

Moderne Bildgebung von Nierentumoren

In den letzten Jahren wurden in der Bildgebung der Niere und ihrer Raumforderungen enorme Fortschritte erzielt. Das in der Hand des erfahrenen Urologen häufig eingesetzte und diagnostisch sehr potente Verfahren des Ultraschalls kann bereits in einer Vielzahl von Fällen pathologische Veränderungen des Organs detektieren. Ohne die Gabe von i. v.-Kontrastmittel (KM) oder ohne den Einsatz der Schnittbildgebung gelingt allerdings meist keine exakte Charakterisierung von Nierenraumforderungen, sofern es sich nicht um blande Zysten handelt. Die Rolle der Bildgebung liegt daher darin, bei Verdacht auf Nierenraumforderung den Befund nicht nur sicher zu detektieren, sondern eine Raumforderung auch klar zu charakterisieren und im Falle eines malignen Befunds auch eine genaue Ausbreitungsdiagnostik durchzuführen. Im Falle eines malignen Nierentumors sollte das Staging dabei die lokale Ausdehnung des Tumors, das Vorliegen von Lymphknotenvergrößerungen und Fernmetastasen beinhalten.

Das Ziel der hier vorliegenden Arbeit ist es, dem klinisch tätigen Urologen einen Leitfaden über die diagnostische Wertigkeit und die Möglichkeiten und Limitationen im Einsatz des kontrastverstärkten Ultraschalls, der Computertomographie (CT) und der Magnetresonanztomographie (MRT) nahezubringen. Dabei wird auf den Praxisbezug besonderer Wert gelegt.

Ultraschall

Der Ultraschall ist üblicherweise das Mittel der Wahl zum Ausschluss von renalen Raumforderungen, z. B. bei Patienten mit unklarer Hämaturie. Darüber hinaus wird der Ultraschall auch immer häufiger zur weiteren Einordnung von Raumforderungen, welche als Zufallsbefund im Rahmen einer MRT- oder CT-Untersuchung detektiert worden sind, eingesetzt. Gerade in der häufig durchgeführten KM-gestützten CT in der portalvenösen Phase (s. unten) können Nierenläsionen oft nicht abschließend beurteilt werden. Ein ergänzend durchgeführter KM-gestützter Ultraschall oder eine MRT-Untersuchung kann in diesen Fällen in der Regel die Diagnose sichern.

Nierentumore waren 2008 mit einer geschätzten Inzidenz von 88.400 und einer Mortalität von 39.300 Fällen die neunthäufigste Tumorgruppe in Europa [1]. Nierentumore haben von den Tumoren der ableitenden Harnwege die höchste Mortalität mit einer 5-Jahres-Überlebensrate von nur 67% im Vergleich zum Blasenkarzinom mit einer 5-Jahres-Überlebensrate von 81% (jeweils im Zeitraum von 1996–2004 in den USA [2]).

Das Nierenzellkarzinom ist der häufigste maligne Primärtumor der Niere und wird in der Regel erst im fortgeschrittenen Stadium symptomatisch, weshalb es häufig inzidentell bei der Abklärung von anderen Krankheitsbildern detektiert wird [3, 4]. Die Standardtherapie besteht in einer chirurgischen Tumorektomie, wobei in Abhängigkeit von der Tumorgöße genauso gute Ergebnisse bei

der partiellen Nephrektomie wie bei der vollständigen Nephrektomie erzielt werden [5]. Präoperativ ist daher neben einer zuverlässigen Dignitätseinschätzung auch eine möglichst genaue Bestimmung der Tumorgöße therapieentscheidend. In diesem Artikel sollen neue bildgebende Techniken bezüglich der Evaluation von Nierenläsionen abgehandelt werden.

Ultraschalltechnik

Das konventionelle B-Bild ist die Basis der sonographischen Nierendiagnostik. Üblicherweise werden in der sonographischen Nierendiagnostik multifrequente Konvexsonden verwendet, der Frequenzbereich liegt dabei je nach Hersteller zwischen 2 und 6 MHz. An der Nierenoberfläche gelegene Läsionen können z. T. auch mit höher frequenten Linearsonden (9–17 MHz) untersucht werden. Die hohe Sendefrequenz ermöglicht zwar eine bessere Auflösung von oberflächlichen Läsionen, limitiert jedoch gleichzeitig die Eindringtiefe der Schallwellen in das Gewebe.

Kontrastverstärkter Ultraschall

Der kontrastverstärkte Ultraschall wird am Menschen bereits seit über 10 Jahren in der Klinik eingesetzt. Meist wurde das Verfahren verwendet, um pathologische Veränderungen an parenchymatösen Organen oder am Gefäßsystem zu untersuchen [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Die Grundlage des kontrastverstärkten Ultraschalls ist die Einbringung gasgefüllter Mikrobläschen in die Blutbahn, wodurch eine große Anzahl kleiner Grenz-

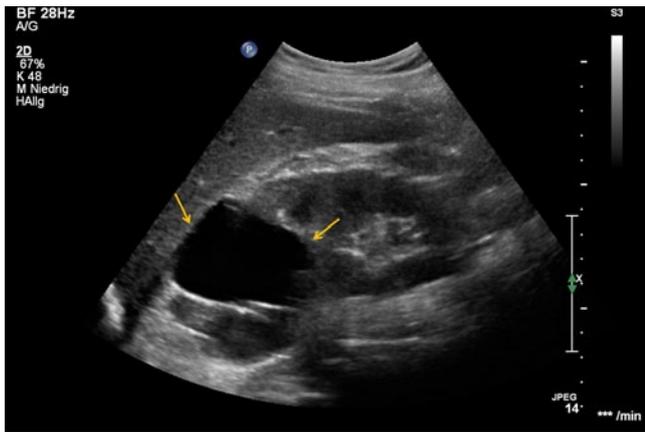


Abb. 1 ◀ Konventionelle B-Bild-Sonographie einer Nierenzyste (Pfeile) an Oberpol der rechten Niere

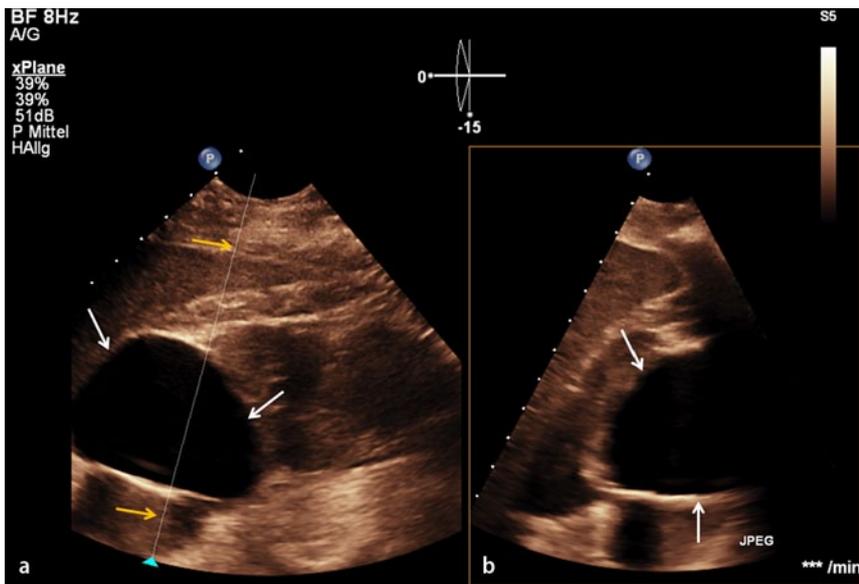


Abb. 2 ▲ Gleicher Patient wie in **Abb. 1**: Real-time-X-plane-Bild-Darstellung der rechten Niere. **a** Darstellung der Nierenzyste (weiße Pfeile). **b** Die zweite Ebene wird auf die eingezeichnete Ebene (gelbe Pfeile) im rechten Winkel in „real time“ rekonstruiert und visualisiert die Nierenzyste (weiße Pfeile)

flächen mit einer hohen Echogenität geschaffen wird. Das für die Untersuchung zu applizierende Ultraschall-KM (z. B. Sonovue®, Bracco Diagnostica) enthält ein Gas, das nach der Freisetzung über die Lunge abgeatmet wird. Die Elimination erfolgt üblicherweise innerhalb von wenigen Minuten. Die Hüllmembran besteht aus natürlichen Substanzen (z. B. Phospholipiden), die über den endogenen Metabolismus abgebaut werden. Diese Mikrobläschen haben einen Durchmesser von 2–10 µm und liegen somit in der Größenordnung eines roten Blutkörperchens. Aufgrund ihrer geringen Größe sind sie frei kapillargängig, treten aber im Gegensatz zu üblichen CT- und MRT-KM nicht in die interstitielle Flüssigkeit

über, sondern verbleiben im Sinne eines Blutpool-KM vollständig im Gefäßsystem [13, 14].

KM-spezifische Techniken verwenden einen niedrigen mechanischen Index, um Bilder zu generieren, die auf die nichtlineare akustische Interaktion zwischen Ultraschallsystem und stabilisierten Mikrobläschen basieren. Diese Mikrobläschen oszillieren, schwingen mit und erzeugen damit eine kontinuierliche Verbesserung des Kontrasts der Graustufung [13, 14].

Um eine gute Kontrastierung mit einer einzigen KM-Injektion zu erreichen, wird z. B. in der Nierendiagnostik ein Volumen von 1,0–1,5 ml KM, gefolgt von einem 10 ml 0,9% Kochsalzbolus i. v. injiziert [15].

