrenzen. In Studien hat sich gezeigt dass eine TOF zwar zusätzliche Informationen zur Therapieplanung liefern kann, jedoch als alleine Basis ungeeignet ist [32, 33]. Wenn sich auch mittels CE-MRA oder CTA keine sichere Aussage über die Morphologie treffen lässt, sollte eine DSA zur Therapieplanung bzw. Therapieentscheidung angeschlossen werden (Abb. 2 und 3).

Symptomatische Aneurysmen

Im Falle eines symptomatischen Aneurysmas ist eine CT-Bildgebung sinnvoller, da sich zum einen Ausmaß und Verteilungsmuster der Blutung und ein eventueller hydrozephaler Aufstau darstellen lassen, zum anderen kann man direkt eine CTA zur Darstellung des in Relation zum Verteilungsmuster der Blutung ursächlichen Aneurysmas und zum Ausschluss weiterer Aneurysmen anschließen. Des Weiteren sollte man in diesem Fall die gesamten supraaortalen Gefäße darstellen, um eine mögliche endovaskuläre Versorgung planen zu können. Es hat sich gezeigt, dass mit der Mehrzeilen-CT eine positive als auch negative Sensitivität und Spezifität von nahezu 100% erreichbar sind und somit kein wesentlicher Unterschied zur DSA besteht [34]. Inwiefern man eine CTA zur Planung eines endovaskulären oder operativen Vorgehens nutzen kann, hängt wesentlich von der Untersuchungstechnik und der Nachverarbeitung ab. Eine möglichst rein arterielle Kontrastierung der intrakraniellen Gefäße ist wünschenswert zur Vermeidung venöser Überlagerungen, außerdem sollte die Schichtdicke des Rohdatensatzes <1 mm betragen. Es sollten MIP- und VRT-Rekonstruktionen angefertigt werden, diese Bilder müssen jedoch mittels Dünnschicht-MPR verifiziert werden. Man kann mit Hilfe der oben genannten Techniken Arbeitsprojektionen für eine spätere endovaskuläre Versorgung erstellen [35].

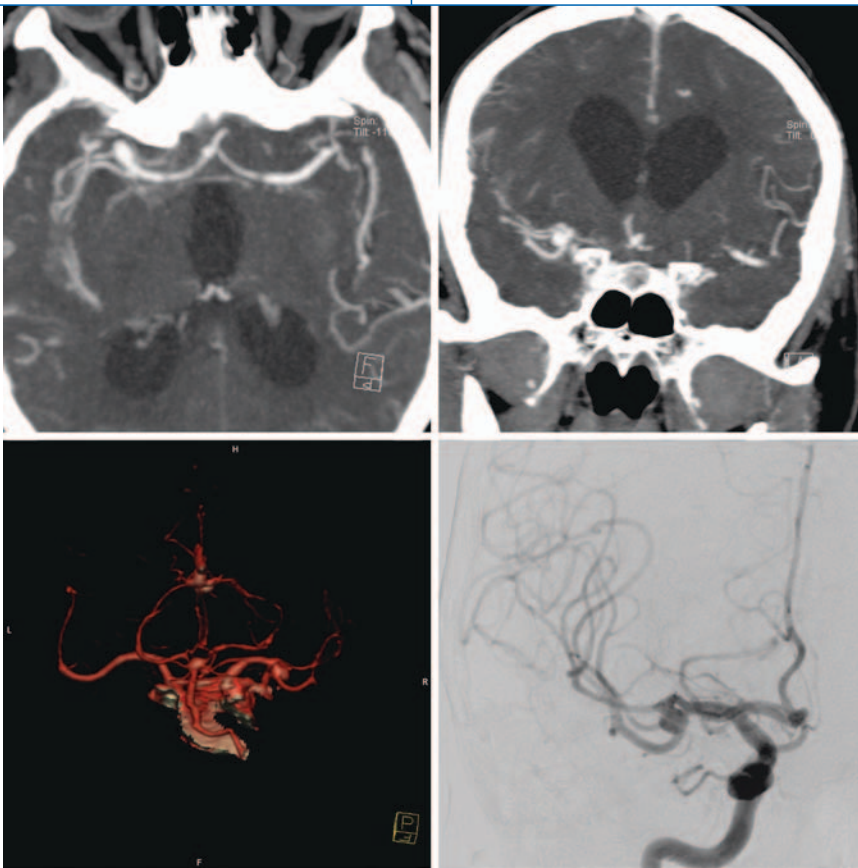


Abb. 2 ▲ Mediabifurkationsaneurysma rechts. Darstellung mittels CTA, Rekonstruktion in VRT- (unten links) sowie in Dünnschicht-MIP-Technik (obere Reihe) zur besseren Abgrenzbarkeit des Aneurysmahalses. Korrelation mit der DSA (unten rechts). CTA CT-Angiographie, VRT Volume-rendering-Technik, MIP Maximum-intensity-Projektion, DSA digitale Subtraktionsangiographie



