

Bildgebende Diagnostik des Darms – eine Neubewertung

Teil 2: CT und MRT

Bowel Imaging: A Reassessment Part 2: CT and MRI

Autoren

C. Hohl¹, G. Mühlenbruch¹, T. Schmidt¹, P. Haage², R. W. Günther¹

Institute

¹ Klinik für Radiologische Diagnostik, Universitätsklinikum RWTH Aachen

² Klinik für diagnostische und interventionelle Radiologie, Helios Klinikum Wuppertal, Universitätsklinikum Witten/Herdecke

Key words

- abdomen
- CT
- PET-CT
- MR imaging
- small bowel
- large bowel

Zusammenfassung



Dies ist der zweite Teil einer Übersichtsarbeit zur radiologischen Darmdiagnostik. Nachdem im ersten Teil die konventionellen Röntgenverfahren und der Ultraschall behandelt worden sind, werden im zweiten Teil die Möglichkeiten und Einsatzgebiete von Computertomografie (CT) und Magnetresonanztomografie (MRT) inklusive virtueller Kolonografie und PET-CT vorgestellt. Im Einzelnen werden die Indikationen, die technische Durchführung und die diagnostische Aussagekraft der Verfahren erörtert. Zu den einzelnen Verfahren werden jeweils typische Untersuchungsprotokolle vorgeschlagen. In einer abschließenden Zusammenfassung wird anhand konkreter Fragestellungen die diagnostische Wertigkeit sowohl der konventionellen Röntgenverfahren als auch der Schnittbildverfahren unter Berücksichtigung der (Kapsel-)Endoskopie diskutiert.

Abstract



This is the second part of a review of bowel imaging. While the first part addressed conventional X-ray techniques and ultrasonography, the second part discusses the diagnostic features of computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) including virtual colonography and PET-CT in the diagnosis of bowel disorders. Indications, performance and the diagnostic impact of the different methods are presented and discussed in the context of competitive methods such as (capsule-)endoscopy.

eingereicht 5.11.2006

akzeptiert 21.2.2007

Bibliografie

DOI 10.1055/s-2007-963119
Online-Publikation: 2007
Fortschr Röntgenstr 2007; 179: 693–702 © Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York ·
ISSN 1438-9029

Korrespondenzadresse

Dr. med. Dipl.-Phys.

Christian Hohl

Klinik für Radiologische
Diagnostik, UK Aachen
Pauwelsstraße 30
52057 Aachen
Tel.: ++49/241/8088708
Fax: ++49/241/8082499
hohl@rad.rwth-aachen.de

Einleitung



Nachdem bis zum Ende des 20. Jahrhunderts die konventionellen Durchleuchtungsuntersuchungen die Darmbildgebung dominiert haben, hat in den letzten zehn Jahren auch in der intestinalen Diagnostik der Siegeszug der Schnittbildverfahren begonnen. Wenige Jahre nach der klinischen Einführung der Computertomografie (CT) Anfang der 1970er-Jahre und der Magnetresonanztomografie (MRT) Anfang der 1980er-Jahre sind bereits die ersten Versuche unternommen worden, den Darm mit diesen neuen Verfahren darzustellen. Der große Unterschied zwischen den projektionsradiografischen Verfahren und den Schnittbildverfahren liegt in der Möglichkeit, auch „hinter die Darmwand“ blicken zu können. Haben die Durchleuchtungsverfahren nur das kontrastmittelgefüllte Darmlumen bzw.

die Darmwand darstellen können, so gelingt mit den Schnittbildverfahren auch eine direkte Darstellung des Mesenteriums und der benachbarten Strukturen. Ultraschall als das „einfachste“ Schnittbildverfahren ist bereits im ersten Teil dieses Übersichtsartikels behandelt worden. Im zweiten Teil werden nun die Möglichkeiten der Darmdiagnostik mittels CT und MRT inklusive der virtuellen Kolonografie und dem grenzüberschreitenden Verfahren PET-CT vorgestellt. Abschließend wird der diagnostische Stellenwert aller zur Verfügung stehenden Verfahren anhand ausgewählter Fragestellungen diskutiert

Computertomografie



Die Computertomografie (CT) hat seit über 30 Jahren ihren festen Platz in der klinischen Diagnostik.



Abb. 1 70-jähriger männlicher Patient mit akuter Duodenitis nach hochdosierter NSAR-Gabe. Koronare Reformation einer Abdomen-CT nach oraler Kontrastierung mit Mannitol und rektaler Kontrastierung mit Gastrografin. Im Übergangsbereich von der Pars ascendens duodeni zum Jejunum zeigt sich eine deutliche Darmwandverdickung (Pfeile) mit Dreischichtung.