Dreidimensionaler Ultraschall

Der dreidimensionale (3D-)Ultraschall ist eine zunehmend etablierte Option in der volumetrischen Analyse und Darstellung verschiedener Organe. Diese Untersuchungstechnik kann in der klinischen Routine sowohl für diagnostische als auch interventionelle Zwecke eingesetzt werden [16, 17, 18, 19].

Generell unterscheidet man zwei verschiedene Akquisitionstechniken. Bei der Freihandtechnik werden manuelle Bewegungsinformation und Bildinformation in einem Datenquader zusammengefasst. Jeder Bildebene kann dabei eine bestimmte Schallkopfhaltung räumlich zugeordnet werden. Im Gegensatz dazu erfolgt die Datenakquisition bei der „Wobbler-Technik“ mittels eines mechanisch angetriebenen Wandlers. Aus den jeweils akquirierten Datenvolumen können multiplanare Rekonstruktionen (MPR) in allen beliebigen Ebenen berechnet werden ([20], **Abb. 1, 2, 3**).

Durch die Entwicklung einer neuen Schallkopfgeneration mit >9000 aktiven Schallkopfelementen und der xMATRIX-Technologie (Philips iU 22, X6-1, Philips Medical Systems, Bothell, WA) können die Limitationen der Freihand- und Wobbler-Technik überwunden werden. Die Vielzahl von Schallkopfelementen ermöglichen eine hohe räumliche 2D-Bildauflösung im Nah- und Fernfeld und eine fast gleichbleibende Voxelauflösung im gesamten 3D-Volumen. Neben der konventionellen Bildgebung kann die Untersuchung jedoch jederzeit um multiplanare Real-time-Ebenen („X plane“) oder um einen 3D-Echtzeitultraschall in Kombination mit der KM-Gabe ergänzt werden ([21, 22, 23], **Abb. 4, 5**).

Bildfusion

Für eine Echtzeitbildfusion zwischen Ultraschall und einem Schnittbildverfahren werden als Hardware ein Magnetfeldgenerator und ein entsprechender Schallkopfsensor benötigt. Der Schallkopfsensor wird durch ein magnetisches Ortungssystem erkannt und die genaue räumliche Position des Sensors im Raum errechnet. Zur Bildfusion können DICOM-Datensätze („digital imaging and communicati-

D.-A. Clevert · A. Sterzik · M. Braunagel · M. Notohamiprodjo · A. Graser
Moderne Bildgebung von Nierentumoren

Zusammenfassung

Die bildgebenden Verfahren stellen bei Patienten mit Verdacht auf Nierenraumforderungen die Hauptsäule der klinischen Diagnostik dar. In den letzten Jahren haben sich enorme Fortschritte erzielen lassen, die eine genaue artdiagnostische Einordnung von Nierenpathologien in der Mehrzahl der Fälle zweifelsfrei erlauben. Nach wie vor ist die Methode der ersten Wahl die Ultraschalluntersuchung, wobei für die Beurteilung von Nierenraumforderungen KM gegeben werden sollte. Die hier vorliegende Arbeit zeigt das Potential dieser Modalität ebenso auf wie neuste Entwicklungen auf dem Gebiet der Mehrzeilencomputertomographie, bei der besonders die sog. „Dual energy-Bildgebung“ hervorzuheben ist – diese hat das Potential zu signifikanter Dosisreduktion und Verbesserung der Charakterisierung von Nierentumoren. Weiterhin kommt die Magnetre-

sonanztomographie bei unklaren Befunden der beiden zuvor genannten Verfahren sowie bei jungen Patienten und bekannter Allergie gegen jodhaltiges KM zum Einsatz. Sie erlaubt mittels hoher Feldstärken, schneller Gradientenmagneten und stark verbesserter Ortsauflösung eine sehr detailgenaue Abbildung von Nierenraumforderungen.

Die Lektüre der hier vorliegenden Arbeit soll unseren urologischen Kollegen den Stellenwert der oben genannten Verfahren sowie ihre Indikationen und Kontraindikationen nahebringen; zudem wird eine Übersicht über die wichtigsten Nierenraumforderungen und ihre radiologische Darstellung gegeben.

Schlüsselwörter

Nierentumor · Ultraschall · Kontrastmittel · Computertomographie · Magnetresonanztomographie

Modern imaging of kidney tumors

Abstract

If a renal mass is suspected on clinical examination or ultrasound the finding has to be confirmed by cross-sectional imaging. Methods that are used include multidetector-row computed tomography (MDCT) and magnetic resonance imaging (MRI). Also contrast-enhanced ultrasound has been successfully implemented in renal imaging and now plays a major role in the differentiation of benign from malignant renal masses. In expert hands it can be used to show very faint vascularization and subtle enhancement. The MDCT technique benefits from the recently introduced dual energy technology that allows superior characterization of renal masses in a single-phase examination, there-

by greatly reducing radiation exposure. For young patients and persons allergic to iodine MRI should be used and it provides excellent soft tissue contrast and visualizes contrast enhancement kinetics in multiphase examinations.

This article aims at giving a comprehensive overview of these different imaging modalities, their clinical indications and contraindications, as well as a description of imaging findings of various renal masses.

Keywords

Renal mass · Ultrasound · Contrast agent · Computed tomography · Magnetic resonance imaging

ons in medicine“) aller gängigen Schnittbildverfahren (CT, MRT) genutzt werden. Die DICOM-Daten werden dazu in das Ultraschallsystem geladen und die Datensätze anschließend manuell anhand anatomischer Landmarken registriert. Nach einer erfolgreichen Datenfusion bewegen sich die registrierten Schnittbilddaten simultan zur sonographischen Schnittebene ([24, 25, 26], **Abb. 6**). Wahlweise können die registrierten Bilder entweder in der Überlagerungstechnik oder in der Side-by-side-Ansicht betrachtet werden.

Die herkömmlichen sonographischen Geräteoptionen wie Farbdoppler, Power-Doppler oder der kontrastverstärkte Ultraschall können dabei problemlos in das fusionierte Bild integriert werden. So ergibt sich durch die simultane Nutzung des kontrastverstärkten Ultraschalls und der Bildfusion die Möglichkeit einer tumorbezogenen Beurteilung der Mikrovascularisation im unmittelbaren Vergleich zum KM-verstärkten CT oder MRT [27, 28].

Hier steht eine Anzeige.



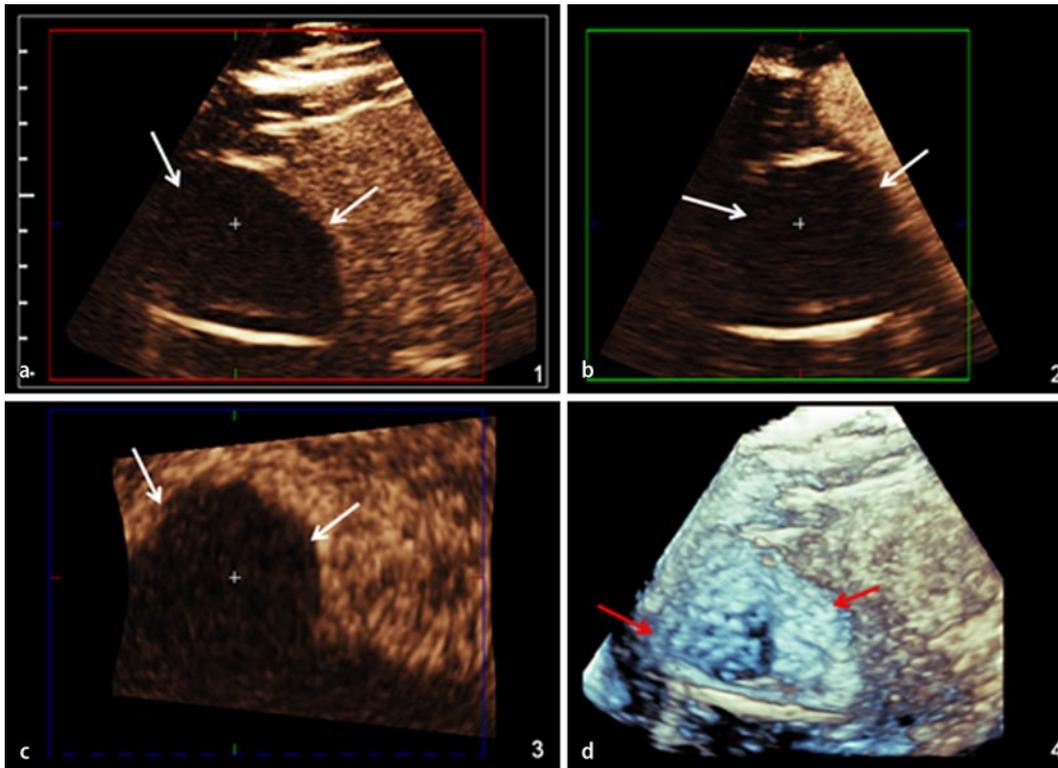


Abb. 3 ◀ Gleicher Patient wie in **Abb. 1 a–c**. Zeit aufgelöster kontrastverstärkter 3D-Ultraschall mit Volumendarstellung der Nierenzyste (weiße Pfeile). **d** Die Volumendarstellung (rote Pfeile) verdeutlicht die fehlende KM-Aufnahme innerhalb der Zyste