Abb. 3 ▲ Direkter Vergleich einer TOF-MRA, je einmal in MIP- (links) und VRT-Technik (rechts) rekonstruiert, auch hier werden wieder in der VRT mehr anatomische Details sichtbar, die eine bessere Einschätzung der Aneurysmakonfiguration ermöglichen und somit eine sichere Therapieplanung. TOF-MRA Time-of-flight-MR-Angiographie, MIP Maximum-intensity-Projektion, VRT Volume-rendering-Technik

Nachsorge

Neurochirurgische Therapie

Zur Nachsorge nach neurochirurgischer Therapie gibt es keine eindeutigen Richt-

linien, die meisten Studien haben eine DSA zur Verlaufskontrolle eingesetzt [36, 37]. Hier wurde in einem Zeitraum von 9 Jahren ein Nachwachsen des ursprünglichen Aneurysmas in 2,9% der Fälle und von De-novo-Aneurysmen in 8% der Fäl-

le festgestellt. In den meisten Fällen wird die Entscheidung, ob eine Nachkontrolle durchgeführt wird, vom Operateur getroffen, der diese Entscheidung von der Schwere der Operation und/oder komplizierten anatomischen Gegebenheiten abhängig macht. Die MRA ist zur Nachkontrolle nach neurochirurgischem Clipping ungeeignet. Die meisten Aneurysmaclips sind zwar mittlerweile 3-T-tauglich, aber die Suszeptibilitätsartefakte in ihrer unmittelbaren Umgebung machen eine Beurteilung eines eventuell vorhandenen Restlumens unmöglich. Dagegen kann eine MRA zum Screening von De-novo-Aneurysmen nach einigen Jahren eingesetzt werden, wenn der Verschluss des eigentlichen Aneurysmas mittels anderer Methoden bestätigt wurde. Die CTA hat durch die eingebrachten Clips mit Aufhärungsartefakten zu kämpfen, sodass nah gelegene Gefäßanteile eventuell nicht beurteilbar sind. Durch Gantrykippen, durch die sich der Clip aus dem Strahlengang heraushalten lässt, kann man eventuell einen Teil dieser Nachteile kompensieren. Zur zweifelsfreien Bestätigung des 100%igen Aneurysmaverschlusses sollte eine DSA durchgeführt werden.

Endovaskuläre Therapie

Bei der endovaskulären Therapie intrakranieller Aneurysmen sind bei inkompletter Okklusion Rekanalisationsraten von bis zu 20% beschrieben, entweder durch Kompaktierung des Coilmaterials oder Nachwachsen des Aneurysmas mit der Gefahr der erneuten Blutung [17, 38]. Deshalb ist es sinnvoll und notwendig, angiographische Nachkontrollen durchzuführen. Normalerweise werden Intervalle von 6 Monaten, einem Jahr und 3 Jahren nach Intervention gewählt [39]. Da die DSA eine 1%ige Rate von „major complications“ und eine 0,5%ige Rate von permanentem neurologischem Defizit aufweist, wird zunehmend die MRA als Alternative herangezogen [3]. Die CTA ist zur Verlaufskontrolle ähnlich wie bei der Kontrolle nach Clipping aufgrund von Aufhärungsartefakten ungeeignet.

Es hat sich gezeigt dass die TOF-MRA zwischen 71 und 89% Genauigkeit mit einer Spezifität von 89–100% die Rekanalisation eines Aneurysmas nachweisen

kann [40, 41]. Somit kann man die TOF-MRA zur Verlaufskontrolle heranziehen, man sollte jedoch einmalig zeitgleich sowohl eine DSA als auch eine TOF-MRA anfertigen und auf Übereinstimmung vergleichen. Aufgrund der unterschiedlichen technischen Voraussetzungen kann z. Z. keine sichere Aussage zur Wertigkeit der CE-MRA im Vergleich mit der TOF-MRA getroffen werden. Besitzt man jedoch ein technisch gut ausgestattetes Gerät mit starken und schnellen Gradienten sowie der Möglichkeit der PAT, kann eine CE-MRA durchaus vergleichbare Ergebnisse liefern wie die weitestgehend standardisierte TOF-MRA und daher zur Verlaufskontrolle komplementär zur TOF-MRA eingesetzt werden. Durch unterschiedliche Techniken der endovaskulären Aneurysmatherapie (mit Stent oder Flowdiverter) kann u. U. eine Kombination beider Methoden notwendig sein, um Auslöschungsartefakte durch die eingebrachten Stents besser beurteilen zu können [35].