Abb. 2 51-jähriger männlicher Patient mit einer akuten Sigmadivertikulitis. Parakoronare Reformation einer Abdomen-CT mit positiver enteraler Kontrastierung. Neben multiplen Sigmadivertikeln (Pfeilspitzen) lässt sich auch eine segmentale entzündliche Verdickung der Darmwand abgrenzen (Pfeil).

In den ersten Jahren war die CT-Bildgebung auf die transversale Schichtführung beschränkt. Seit Einführung der Spiral-CT 1989 sowie der Mehrzeilentechnik in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre hat die CT auch die dritte Dimension erobert, sodass mit modernen CT-Scannern, bei ausreichend dünner Kollimation, die Schichtorientierung ähnlich wie in der MRT frei wählbar ist. Moderne CT-Scanner können Abdomen-Datensätze mit isotropen Voxeln im Submillimeterbereich in weniger als 10 Sekunden aufnehmen. Um der komplexen Anatomie des Dünndarms Rechnung tragen zu können, sind zusätzliche koronare oder sagittale Reformationen in der Qualität der klassischen transversalen Schichtrekonstruktionen möglich (► **Abb. 1**).

Der große Vorteil der CT liegt in einer objektiven und untersucherunabhängigen Darstellung des gesamten Abdomens, d. h. nicht nur des Darms, sondern auch der umgebenden Strukturen einschließlich der parenchymatösen Bauchorgane. Speziell für die Darmdiagnostik sind die extrem kurzen Untersuchungszeiten von 5–10 s für das gesamte Abdomen vorteilhaft, da die Untersuchung in einer Atemanhaltephase durchgeführt werden kann und keine Bewegungsartefakte durch Darmperistaltik zu erwarten sind. Die kurzen Untersuchungszeiten ermöglichen es außerdem, die Untersuchung in einer genau definierten Kontrastmittelfase durchzuführen und somit beispielsweise eine CT-Angiografie sowohl in arterieller als auch in venöser Phase zu realisieren. Ein weiterer Vorteil der kurzen Untersuchungszeit ist es, dass bei kleineren Kinder oder unkooperativen Patienten keine Narkose mehr nötig ist.

Voraussetzung für eine suffiziente Darmdiagnostik ist eine ausreichende Füllung des Darms mit Kontrastmittel. Je nach Fragestellung werden hierfür positive iodhaltige Kontrastmittel oder negative Kontrastmittel wie z. B. Wasser oder Polyethylenglykol (PEG) verwendet [1]. In unserer Klinik werden grundsätzlich alle Abdomenuntersuchungen mit negativem intestinalem Kontrastmittel durchgeführt (Wasser mit 2,5% Mannitol). Nur bei expliziter Frage nach Divertikulitis, Abszess, Perforation oder zystischen Raumforderungen wird eine positive Kontrastierung mit iodhaltigem Kontrastmittel bevorzugt (► **Abb. 2**).

Eine Verbesserung der Darmdistension, insbesondere in den proximalen Abschnitten, wird durch die CT-Enteroklyse erreicht. Hierbei wird das intestinale Kontrastmittel, in Analogie zur konventionellen Enteroklyse, über eine naso-duodenale Sonde direkt appliziert [2]. Zur Durchführung einer virtuellen Kolonografie wird Raumluft oder CO₂ als intestinales und rektal appliziertes Kontrastmittel verwendet [3]. Zusätzlich wird in den meisten Fällen noch iodhaltiges Kontrastmittel intravenös verabreicht. Im Folgenden werden für drei unterschiedliche Fragestellungen Vorschläge für ein Untersuchungsprotokoll gemacht.

Allgemeine Fragestellungen (Raumforderung, entzündliche Darmerkrankung etc.)