Abb. 4 ◀ **a** Konventionelle B-Bild-Sonographie der rechten Niere (weißer Pfeil) mit Erfassung einer Nierenzyste (gelbe Pfeile) am unteren Nierenpol. Diese stellt sich mit soliden intrazystischen Anteilen (roter Pfeil) dar. **b** Farbkodierte Duplexsonographie der Nierenzyste (gelber Pfeil) am unteren Nierenpol der rechten Niere (weißer Pfeil) mit soliden intrazystischen Anteilen ohne Nachweis einer intrazystischen Vaskularisation (roter Pfeil)

Computertomographie

Die Multidetektor-CT (MDCT) ist das schnellste und am besten verfügbare Schnittbildverfahren; seine technische Grundlage ist die absorptionsbedingte Abschwächung von Röntgenstrahlung in den verschiedenen Gewebearten, die durch die i. v.-KM-Gabe weiter verstärkt werden kann. Moderne CT-Scanner erlauben es, das Abdomen sowie ggf. ergänzend den Thorax in einer Atemanhaltephase von <15 s mit einer hohen Ortsauflösung darzustellen. Hierbei werden Bilder mit einer Ortsauflösung von <0,5 mm akquiriert, die dann in der gewünschten Schichtdicke, meist 3–5 mm, rekonstruiert werden. Aus dem axialen Rohdatensatz lassen sich diese sog. multiplanaren Rekonstruktionen (MPR) auch in koronarer (frontaler) sowie sagittaler Schichtführung generieren. Insbesondere die koronaren Rekonstruktionen der Nieren und des Abdomens mit ihrer exzellenten Visualisierung des Nierenbeckenkelchsystems (NBKS) sowie von Tumoren am Ober- und Unterpole der Nieren sollten obligat angefertigt werden.

Bei der CT-Abklärung von Raumforderungen der Niere ist ein mehrphasig-

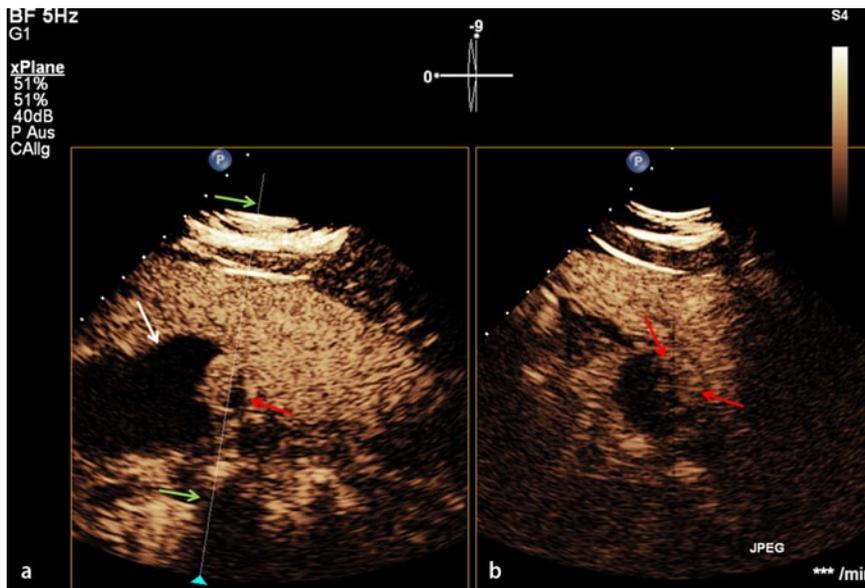


Abb. 5 ▲ Kontrastverstärkte Real-time-X-plane-Darstellung des intrazystischen Nierentumors: **a** Darstellung der Nierenzyste (weißer Pfeil) mit Nachweis einer KM-Aufnahme der soliden intrazystischen Anteile (roter Pfeil). **b** Die zweite Ebene wird auf die eingezeichnete Ebene (grüner Pfeil) im rechten Winkel in „real time“ rekonstruiert und bestätigt die KM-Aufnahme (rote Pfeile). Die Histologie ergab ein zystisches Nierenkarzinom

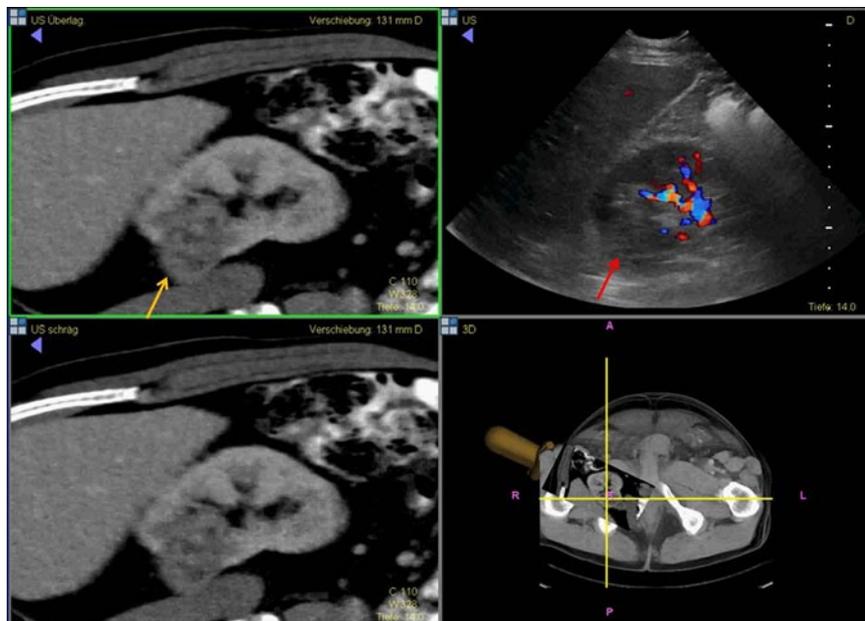


Abb. 6 ▲ Fusionierte Ultraschall- und CT-Bildgebung mit simultaner Erfassung einer soliden echoarmen Raumforderung am rechten oberen Nierendrittel im Ultraschall (roter Pfeil) und im CT (gelber Pfeil)

sches Untersuchungsprotokoll, bestehend aus einer nativen Phase, einer nephrographischen Phase sowie bei Verdacht auf Urothelkarzinom oder Nierenbeckeninfiltration auch einer Ausscheidungsphase, indiziert (Tab. 1). Die Durchführung einer zusätzlichen Aufnahme in der kortikomedullären (arteriellen) Kontras-

tierungsphase ist für die Detektion bzw. Charakterisierung renaler Läsionen aufgrund deren klarer Demarkation in der nephrographischen Phase nicht notwendig [29], kann jedoch insbesondere infolge der verbesserten Darstellung des arteriellen Gefäßbezugs von Nierenraumforderungen bzw. zur Evaluation der arteriel-

len renalen Gefäßversorgung (z. B. vor geplanter Nierenlebenspende) präoperativ von planungstechnischer Bedeutung sein. Insbesondere für die Darstellung der Nierengefäße sowie der ableitenden Harnwege können zusätzliche kontrastanhebende Rekonstruktionsverfahren wie die „maximum intensity projection“ (MIP) hilfreich sein.

Im Falle mehrphasischer Untersuchungsstrategien empfiehlt sich aus strahlenhygienischen Gründen die Verwendung von Protokollen mit reduzierter Dosis bei der Durchführung der Nativuntersuchung, ggf. auch im Rahmen der Ablaufphase. Auch durch die vorzeitige Gabe eines Extra-KM-Bolus vor der eigentlichen KM-gestützten CT-Untersuchung, welche eine zeitgleiche Darstellung der Niere in nephrographischer sowie Ablaufphase ermöglicht, kann eine Dosisersparnis erzielt werden. Jedoch sollte letzterer Ansatz aufgrund u. a. der möglichen Obskurierung von Nierenläsionen durch KM innerhalb des NBK-Systems insbesondere bei Patienten mit eingeschränkter renaler Exkretionsfunktion mit Bedacht angewendet werden [30]. Weitere erhebliche Dosisreduktionen lassen sich seit Neuestem durch die Verwendung moderner Dosismodulationsalgorithmen bei der Datenakquisition in Kombination mit iterativen Rekonstruktionsverfahren im Rahmen des Postprocessing realisieren, die eine Dosisreduktion von >40% gegenüber Standard-Abdomen-CT-Untersuchungen ermöglichen [31, 32].