Fazit

Durch die zunehmende Verbreitung von Mehrzeilen-CTs und die Weiterentwicklung im Bereich der Nachbearbeitungskonsolen sowie den technischen Fortschritt auf dem Gebiet der MRT werden diese nichtinvasiven Methoden zur Gefäßdarstellung zunehmend eine Alternative zur invasiven DSA. Je nach klinischem Setting ist z. B. zur reinen Screeninguntersuchung die MRA sinnvoller, im Falle eines akut symptomatischen Aneurysmas dagegen ist die CTA geeigneter, da die initiale Bildgebung in jedem Falle mit dem CT erfolgt und sich eine Gefäßdarstellung zur Darstellung des Aneurysmas und eventuellen Planung einer weiteren Therapie ohne viel Aufwand anschließen lässt. Zur Nachsorge nach erfolgter Therapie, sei es mittels neurochirurgischem Clipping oder endovaskulärem Coiling mit oder ohne Stent oder Flowdiverter, sollten beide Methoden zumindest einmalig mit der DSA korreliert werden. Zur Nachsorge nach Clipping ist eventuell die CTA mit der Möglichkeit der Gantrykipfung sinnvoll, um Aufhängungsartefakte zu vermeiden; zur weiteren Kontrolle von De-novo-Aneurysmen kann jedoch auch hier die MRA verwen-

Hier steht eine Anzeige.



det werden. Nach endovaskulärer Therapie hat sich eine Kombination aus TOF- und CE-MRA bewährt.

Korrespondenzadresse

Dr. C. Roth

Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, Universitätsklinikum des Saarlandes Homburg/Saar, Kirrberger Str. 1, 66424 Homburg/Saar
christian.roth@uks.eu