Für allgemeine Routine-Fragestellungen wie z. B. Raumforderungen wird eine orale und rektale Kontrastierung mit negativem Kontrastmittel (s. o.) empfohlen. Insbesondere bei der Beurteilung von entzündlichen Wandveränderungen kann eine negative Kontrastierung des Darmlumens hilfreich sein, um die entzündlichen Wandveränderungen besser beurteilen zu können [4] (► **Abb. 3a**). Werden positive intestinale Kontrastmittel zur Beurteilung entzündlicher Veränderungen verwendet, besteht die Gefahr, dass der Befund z. T. maskiert wird (► **Abb. 3b**). Da bei der Fragestellung Sigmadivertikulitis stets auch eine mögliche Perforation ausgeschlossen werden muss, wird meist eine ausschließliche rektale Füllung mit stark verdünntem iodhaltigen Kontrastmittel (z. B. Amidotrizoesäure [Gastrografin, Schering]) bevorzugt (► **Abb. 2**). Wenn insbesondere der proximale Dünndarm untersucht werden soll, kann eine optimale Kontrastierung und Distension von Duodenum und Jejunum durch eine Kontrastmittelinstillation über eine naso-duodenale Sonde (CT-Enteroklyse) erreicht werden [2]. Bei Kontrastierung über die Sonde bietet sich Methylzellulose an [4], die auch als Trägersubstanz für ein wasserlösliches iodhaltiges Kontrastmittel verwendet werden kann. Zusätzlich werden 100–120 ml Kontrastmittel i. v. (z. B. Iopromid [Ultravist, Schering]) mit einer Fußrate von 3 ml/s verabreicht, gefolgt von einem Bolus physiologischer Kochsalzlösung (30 ml). Das Untersuchungsvolumen erstreckt sich von der Leberkuppe bis zum Symphysenunterrand. Um multiplanare Reformationen zu erstellen, sollte eine möglichst feine Kollimation gewählt werden (z. B. 16 × 0,75 mm oder 64 × 0,6 mm) mit einer primären transversalen rekonstruierten Schichtdicke von 5 mm und einem Inkrement von 4 mm. Eine überlappende Datenakquisition ist nicht notwendig (pitch = 1). Die Untersuchung in einer portalvenösen Kontrastmittelfase mit einem festen Startdelay von 70 s ist in den meisten Fällen ausreichend.

Die Sensitivität der Abdomen-CT hängt von der Fragestellung ab und erreicht für entzündliche Dünndarmerkrankungen Werte von 84% nach oraler Kontrastierung und 88% nach CT-Enteroklyse [5]. Beim Nachweis von Dünndarmtumoren werden Sensitivitäten von 73–80% (orale Kontrastierung) und 100% (CT-Enteroklyse) erreicht [2]. Im Bereich des Dickdarms lassen

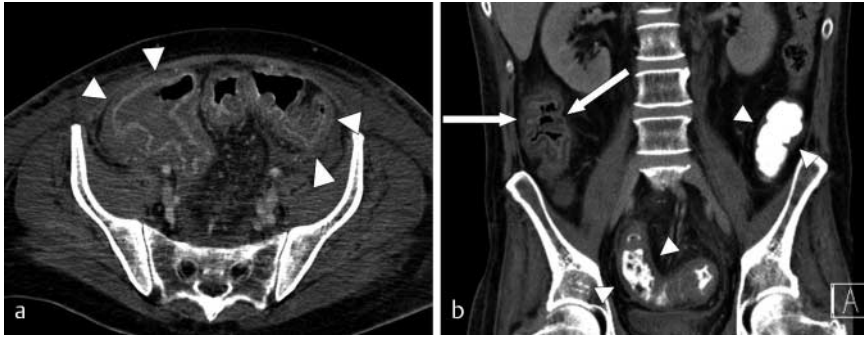


Abb. 3 Pseudomembranöse Kolitis. **a** 32-jähriger männlicher Patient mit pseudomembranöser Kolitis. Die Abdomen-CT mit rektaler Wasserfüllung zeigt das pathognomonische Bild einer pseudomembranösen Kolitis: dreischichtige, deutlich verdickte Wand, wobei sich eine girlandenförmige Kontrastmittelanreicherung der Mukosa zeigt (Pfeilspitzen). **b** 48-jähriger männlicher Patient mit pseudomembranöser Kolitis. Die Abdomen-CT in koronarer Reformatierung zeigt eindrücklich den Effekt der positiven rektalen Kontrastierung. Im Bereich des Sigma sowie des Colon descendens maskiert der positive rektale Einlauf die pathognomonische Anreicherung der Mukosa (Pfeilspitzen). Das Colon ascendens ist von dem Kontrastmittelinlauf nicht erreicht worden, hier lässt sich die Anreicherung der Mukosa gut erkennen (Pfeile).