Neben der Strahlenbelastung gilt ein Hauptaugenmerk bei CT-Untersuchungen der Indikationsstellung zur i. v.-Gabe von KM. Ein Hauptrisiko stellt das Auftreten allergischer Reaktionen sowie die Induktion von Funktionsstörungen der Schilddrüse und der Niere dar. Das Risiko einer KM-induzierten Nephropathie steigt mit Abnahme der glomerulären Filtrationsrate (GFR) deutlich an. Dieser Aspekt ist v. a. im urologischen Patientenkollektiv von zentraler Bedeutung, da in diesem erkrankungsbedingt oftmals eine Einschränkung der Nierenfunktion besteht. Prinzipiell ist bei einer eGFR > 60 ml/min eine KM-Gabe problemlos möglich. Im Falle einer reduzierten eGFR („estimated GFR“) zwischen 30 und 60 ml/min sollten primär alternative

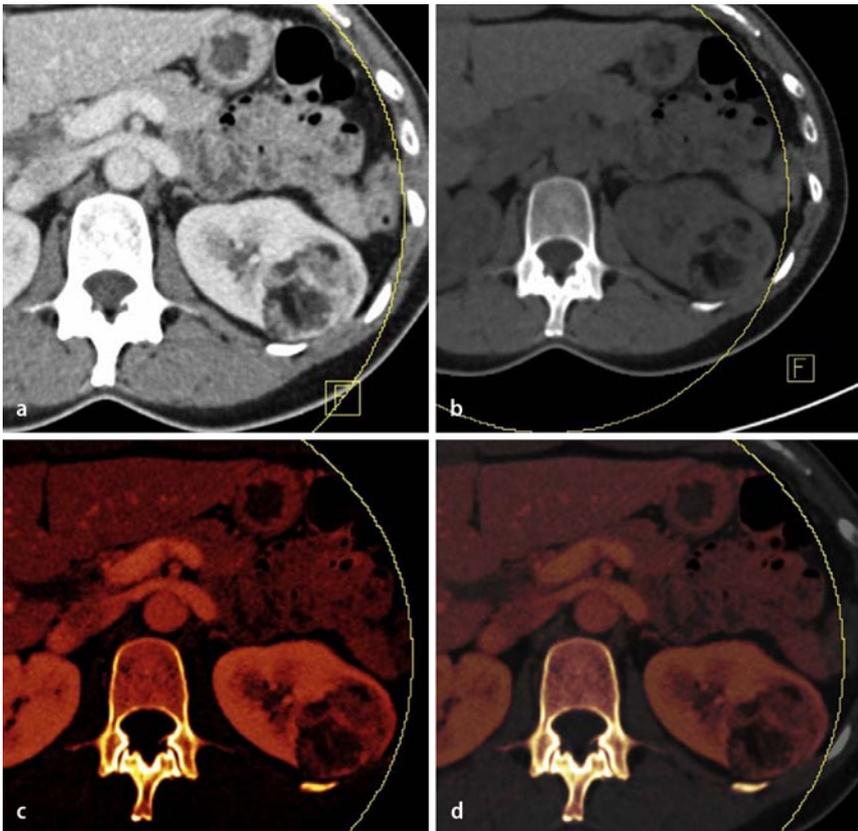


Abb. 7 ▲ DE-CT bei Angiomyolipom: **a** Die kontrastverstärkte Untersuchung in nephrographischer Phase zeigt eine randständig, KM-aufnehmende, fetthaltige Raumforderung. **b** Die makroskopischen Fettanteile sind im virtuellen Nativbild, aus dem das KM elektronisch subtrahiert wurde, deutlich besser zu erkennen. **c, d** Die farbkodierte Darstellung der Jodverteilung zeigt deutlich die jodaufnehmenden Anteile der Raumforderung in kräftiger *oranger* Farbe

bildgebende Verfahren angestrebt werden bzw. nach strenger Indikationsprüfung eine orale oder i. v.-Vorwässerung sowie eine KM-Reduktion im Rahmen der CT-Untersuchung durchgeführt werden. Bei einer eGFR < 30 ml sollte eine i. v.-KM-Gabe nur bei vitaler Indikation erfolgen.

Dual energy-CT der Nieren

Eine weitere technische Innovation, die in den letzten Jahren verstärkt Einzug in die abdominelle Bildgebung gehalten hat, ist die sog. „Dual energy- (DE-)CT“ [33]. Dieses CT-Verfahren beruht auf der simultanen Darstellung der untersuchten Körperregion mit einer Röhrenspannung von 140 bzw. 80/100 kV, welche anhand der spannungsspezifischen Unterschiede des Absorptionsverhalten eine verbesserte Diskriminierung verschiedener Gewebesubtypen erzeugt. Dieses Verfahren ermöglicht in der nativen Stein-CT-Bildgebung eine Unterscheidung von Harnsäure-

reststeinen von kalkhaltigen Konkrementen [33].

Insbesondere das in diesem Spannungsspektrum charakteristische Signalverhalten des im applizierten KM enthaltenen Jods kann dazu verwendet werden, subtile KM-Aufnahmen in Nierentumoren farbkodiert sichtbar zu machen [34]. Zudem gelingt es mittels geeigneter Nachverarbeitungssoftware, eine materialspezifischen Zerlegung der CT-Bildinformationen vorzunehmen, welche die Rekonstruktion sog. „virtueller“ Nativbilder aus der KM-gestützten Untersuchung ermöglicht und damit die Anfertigung eines Nativscans erübrigt. Dadurch lässt sich zusammengenommen neben der verbesserten Detektion tumoröser Raumforderungen der Niere auch eine erhebliche Dosisreduktion erzielen. Das Verfahren ist somit insbesondere für jüngere Patienten mit Verdacht auf Nierentumor geeignet.

Charakterisierung von Nierentumoren in der CT

Neben der Detektion kommt der Charakterisierung fokaler Nierenläsionen in der CT eine große Bedeutung zu. Insbesondere die Unterscheidung nicht weiter abklärungsbedürftiger benigner Läsionen von malignen Tumoren ist eine der zentralen diagnostischen Anforderungen an die CT.

Für zystische Raumforderungen der Niere hat sich die Einteilung nach der Bosniak-Klassifikation im klinischen Gebrauch bewährt, die anhand bildmorphologischer Kriterien eine Risikostratifizierung zystischer Nierenläsionen bezüglich ihres Malignompotentials erlaubt. Die häufig vorkommenden einfachen Zysten weisen in der CT eine Dichte zwischen 0 und 15 Hounsfield-Einheiten (HE) auf. Typischerweise fehlen hier Aspekte wie KM-Aufnahme, Septierungen oder Verkalkungen, weswegen einfache Zysten nicht weiter kontrollbedürftig sind. Anders verhält es sich mit komplexen Zysten, welche häufig schwierig zu charakterisieren und als malignitätssuspekt anzusehen sind, wenn sich eine KM-Aufnahme oder KM-aufnehmende Septierungen zeigen.

Ein häufiges Merkmal komplexer Zysten sind zudem erhöhte Dichtewerte (mit Zysteninhalten von 40–60 HE) infolge stattgehabter Einblutungen. Diese hämorrhagischen Zysteninhalte können jedoch in der KM-gestützten MDCT ohne Zuhilfenahme einer Nativuntersuchung meist nicht von tatsächlich KM-aufnehmenden soliden Läsionen differenziert werden. Hierfür bietet der Einsatz der DECT-Technologie mit der Generierung jodspezifisch kodierter Farbbilder sowie der Rekonstruktion virtueller Nativbilder eine elegante Lösung. Diese erweist sich insbesondere bei Patienten mit polyzystischer Nierenerkrankung als vorteilhaft, die meist eine Vielzahl komplexer Zysten aufweisen und ihrerseits erkrankungsbedingt ein erhöhtes Risiko für die Entstehung eines Nierenzellkarzinoms besitzen.

Basierend auf einem monophasischem Scanprotokoll in der nephrographischen Phase kann die DE-CT anhand der direkten Visualisierung der Zysten unter Verwendung jodspezifisch kodierter Colormaps die Detektionsrate maligner Neoplasien steigern sowie deutlich verein-

Tab. 1 Bezeichnung und Zeitpunkt der verschiedenen Perfusionsphasen nach periphervenöser KM-Injektion (gilt für CT und MRT)

Bezeichnung (Phasen)	Nach Beginn der KM-Gabe (s)
Arterielle Phase	20–25
Kortikomedulläre Phase	40–50
Nephrographische Phase	80–100
Exkretorische Phase	160–200

fachen, da der oftmals schwierige sowie zeitaufwändige Abgleich suspekter Läsionen mit der Nativuntersuchung im Rahmen der klassischen mehrphasischen MDCT entfällt. Durch die Einsparung des Nativbildes mit Hilfe der DECT-Bildgebung lassen sich zudem erhebliche Reduktionen der Strahlendosis realisieren, ein Vorteil, der angesichts der Verwendung der CT-Reihenuntersuchung als Screeningverfahren zur frühzeitigen Detektion von malignen Entartungen bei Patienten mit polyzystischen Nierenerkrankungen kumulativ umso bedeutender ins Gewicht fällt [35].

Das differentialdiagnostische Spektrum solider Nierenraumforderungen ist breit und reicht von benignen Läsionen wie dem Angiomyolipom bzw. dem Onkozytom über postentzündliche Veränderungen bis hin zu malignen Entitäten, von den das Nierenzellkarzinom mit seinen verschiedenen histologischen Subtypen mit Abstand den häufigsten sowie wichtigsten Vertreter darstellt (■ **Abb. 7**). Obwohl keine bildgebende Modalität die Histologie einer soliden Nierenraumforderung mit 100%iger Sicherheit vorher sagen kann, erlaubt die multiphasische MDCT anhand der Charakteristik des KM-Verhaltens einer Nierenläsion in den einzelnen Untersuchungsphasen in >90% eine ätiologische Zuordnung, die weitere diagnostische Verfahren oftmals erübrigt. Allgemein gilt ein KM-Enhancement von >15 HE in der nephrographischen (venösen) Phase im Vergleich zur Nativuntersuchung als malignitätsverdächtig.

Charakteristisch für das klarzellige Nierenzellenkarzinom, den häufigsten malignen Nierentumor, ist seine gegenüber anderen Nierenläsionen ausgesprochene Hypervaskularität, welche bildmorphologisch in einem kräftigen girlandenförmigen Enhancement mit meist zentra-

Hier steht eine Anzeige.