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

Literatur

1. Papke K, Brassel F (2006) Modern cross-sectional imaging in the diagnosis and follow-up of intracranial aneurysms. *Eur Radiol* 16:2051–2066
2. Cloft HJ, Joseph GJ, Dion JE (1999) Risk of cerebral angiography in patients with subarachnoid hemorrhage, cerebral aneurysm, and arteriovenous malformation: a meta-analysis. *Stroke* 30:317–320
3. Heiserman JE, Dean BL, Hodak JA et al (1994) Neurologic complications of cerebral angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 15:1401–1407
4. Mayberg MR, Batjer HH, Dacey R et al (1994) Guidelines for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage. A statement for healthcare professionals from a special writing group of the stroke council, American Heart Association. *Circulation* 90:2592–2605
5. Reith W, Roth C (2010) CT diagnostics of carotid artery stenosis. *Radiologie* 50:607–613
6. Lell M, Anders K, Leidecker C et al (2004) CTA of carotid artery with different scanner types. *Radiologie* 44:967–974
7. Ertl-Wagner B, Bruning R, Hoffmann RT et al (2004) diagnostic evaluation of carotid artery stenoses with multislice CT angiography. Review of the literature and results of a pilot study. *Radiologie* 44:960–966
8. Griswold MA, Jakob PM, Heidemann RM et al (2002) Generalized autocalibrating partially parallel acquisitions (GRAPPA). *Magn Reson Med* 47:1202–1210
9. Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P (1999) SENSE: sensitivity-encoding for fast MRI. *Magn Reson Med* 42:952–962
10. Sodickson DK, McKenzie CA, Ohlinger MA et al (2002) Recent advances in image reconstruction, coil sensitivity calibration, and coil array design for SMASH and generalized parallel MRI. *MAGMA* 13:158–163
11. Hiari Y, Kakeda S, Sato T et al (2008) 3D TOF MRA of intracranial aneurysms at 1.5 t and 3 t: influence of matrix, parallel imaging, and acquisition time on image quality – a vascular phantom study. *Acad Radiol* 15:635–640
12. Ozsarlak O, van Goethem JW, Maes M, Parizel PM (2004) MR angiography of the intracranial vessels: technical aspects and clinical applications. *Neuroradiology* 46:955–972
13. Huston J, Nichols D, Luetmer P et al (1994) Blinded prospective evaluation of sensitivity of MR angiography to known intracranial aneurysms: importance of aneurysm size. *AJNR Am J Neuroradiol* 15:1607–1614
14. Metens T, Rio F, Baleriaux D et al (2000) Intracranial aneurysms: detection with gadolinium-enhanced dynamic three-dimensional MR angiography – initial results. *Radiology* 216:39–46
15. Wilms G, Demaerel P, Bosmans H, Marchal G (1999) MRI of non-ischemic vascular disease: aneurysms and vascular malformations. *Eur Radiol* 9:1055–1060
16. Wiebers DO, Whisnant JP, Huston J et al (2003) Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment. *Lancet* 362:103–110
17. Brilstra EH, Rinkel GJ, van der Graaf Y et al (1999) Treatment of intracranial aneurysms by embolization with coils: a systematic review. *Stroke* 30:470–476
18. Raaymakers TW, Rinkel GJ, Limburg M, Algra A (1998) Mortality and morbidity of surgery for unruptured intracranial aneurysms: a meta-analysis. *Stroke* 29:1531–1538
19. Bederson JB, Awad IA, Wiebers DO et al (2000) Recommendations for the management of patients with unruptured intracranial aneurysms: a statement for healthcare professionals from the stroke council of the American Heart Association. *Stroke* 31:2742–2750
20. Bosmans H, Wilms G, Marchal G et al (1995) Characterisation of intracranial aneurysms with MR angiography. *Neuroradiology* 37:262–266
21. Brown BM, Soldevilla F (1999) MR angiography and surgery for unruptured familial intracranial aneurysms in persons with a family history of cerebral aneurysms. *AJR Am J Roentgenol* 173:133–138
22. Raaymakers TW, Rinkel GJ, Ramos LM (1998) Initial and follow-up screening for aneurysms in families with familial subarachnoid hemorrhage. *Neurology* 51:1125–1130
23. Ronkainen A, Hernesniemi J, Tromp G (1995) Special features of familial intracranial aneurysms: report of 215 familial aneurysms. *Neurosurgery* 37:43–46
24. Schievink WI (1997) Genetics of intracranial aneurysms. *Neurosurgery* 40:651–662
25. Van Gijn J, Rinkel GJ (2001) Subarachnoid haemorrhage: diagnosis, causes and management. *Brain* 124:249–278
26. Wermer MJH, Rinkel GJE, van Gijn J (2003) Repeated screening for intracranial aneurysms in familial subarachnoid hemorrhage. *Stroke* 34:2788–2791
27. White PM, Teasdale EM, Wardlaw JM, Easton V (2001) Intracranial aneurysms: CT angiography and MR angiography for detection prospective blinded comparison in a large patient cohort. *Radiology* 219:739–749
28. Chung TS, Joo JY, Lee SK et al (1999) Evaluation of cerebral aneurysms with high-resolution MR angiography using a section-interpolation technique: correlation with digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 20:229–235
29. White PM, Wardlaw JM, Lindsay KW et al (2003) The non-invasive detection of intracranial aneurysms: are neuroradiologists any better than other observers? *Eur Radiol* 13:389–396
30. Gibbs GF, Huston J, Bernstein MA et al (2004) Improved image quality of intracranial aneurysms: 3.0-T versus 1.5-T time-of-flight MR angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 25:84–87
31. Gibbs GF, Huston J, Bernstein MA et al (2005) 3.0-tesla MR angiography of intracranial aneurysms: comparison of time-of-flight and contrast-enhanced techniques. *J Magn Reson Imaging* 21:97–102
32. Adams WM, Laitt RD, Jackson A (2000) The role of MR angiography in the pretreatment assessment of intracranial aneurysms: a comparative study. *AJNR Am J Neuroradiol* 21:1618–1628
33. Atlas SW, Sheppard L, Goldberg HI et al (1997) Intracranial aneurysms: detection and characterization with MR angiography with use of an advanced postprocessing technique in a blinded-reader study. *Radiology* 203:807–814
34. Papke K, Kuhl CK, Fruth M et al (2007) Intracranial aneurysms: role of multidetector CT angiography in diagnosis and endovascular therapy planning. *Radiology* 244:532–540
35. Papke K, Brassel F (2010) Modern cross-sectional imaging of head and neck vessels. *Radiologie* 50:377–398
36. Thornton J, Bashir Q, Aletich VA et al (2000) What percentage of surgically clipped intracranial aneurysms have residual necks? *Neurosurgery* 46:1294–1298
37. Tsutsumi K, Ueki K, Morita A et al (2001) Risk of aneurysm recurrence in patients with clipped cerebral aneurysms: results of long-term follow-up angiography. *Stroke* 32:1191–1194
38. Murayama Y, Nien YL, Duckwiler G et al (2003) Guglielmi detachable coil embolization of cerebral aneurysms: 11 years' experience. *J Neurosurg* 98:959–966
39. Cognard C, Weill A, Spelle L et al (1999) Long-term angiographic follow-up of 169 intracranial berry aneurysms occluded with detachable coils. *Radiology* 212:348–356
40. Brunereau L, Cottier JP, Sonier CB et al (1999) Prospective evaluation of time-of-flight MR angiography in the follow-up of intracranial saccular aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. *J Comput Assist Tomogr* 23:216–223
41. Derdeyn C, Graves V, Turski P et al (1997) MR angiography of saccular aneurysms after treatment with Guglielmi detachable coils: preliminary experience. *AJNR Am J Neuroradiol* 18:279–286