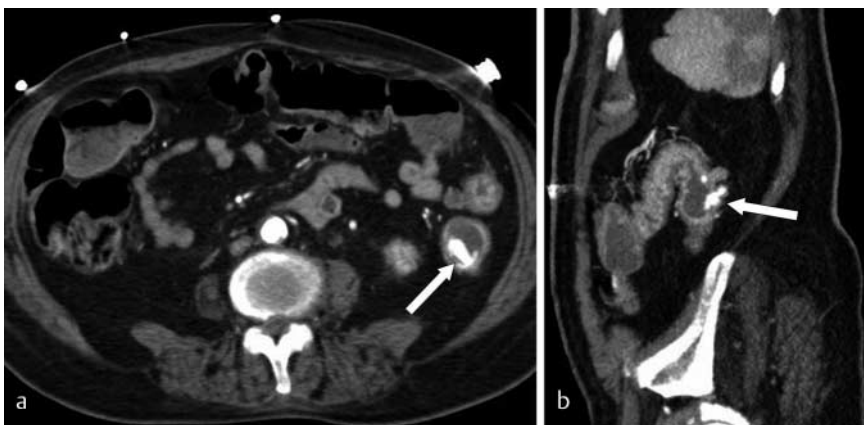


Abb. 4 74-jährige weibliche Patientin mit akutem, Hb-wirksamen perianalem Blutabgang. **a** In der CT-Angiografie ohne intestinale Kontrastierung lässt sich eine aktive Pressstrahlblutung in das Lumen des Colon descendens nachweisen (Pfeil). **b** In der sagittalen Reformatierung wird klar, dass es sich um eine Divertikelblutung handelt (Pfeil).

Tab. 1 Vergleich der Sensitivitäten verschiedener bildgebender Verfahren beim Nachweis von Kolonpolypen in Abhängigkeit der Läsionsgröße

	Sensitivität		
	≤ 5 mm	6–9 mm	≥ 10 mm
fiberoptische Koloskopie [59]	73 %	87 %	94 %
Barium-Doppelkontrast [59]	8 %	33 %	27 %
Abdomen-CT [60]	50 %	67 %	100 %
CT-Kolonografie [61]	75 %	100 %	100 %
MR-Kolonografie [62]	0 %	84,2 %	100 %

sich entzündliche Veränderungen mit einer Sensitivität zwischen 52 und 100% erfassen [6, 7], die Sensitivität beim Nachweis von Neoplasien des Dickdarms hängt von der Läsionsgröße ab (☛ **Tab. 1**).

Bei 120 kVp, 120 mAs_{eff} und einer Kollimation von 16 × 0,75 mm resultiert z. B. eine effektive Dosis von 6,0 mSv für Männer bzw. von 8,3 mSv für Frauen (Werte berechnet mit CT-Expo 1.4 [8]).

Mesenteriale Blutung oder Ischämie

Ideal ist eine negative orale und rektale Kontrastierung mit Wasser, soweit der klinische Zustand des Patienten dies erlaubt. Um eine Resorption des Wassers zu verhindern, hat sich ein 2,5%iges Mannitol-Wasser-Gemisch bewährt [9]. Da es sich bei der akuten mesenterialen Ischämie meist um eine Notfallindikation handelt, kann auf eine Kontrastierung des Darms auch gänzlich verzichtet werden, zumal in den ischämischen

Darmanteilen häufig ein kräftiger Flüssigkeitseinstrom in das Lumen zu beobachten ist. Auf die Gabe von positiven enteralen Kontrastmitteln sollte verzichtet werden, da sonst eventuelle Blutungen übersehen werden können und die Beurteilung der Darmwand erschwert wird [10]. Die i. v.-Kontrastmittelgabe ist obligat; es werden 100–120 ml eines nichtionischen Kontrastmittels (z. B. Iopromid [Ultravist, Schering]) mit einer Flussrate von mindestens 3,5–4 ml/s über einen großlumigen Zugang (mind. 18 G) in der Kubitalvene appliziert. Die kraniale Begrenzung des Untersuchungsvolumens sollte so gewählt werden, dass der Truncus coeliacus sicher mit erfasst wird; nach kaudal bildet der Symphysenunterrand die Begrenzung. Die Kollimation sollte möglichst fein gewählt werden (z. B. 16 × 0,75 mm oder 64 × 0,6 mm) wobei zu berücksichtigen ist, dass die Untersuchungszeit nicht länger als die arterielle Phase dauern darf. Die Datenakquisition sollte, sofern die Untersuchungsdauer dies zulässt, gering überlappend erfolgen (pitch = 0,95–0,98). Eine native Untersuchung vor i. v.-Kontrastmittelgabe ist nur dann notwendig, wenn kürzlich oral oder rektal Kontrastmittel verabreicht worden ist [11]. Routinemäßig beginnt die Untersuchung mit einer früharteriellen Kontrastmittelfase, wobei der Startzeitpunkt entweder durch einen Testbolus oder ein Bolus-Tracking bestimmt wird. Anschließend wird eine zweite, venöse Kontrastmittelfase durchgeführt, welche 70–100 s nach Kontrastmittelgabe gestartet werden sollte. In zweifelhaften Fällen kann insbesondere bei der Blutungssuche noch eine dritte späte Kontrastmittelfase hilfreich sein [11] (☛ **Abb. 4**). Ist im Vorfeld bereits eine konventionelle Katheterangiografie

durchgeführt worden, empfiehlt es sich, die Kontrastmittelgabe der CT-Angiografie über den in der A. mes. sup. liegenden Katheter durchzuführen [11] (● **Abb. 5**). Hierbei ist eine Kontrastmittelmenge von 30–40 ml mit einer Flussrate von 3 ml/s und einem Startdelay von 7–10 s ausreichend.