 Springer

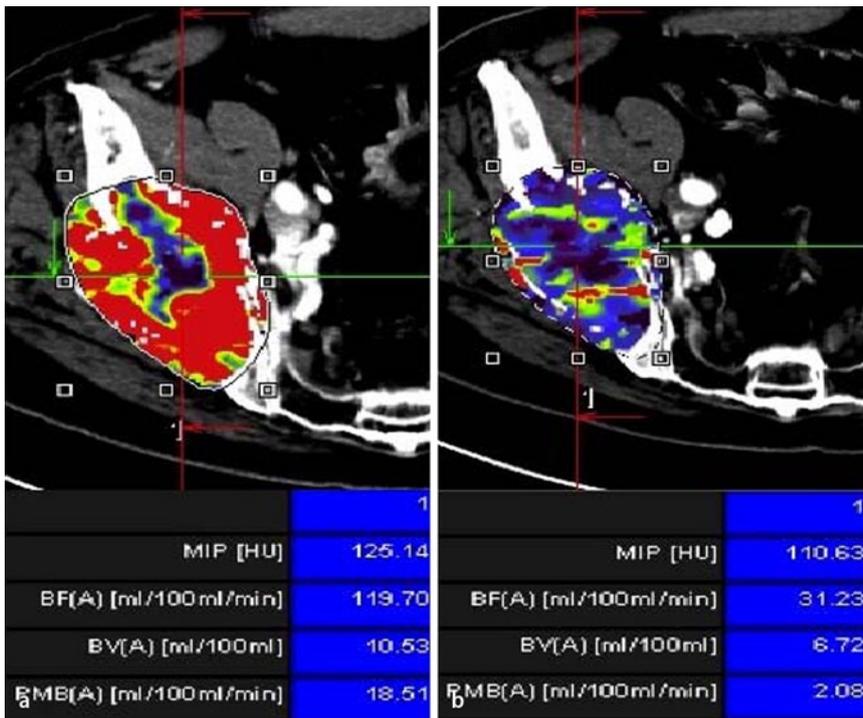


Abb. 8 ▲ Beispielhafte Auswertungen einer dynamisch akquirierten Perfusions-CT-Untersuchung, welche durch die Erfassung der KM-Dynamik innerhalb der großen Knochenmetastase eines klarzelligen Nierenzellkarzinoms im rechten Os ilium bereits 7 Tage nach MKI-Therapie (Multikinaseinhibitoren) mit Sunitinib frühzeitige antiangiogenetische Therapieeffekte nachweisen kann: **a** Baseline-Untersuchung, **b** Vergleichsuntersuchung nach 7-tägiger Sunitinib-Gabe. Wie die farb-kodierte Wiedergabe der errechneten Blutflusswerte anzeigt, kommt es therapiebedingt zu einer deutlichen Reduktion der Tumoranteile mit erhöhten Blutflusswerten (rot), während entsprechend der Anteil hypoperfundierter Tumoranteile (blau) zunimmt. Durch pharmakodynamische Modellierung lassen sich verschiedene Perfusionsparameter ableiten, die quantitativ erfasst und damit zur Therapieerfolgskontrolle miteinander verglichen werden können

ler hypoperfundierter Nekrosezone resultiert. Dieses KM-Enhancement ist meist stärker und inhomogener als das von papillären, chromophoben Karzinomen oder benignen Läsionen.

Eine neue Veröffentlichung konnte anhand der retrospektiven Datenauswertung in einer Kohorte von 298 Patienten mit histologisch gesichertem RCC („renal cell carcinoma“) bzw. Onkozytom belegen, dass die multiphasische MDCT mit einer Treffergenauigkeit von jeweils etwa 80% eine Differenzierung des klarzelligen Nierenzellkarzinoms einerseits vom papillären bzw. chromophoben histologischen Subtyp als auch andererseits von den ebenfalls sehr gefäßreichen Onkozytomen ermöglicht [36]. Ähnliche auf dem KM-Uptake-Verhalten beruhende Kriterien zur Diskriminierung des Nierenzellkarzinoms vom Angiomyolipom ohne makroskopischen Fettanteil wurden ebenfalls postuliert, bedürfen jedoch ana-

log zu den vorangestellten Studienergebnissen der Validierung in größeren prospektiven Studien [37].

Trotz der zunehmenden Bedeutung der MDCT in Bezug auf die Charakterisierung renaler Raumforderungen gilt es zu betonen, dass die Dignitätsbeurteilung von Nierenläsionen durch diese allein häufig nicht eindeutig möglich ist, so dass hier weiterführende komplementäre bildgebende Verfahren wie die MRT oder CEUS (computerbasiertes Entscheidungsunterstützungssystem) zur weiteren Abklärung indiziert sind.

Im Falle des Vorliegens eines Nierenzellkarzinoms gilt es, mittels Bildgebung die Tumorgöße und Ausdehnung zur Planung individueller operativer Behandlungskonzepte exakt zu bestimmen. Im Falle organerhaltender Verfahren ist dabei eine fehlende tumoröse Infiltration des Sinus renalis/der renalen Gefäße bzw. ein fehlendes kapselüberschreitendes

Wachstum vor geplanter totaler Nephrektomie neben der Infiltration von Nachbarstrukturen auch die Ausdehnung etwaiger Tumorzapfen in der V. cava inferior (VCI) von strategischer Bedeutung. Wird eine laparoskopische Nephrektomie avisiert, ist eine exakte Kenntnis der renalen Gefäßversorgung, v. a. das Vorhandensein von Gefäßvarianten (Polararterien, doppelte Nierenarterien/-venen) zur Vermeidung unbeabsichtigter Gefäßverletzungen, imperativ.

Auch das Vorliegen von Lymphknoten- sowie Organmetastasen gilt es mit Hilfe der präoperativen Bildgebung zu klären. Diesem breiten Anforderungsprofil wird die MDCT als schnell durchführbare, breit verfügbare Untersuchungstechnik mit der Möglichkeit der Erstellung hochauflösender multiplanarer Reformationen in exzellenter Weise gerecht. Während die Bestimmung des M-Stadiums sowie der Nachweis lokoregionärer Organinfiltrationen mit Hilfe der MDCT in einem thorakoabdominellen Untersuchungsgang mit hoher Präzision gelingt, ist die Erfassung von Lymphknotenmetastasen sowie die Unterscheidung eines kapselüberschreitenden Tumorwachstums von einem reaktiven peritumoralem Ödem immer noch nicht mit höchster Genauigkeit möglich. Diese Einschränkung gilt jedoch auch für alle anderen verfügbaren Modalitäten, so dass dies als eine gemeinsame intrinsische Limitation nicht-invasiver Diagnoseverfahren angesehen und für die Planung der Therapiekonzepte berücksichtigt werden muss.

Auch im Rahmen der Tumornachsorge nach kurativer Tumorresektion sowie in der Verlaufsbeurteilung unter antiangiogenetischer Therapie im Falle eines metastasierten Stadiums des Nierenzellkarzinoms ist die MDCT infolge kombinierter Erfassung von Thorax sowie Abdomen in einem Untersuchungsgang von herausragender Bedeutung.

Perfusions-CT

Analog zur dynamischen KM-gestützten MRT kann mit Hilfe der dynamisch akquirierten Perfusions-CT über die zeit-aufgelöste Erfassung der Dichteänderungen infolge des An- bzw. Abstroms des KM-Bolus in Nierentumoren und de-

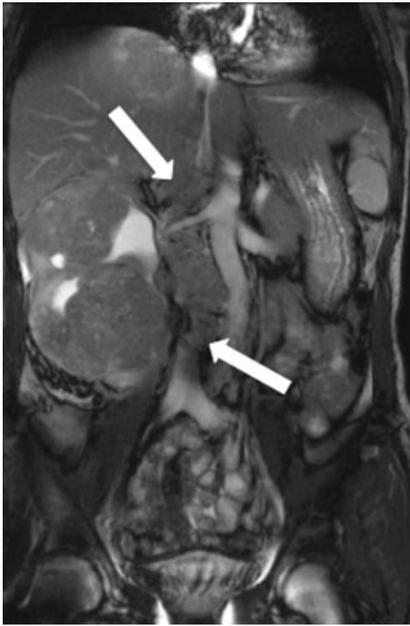


Abb. 9 ▲ Großes Nierenzellkarzinom der rechten Niere mit ausgedehntem Tumorzapfen in der V. cava inferior (Pfeile), welcher unterhalb des Zwerchfells endet, somit vereinbar mit einem Tumorstadium T3b. T2-gewichtete MRT-Sequenz ohne i. v.-KM-Gabe

ren Metastasen eine Berechnung quantitativer Parameter als Surrogatmarker für die Tumordurchblutung vorgenommen werden, die Aufschlüsse über histologische Tumorsubentitäten ermöglicht [10]. Auch eignet sich die Perfusions-CT-Bildgebung zum Therapiemonitoring der Wirksamkeit von antiangiogenetischen Medikamenten mit der frühzeitigen Erfassung sowie Quantifizierung therapeutisch bedingter Änderungen der Tumorperfusion (■ **Abb. 8**, [11]). Vorteile der DCE-CT gegenüber konkurrierenden Verfahren wie der DCE-MRT sind die geringere Anfälligkeit der Messergebnisse gegenüber Artefakten (v. a. Atemartefakten) sowie die problemlose Integration der Untersuchung in CT-Staging-Routineuntersuchungen, welche jedoch um den Preis einer erhöhten Strahlenexposition (20 mSV) sowie der Exposition gegenüber potentiell nephrotoxischem KM erkauft werden.

Im postoperativen Umfeld sowie im Falle traumatischer Verletzungen der Niere ist die MDCT aufgrund ihrer überlagerungsfreien Darstellung des intraabdominellen Situs, ihrer kurzen Untersuchungszeit in Kombination mit ihrer hoher Sen-

sitivität in Erfassung sowie Lokalisation von (perirenenalen) Hämatomen und deren Blutungsquellen allen anderen Modalitäten überlegen. Auch das Ausmaß von Verletzungen des Nierenparenchyms kann mit Hilfe der MDCT verlässlich klassifiziert werden. Analog zur Charakterisierung von Nierenläsionen empfehlen sich hier mehrphasische Untersuchungsprotokolle in arterieller sowie venöser Phase. Durch die Zuhilfenahme der Ablaufphase können zudem Flüssigkeitsverhalte von behandlungspflichtigen Urinomen bzw. traumatischen Ureterleckagen sicher unterschieden werden.

Magnetresonanztomographie

Bei der MRT wird der Patient einem statischen Magnetfeld ausgesetzt, wodurch die Orientierung der körpereigenen Protonen entlang des Magnetfelds erfolgt [40]. Die Bildentstehung beinhaltet das Einstrahlen von Radiofrequenzimpulsen. Nach Abschalten der Impulse wird die von dem Patienten wieder abgestrahlte Radiofrequenz (Magnetresonanz) mit dedizierten Spulen empfangen und zur 3D-Bildrekonstruktion genutzt. Der Vorteil der MRT im Vergleich zur CT stellt die fehlende Strahlenbelastung und der exzellente Weichteilkontrast dar. MRT-Untersuchungen sind allerdings deutlich zeitaufwändiger (ca. 30–45 min für eine Untersuchung des Abdomens) und kostspieliger. Die Verbreitung von MRT-Scannern ist geringer, so dass die MRT zahlenmäßig nur vereinzelt bei der Abklärung von Nierenraumforderungen durchgeführt wird [40].

So ist (wie oben beschrieben) die MDCT die Methode der ersten Wahl zur Untersuchung und Abklärung bei (z. B. sonographischem) Verdacht auf eine renale Raumforderung [41]. Hinsichtlich dem Nachweis und der Differenzierung von Nierenraumforderungen ist die MRT der CT ebenbürtig [42]. Bei der Beurteilung von zystischen Raumforderungen weist die MRT sogar Vorteile gegenüber der CT auf [42].

Die Indikationen für die MRT der Niere als Alternative zur CT sind:

- Kontraindikation für jodhaltiges KM (z. B. bei KM-Allergie),

- strahlenhygienische Gründe bei Kindern, jungen Patienten und Schwangeren.

Die Indikationen für eine zusätzliche MRT sind:

- unklare Sonographie- und CT-Befunde (z. B. hypo- und avaskuläre Tumoren und komplizierte Zysten),
- präoperatives Staging vor geplanter partieller Nephrektomie.

Während Risiken durch biologische Effekte bei den derzeit klinisch verbreiteten Feldstärken (0,5–3,0 T) zu vernachlässigen sind, ist allerdings auf Gefahren durch die Wirkung auf Objekte mit ferromagnetischen oder induktiven Eigenschaften hinzuweisen. So können elektronisch, elektrisch oder magnetisch gesteuerte Hilfsgeräte wie Herzschrittmacher, Insulinpumpen, Cochleaimplantate oder Neurostimulatoren in ihrer Funktion gestört oder gar beschädigt werden [43]. Ringförmige Fremdmaterialien (z. B. Piercings) können zu Hitzeentwicklung durch Induktion führen, ebenso eisenhaltige Tätowierungen. Modernes Osteosynthesematerial ist überwiegend MR-geeignet, ebenso vaskuläre Stents und Herzklappen [44]. Allerdings sollte bei jedem Fremdmaterial eine vorherige Überprüfung der MR-Eignung erfolgen. Vor allem bei älteren Aneurysma-Clips und Stapesplastiken sind selten, aber noch immer ungeeignete Produkte anzutreffen [44].

Die Gabe eines KM ist in den häufigsten Fällen notwendig, da dadurch die Abgrenzung und Differenzierung von Nierentumoren verbessert wird [45]. Hierbei kommen Gadolinium-Chelate zum Einsatz, welche keine Kreuzallergien zu jodhaltigen KM aufweisen [46]. Seit Mitte des letzten Jahrzehnts ist die potenziell zum Tode führende nephrogene systemische Fibrose (NSF) bekannt, welche mit Latenz bei niereninsuffizienten Patienten nach Gabe von hohen KM-Dosen auftritt. Durch die strenge Einhaltung der von der „European Society of Urogenital Radiology“ (ESUR [47]) und „American College of Radiology“ (ACR [48]) erlassenen Richtlinien (Einsatz von makrozyklischen KM bzw. Verzicht auf KM-Gabe bei fortgeschrittener Niereninsuffizienz) ist die Inzidenz der NSF deutlich rückläufig

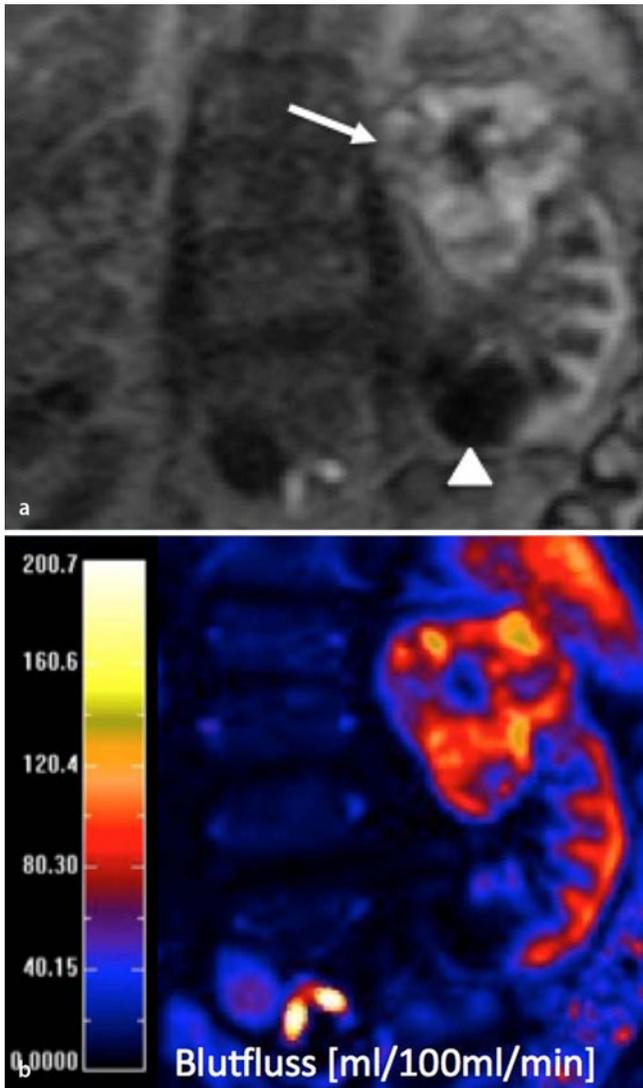


Abb. 10 ▲ **a** Das klarzellige Karzinom des linken Nierenoberpols zeigt eine starke periphere KM-Aufnahme im DCE-MRT mit zentraler Nekrose (*Pfeil*), **b** deutlich erhöhter Blutfluss im Vergleich zum Nierenparenchym in der parametrischen Auswertung, nicht-KM-aufnehmende Zyste des Nierenunterpols (*Pfeilspitze*)

[49]. Die Untersuchung schwangerer Patientinnen mit der MRT ist möglich, allerdings ist die Indikation, v. a. für die Gabe von KM, sehr streng zu stellen [50]. Eine Zusammenfassung der Kontraindikationen wird in **Infobox 1** gegeben. Für eine ausführliche Darstellung der Kontraindikationen und Risiken der MRT sei auf die einschlägige Literatur und Quellen verwiesen (<http://www.mrisafety.com>, [40]).

Zysten

Gegenüber der CT liegen die Vorteile der MRT in der Unterscheidung von kompli-

zierten Zysten und zystischen oder hypovaskulären Nierenzellkarzinomen [42]. Einfache benigne Zysten (Bosniak 1) können mit der MRT aufgrund des typischen Flüssigkeitssignals sehr sicher identifiziert werden. Im Gegensatz zur CT sind „Pseudo-Enhancement-Effekte“ selten. Proteinreiche bzw. eingeblutete Zysten weisen ein in T1-Wichtung erhöhtes und in T2-Wichtung erniedrigtes Signal auf und können daher leicht ohne KM identifiziert werden. In komplexeren Zysten (Bosniak 3/4) lassen sich solide Anteile aufgrund des exzellenten Weichteilkontrasts sicher bestimmen und die Vaskulari-

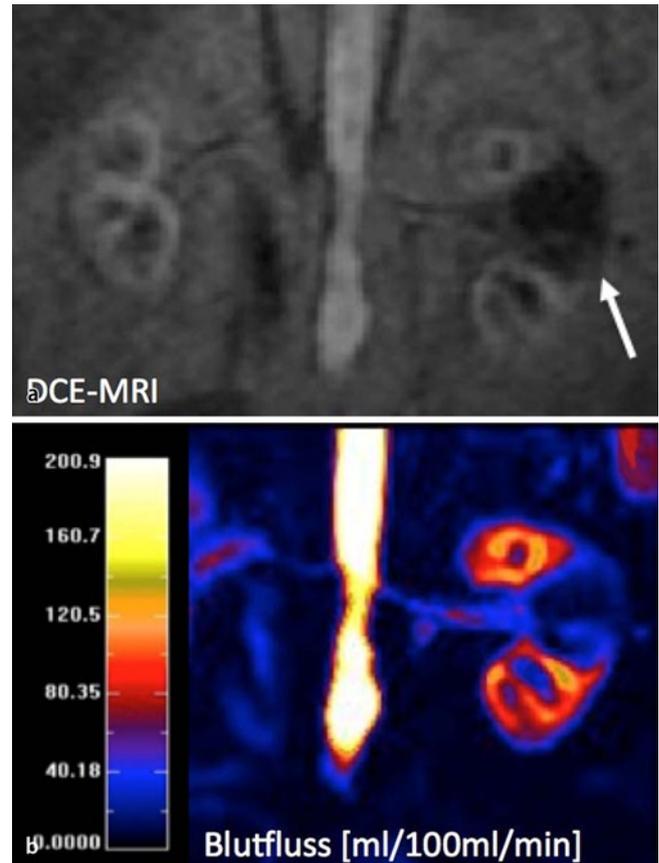


Abb. 11 ▲ Papilläres Nierenzellkarzinom in der dynamischen kontrastverstärkten MRT: **a** Das papilläre Karzinom (*Pfeil*) der linken Niere zeigt nur eine geringe KM-Aufnahme im dynamischen kontrastverstärkten MRT (DCE-MRT), **b** reduzierter Blutfluss in der parametrischen Auswertung

tät durch Subtraktionstechniken oder dynamische Akquisition kann beurteilt werden [42].

Solide Raumforderungen

Die MRT ermöglicht die sichere Identifizierung von fetthaltigen Anteilen in soliden Nierentumoren. Dadurch wird die Abgrenzung von Angiomyolipomen gegenüber Nierenzellkarzinomen ermöglicht. Makroskopisch fetthaltige Anteile erscheinen in T1-Wichtung hyperintens, jedoch hypointens bei der Verwendung von Fettsuppressionstechniken [51]. Intrazelluläres Fett kann mit der sog. In-/Opposed-phase-Technik nachgewiesen werden. Es ist allerdings zu beachten, dass auch klarzellige Nierenzellkarzinome z. T. kleinere in T1-Wichtung hyperintense Areale aufgrund von Glykogenspeicherung aufweisen können [52]. Die Unterscheidung des Onkozytoms von malign-

Infobox 1 MRT-Kontraindikationen

- Herzschrittmacher und ICD (in einzelnen Zentren unter besonderen Vorsichtsmaßnahmen möglich)
- Metallsplitter oder Gefäßclips in ungünstiger Lage (z. B. Auge oder Gehirn)
- Temporärer Cavafilter
- Cochleaimplantate
- Implantierte Insulinpumpen (externe Pumpen müssen zur Untersuchung abgelegt werden)
- Große oder schleifenförmig angeordnete Tätowierung im Untersuchungsgebiet
- Größere, nicht abnehmbare Piercings aus magnetischen Materialien
- Klaustrophobie (relative Kontraindikation)
- Schwangerschaft (relative Kontraindikation)

nen Raumforderungen ist mit der MRT bisher noch nicht sicher möglich. Zwar werden typische morphologische Merkmale (z. B. eine zentrale Narbe) beschrieben, allerdings ist diese nur in einer Minderheit der Tumoren nachzuweisen [53].

Die Rolle der MRT in der Bildgebung des Nierenzellkarzinoms besteht v. a. im Rahmen des lokalen Stagings, z. B. im Vorfeld einer partiellen Nephrektomie. Dedizierte Protokolle erlauben den Nachweis einer Infiltration des Nierenkelchbeckensystems und der Nierengefäße sowie die Beziehung des Tumors zur Gerota-Faszie bzw. Nachbarorganen. Vor allem die Beurteilung eines Tumorthrombus in der Nierenvene, V. cava inferior oder gar im rechten Vorhof ist mit der MRT gut möglich (Abb. 9, [54]). Die zuverlässige Unterscheidung zwischen klarzelligem und papillärem Nierenzellkarzinom ist

mit der MRT anhand der KM-Aufnahme möglich, allerdings können chromophobe Subtypen nicht sicher abgegrenzt werden können (Abb. 10, 11, [54]).

In der Entwicklung befindliche funktionelle Techniken wie z. B. die DCE-MRT oder die diffusionsgewichtete MRT (DWI) erlauben die Abbildung pathophysiologischer Prozesse über die Morphologie hinaus. So ist es möglich, mit der DCE-MRT die Perfusion und Permeabilität von Tumoren zu quantifizieren [55]. Die DWI visualisiert die Beweglichkeit von Wasser auf molekularer Ebene und lässt Rückschlüsse auf die Zellularität und Vaskularisierung von Tumoren zu [55]. Diese Techniken können v. a. eine Rolle als pharmakodynamische Biomarker bei der Behandlung des fortgeschrittenen Nierenzellkarzinoms mit antiangiogenetischen Substanzen (z. B. Tyrosinkinase- und mTOR-Inhibitoren) spielen [57, 58].

Fazit für die Praxis

- Der kontrastverstärkte Ultraschall erlaubt eine einfache Evaluation von atypischen und komplexen zystischen Nierenraumforderungen. Er stellt eine wertvolle Ergänzung zum MS-CT dar und eignet sich sowohl in der Erfassung als auch in der Verlaufskontrolle von komplexen zystischen oder soliden Nierenläsionen. Durch den dynamischen Charakter der kontrastverstärkten Ultraschalluntersuchung lassen sich wichtige Zusatzinformationen über die Perfusion der zystischen Anteile gewinnen und somit kann die Indikation zu einer möglichen operativen Sanierung erleichtert werden.

Leider gelten auch für die genannten Techniken die bekannten methodenimmanenten Limitationen des Ultraschalls. So können auch hier Fettleibigkeit, Meteorismus oder fehlende Patientencompliance zu einer eingeschränkten Beurteilbarkeit des Befundes führen.

- Die CT ist das am besten verfügbare Verfahren, mit dessen Hilfe eine vermutete Nierenraumforderung zuverlässig detektiert, charakterisiert und einem Staging zugeführt werden kann. Die Untersuchung kann in sog. „Dual energy-Technik“ durchgeführt werden, was eine hohe Sensitivität in der Detektion subtiler KM-Aufnahme und die direkte Visualisierung der Jodverteilung im CT-Bild ermöglicht.
- Nur Fällen, in denen die CT wegen einer Allergie gegen jodhaltiges KM, einer Schilddrüsenüberfunktion oder einer starken Einschränkung der Nierenfunktion kontraindiziert ist, sollte der MRT der Vorzug gegeben werden. Die MRT ist ebenfalls dazu in der Lage, Nierentumoren exakt zu charakterisieren und eine zuverlässige Ausbreitungsdiagnostik zu gewinnen. Allerdings ist das Verfahren mit relativ hohen Kosten assoziiert und nicht immer sofort verfügbar.
- Beide Verfahren (CT und MRT) zeigen ein großes Potenzial in der Darstellung der Effekte einer antiangiogenetischen Therapie; die Zukunft wird zeigen, welche Modalität sich hier letztendlich durchsetzt.

Hier steht eine Anzeige.

Korrespondenzadresse

PD Dr. A. Graser

Institut für Klinische Radiologie,
Klinikum der Universität München,
Marchionistraße 15, 81377 München
anno.graser@med.lmu.de

Interessenkonflikt. Keine Angaben

Literatur

- Ascenti G, Gaeta M, Magno C et al (2004) Contrast-enhanced second-harmonic sonography in the detection of pseudocapsule in renal cell carcinoma. *AJR Am J Roentgenol* 182:1525–1530
- Ascenti G, Mazziotti S, Zimbaro G et al (2007) Complex cystic renal masses: characterization with contrast-enhanced US. *Radiology* 243:158–165
- Bauer A, Solbiati L, Weissman N (2002) Ultrasound imaging with SonoVue: low mechanical index real-time imaging. *Acad Radiol* 9(Suppl 2):282–284
- Graser A, Zech CJ, Stief CG et al (2009) Imaging renal cell carcinoma. *Urologe A* 48(4):427–436
- Bosniak MA (1986) The current radiological approach to renal cysts. *Radiology* 158:1–10
- Clevert DA, Stickle M, Kopp R et al (2008) Contrast-enhanced ultrasound versus CT and operative findings in evaluation of renal vein aneurysm with AV fistula. *Clin Hemorheol Microcirc* 39:147–154
- Helck A, Sommer WH, Wessely M et al (2011) Benefit of contrast enhanced ultrasound for detection of ischaemic lesions and arterio venous fistulas in renal transplants – a feasibility study. *Clin Hemorheol Microcirc* 48(1):149–160
- Schwarz F, Sommer WH, Reiser M, Clevert DA (2011) Contrast-enhanced sonography for blunt force abdominal trauma. *Radiologe* 51(6):475–482
- Helck A, Sommer WH, Wessely M et al (2011) Benefit of contrast enhanced ultrasound for detection of ischaemic lesions and arterio venous fistulas in renal transplants – a feasibility study. *Clin Hemorheol Microcirc* 48(1):149–160
- Helck A, D'Anastasi M, Notohamiprodjo M et al (2011) Improved visualization of renal lesions using three-dimensional ultrasound – a feasibility study. *Clin Hemorheol Microcirc* 49(1–4):537–550
- Schöppler G, Heinzlbecker J, Michael HJ et al (2012) The impact of ultrasound in urology. *Urologe A* 51(1):81–98
- Clevert DA, Hornig A, Staehler M et al (2010) Diagnostic algorithm in cystic renal masses. *Urologe A* 49(3):421–431
- Greis C (2011) Summary of technical principles of contrast sonography and future perspectives. *Radiologe* 51(6):456–461
- Greis C (2009) Ultrasound contrast agents as markers of vascularity and microcirculation. *Clin Hemorheol Microcirc* 43(1):1–9
- Ravine D, Gibson RN, Donlan J, Sheffield LJ (1993) An ultrasound renal cyst prevalence survey: specificity data for inherited renal cystic diseases. *Am J Kidney Dis* 22:803–807
- Downey DB, Fenster A, Williams JC (2000) Clinical utility of three-dimensional US. *Radiographics* 20(2):559–571
- Kalmantis K, Papageorgiou T, Rodolakis A et al (2007) The role of three-dimensional (3D) sonography and 3D power Doppler in the preoperative assessment of borderline ovarian tumors. *Eur J Gynaecol Oncol* 28(5):381–385
- Polakow J, Janica J, Serwatka W et al (2003) Value of three-dimensional sonography in biopsy of focal liver lesions. *J Hepatobiliary Pancreat Surg* 10(1):87–89
- Watermann DO, Foldi M, Hanjalic-Beck A et al (2005) Three-dimensional ultrasound for the assessment of breast lesions. *Ultrasound Obstet Gynecol* 25(6):592–598
- Wilson SR, Gupta C, Eliasziw M, Andrew A (2009) Volume imaging in the abdomen with ultrasound: how we do it. *AJR Am J Roentgenol* 193(1):79–85
- Elliott ST (2008) Volume ultrasound: the next big thing? *Br J Radiol* 81(961):8–9
- Stenberg B, Elliott S (2010) Diagnosis of gallbladder problems using three-dimensional ultrasound. *Eur Radiol* 20(4):908–914
- Clevert DA, Helck A, Paprottko PM et al (2011) Latest developments in ultrasound of the liver. *Radiologe* 51(8):661–670
- Clevert DA, D'Anastasi M, Jung EM (2013) Contrast-enhanced ultrasound and microcirculation: efficiency through dynamics – current developments. *Clin Hemorheol Microcirc* 53(1–2):171–186
- Clevert DA, Paprottko PM, Helck A et al (2012) Image fusion in the management of thermal tumor ablation of the liver. *Clin Hemorheol Microcirc* 52(2–4):205–216
- Helck A, Notohamiprodjo M, Danastasi M et al (2012) Ultrasound image fusion – clinical implementation and potential benefits for monitoring of renal transplants. *Clin Hemorheol Microcirc* 52(2–4):179–186
- Helck A, D'Anastasi M, Notohamiprodjo M et al (2012) Multimodality imaging using ultrasound image fusion in renal lesions. *Clin Hemorheol Microcirc* 50(1–2):79–89
- Clevert DA, Helck A, Paprottko PM et al (2012) Ultrasound-guided image fusion with computed tomography and magnetic resonance imaging. Clinical utility for imaging and interventional diagnostics of hepatic lesions. *Radiologe* 52(1):63–69
- Yuh BI, Cohan RH (1999) Different phases of renal enhancement: role in detecting and characterizing renal masses during helical CT. *AJR Am J Roentgenol* 173(3):747–755
- Van Der Molen AJ, Cowan NC et al (2008) CT urography: definition, indication and techniques. A guideline for clinical practice. *Eur Radiol* 18(1):4–17
- Lee SJ, Park SH et al (2011) A prospective comparison of standard-dose CT enterography and 50% reduced-dose CT enterography with and without noise reduction for evaluating Crohn disease. *AJR Am J Roentgenol* 197(1):50–57
- Winklehner A, Karlo C et al (2011) Raw data-based iterative reconstruction in body CTA: evaluation of radiation dose saving potential. *Eur Radiol* 21(12):2521–2526
- Graser A, Johnson TR, Chandarana H, Macari M (2009) Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur Radiol* 19(1):13–23. doi:10.1007/s00330-008-1122-7
- Graser A, Johnson TR, Hecht E et al (2009) Dual energy CT in patients with renal masses: can virtually unenhanced images replace non contrast scans? *Radiology* 44:293–297
- Arndt N, Staehler M, Siebert S et al (2012) Dual energy CT in patients with polycystic kidney disease. *Eur Radiol* 22(10):2125–2129. doi:10.1007/s00330-012-2481-7
- Young JR, Margolis D, Sauk S et al (2013) Clear cell renal cell carcinoma: discrimination from other renal cell carcinoma subtypes and oncocytoma at multiphasic multidetector CT. *Radiology* 36(2):102–111
- Kim JK, Park SY, Shon JH, Cho KS (2004) Angiomyolipoma with minimal fat: differentiation from renal cell carcinoma at biphasic helical CT. *Radiology* 230(3):677–684
- Chen Y, Zhang J, Dai J et al (2010) Angiogenesis of renal cell carcinoma: perfusion CT findings. *Abdom Imaging* 35(5):622–628. doi:10.1007/s00261-009-9565-0
- Fournier LS, Oudard S, Thiam R et al (2010) Metastatic renal carcinoma: evaluation of antiangiogenic therapy with dynamic contrast-enhanced CT. *Radiology* 256(2):511–518. doi:10.1148/radiol.10091362
- Rummeny EJ (2006) Ganzkörper-MR-Tomographie, 3. Aufl. Thieme, Stuttgart
- Reznek RH (2004) CT/MRI in staging renal cell carcinoma. *Cancer Imaging* 4(A):25–32
- Kreft BP, Muller-Miny H, Sommer T et al (1997) Diagnostic value of MR imaging in comparison to CT in the detection and differential diagnosis of renal masses: ROC analysis. *Eur Radiol* 7(4):542–547
- Henrichs B, Walsh RP (2011) Intraoperative magnetic resonance imaging for neurosurgical procedures: anesthetic implications. *Ana J* 79(1):71–77
- Baikoussis NG, Apostolakis E, Papakonstantinou NA et al (2011) Safety of magnetic resonance imaging in patients with implanted cardiac prostheses and metallic cardiovascular electronic devices. *Ann Thorac Surg* 91(6):2006–2011
- Sun MR, Ngo L, Genega EM et al (2009) Renal cell carcinoma: dynamic contrast-enhanced MR imaging for differentiation of tumor subtypes – correlation with pathologic findings. *Radiology* 250(3):793–802
- Niendorf HP, Alhassan A, Geens VR, Claus W (1994) Safety review of gadopentetate dimeglumine. Extended clinical experience after more than five million applications. *Invest Radiol* 29(Suppl 2):179–182
- Thomsen HS, Morcos SK, Almen T et al (2013) Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrast media: updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines. *Eur Radiol* 23(2):307–318
- Radiology ACo (2012) Nephrogenic systemic fibrosis (NSF). *ACR Manual on Contrast Media*, pp 63–71
- Wang Y, Alkaskas TK, Narin O et al (2011) Incidence of nephrogenic systemic fibrosis after adoption of restrictive gadolinium-based contrast agent guidelines. *Radiology* 260(1):105–111
- Wang PI, Chong ST, Kieler AZ et al (2012) Imaging of pregnant and lactating patients: part 1, evidence-based review and recommendations. *AJR Am J Roentgenol* 198(4):778–784
- Ruppert-Kohlmayr AJ, Uggowitzer M, Meissnitzer T, Ruppert G (2004) Differentiation of renal clear cell carcinoma and renal papillary carcinoma using quantitative CT enhancement parameters. *AJR Am J Roentgenol* 183(5):1387–1391
- Karlo CA, Donati OF, Burger IA et al (2013) MR imaging of renal cortical tumours: qualitative and quantitative chemical shift imaging parameters. *Eur Radiol* (Epub ahead of print)
- Pedrosa I, Sun MR, Spencer M et al (2008) MR imaging of renal masses: correlation with findings at surgery and pathologic analysis. *Radiographics* 28(4):985–1003
- Karlo CA, Di Paolo PL, Donati OF et al (2013) Renal cell carcinoma: role of mr imaging in the assessment of muscular venous branch invasion. *Radiology* (Epub ahead of print)
- Notohamiprodjo M, Sourbron S, Staehler M et al (2010) Measuring perfusion and permeability in renal cell carcinoma with dynamic contrast-enhanced MRI: a pilot study. *J Magn Reson Imaging* 31(2):490–501
- Notohamiprodjo M, Dietrich O, Horger W et al (2010) Diffusion tensor imaging (DTI) of the kidney at 3 Tesla: feasibility, protocol evaluation and comparison to 1.5 Tesla. *Invest Radiol* 45(5):245–254
- Hahn OM, Yang C, Medved M et al (2008) Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging pharmacodynamic biomarker study of sorafenib in metastatic renal carcinoma. *J Clin Oncol* 26(28):4572–4578
- Flaherty KT, Rosen MA, Heitjan FH et al (2008) Pilot study of DCE-MRI to predict progression-free survival with sorafenib therapy in renal cell carcinoma. *Cancer Biol Ther* 7(4):496–501