Die Sensitivität in der Diagnose gastrointestinaler Blutungen liegt zwischen 50 und 80% und kann durch selektive Kontrastmittelgabe über einen Angiografiekatheter noch gesteigert werden [12]. Die computertomografische Nachweisgrenze für eine gastrointestinale Blutung liegt knapp unterhalb von 0,5 ml/min [13]. Mesenteriale Ischämien (● **Abb. 6**) lassen sich CT-grafisch mit einer Sensitivität zwischen 79 und 96% erfassen [14, 15]. Bei Durchführung von zwei Kontrastmittelphasen mit z. B. 120 kVp, 120 mAs_{eff} und einer Kollimation von 16 × 0,75 mm resultiert eine effektive Dosis von 12 mSv für Männer bzw. von 16,6 mSv für Frauen [8].

Virtuelle Kolonografie

Nachdem durch die Einführung der Spiral-CT 1989 die Aufnahme eines kontinuierlichen Datensatzes möglich geworden ist, war der Weg frei für 3D-Rekonstruktionen. Bereits 1994 sind die ersten Ergebnisse einer auf 3D-Rekonstruktionen basierenden virtuellen Koloskopie vorgestellt worden [16]. Der Name „virtuelle Koloskopie“ bezieht sich auf die rekonstruierte dreidimensionale endoluminale Perspektive, welche den Blick durch das konventionelle fiberoptische Koloskop simuliert. Die Technik der virtuellen Koloskopie oder Kolonografie, wie das Verfahren auch genannt wird, ist in den letzten Jahren zunehmend verfeinert worden; die Nachbearbeitungszeit konnte mit steigender Rechnerleistung weiter verkürzt werden. Heute stehen eigene Nachverarbeitungssysteme zur Verfügung, an denen in vertretbarer Zeit die Rekonstruktionen (< 10 min.) und Auswertungen (30–45 min) der virtuellen Kolonografie durchgeführt werden können [17].

Für eine virtuelle Kolonografie werden die Patienten ähnlich vorbereitet wie zu einer konventionellen Koloskopie, d. h. der Darm muss möglichst gut gereinigt werden, da Stuhlreste pathologische Befunde vortäuschen können. Um trotz der stets vorhandenen Restflüssigkeit im Kolon die gesamte Schleimhaut beurteilen zu können, wird eine Abdomen-CT in Rückenlage und eine in Bauchlage durchgeführt. Direkt vor Untersuchungsbeginn erfolgt eine Distension bzw. Negativkontrastierung des Darms mit ca. 1,5–2 l Raumluft oder CO₂, die über ein Darmrohr manuell oder maschinell insuffiziert wird. Nach dem Umlagern und vor der zweiten CT wird noch einmal Gas nachgegeben. Die Darmdistension wird meist noch durch eine gewichtsadaptierte Gabe von Spasmolytika (Glukagon oder Butylscopolamin) unterstützt [18]. Sofern es sich um eine reine Vorsorgeuntersuchung handelt, wird in der Regel auf eine i. v.-Kontrastmittelgabe verzichtet, und beide Abdomen-CT-Untersuchungen werden mit einem Niedrigdosisprotokoll (120 kV, 20–30 mAs_{eff}) durchgeführt. Bei symptomatischen Patienten (z. B. Blutbeimengungen im Stuhl) wird die erste Abdomen-CT in Rückenlage nach i. v.-Kontrastmittelgabe mit einem Standardprotokoll (120 kV, 100–150 mAs_{eff}) durchgeführt, um eventuelle Zweit- und Nebenbefunde (Lymphknoten, Metastasen etc.) mit zu erfassen. Die zweite Abdomen-CT in Bauchlage wird dann wiederum mit einem Niedrigdosisprotokoll durchgeführt. Die Schichtkollimation sollte für beide Untersuchungen möglichst dünn gewählt werden (z. B. 16 × 0,75 mm), um die Qualität der 3D-Rekonstruktionen zu verbessern und die Detektion auch kleiner Läsionen zu ermöglichen. Aus beiden Datensätzen werden dann mit der



Abb. 5 78-jähriger männlicher Patient mit unterer gastrointestinaler Blutung. Die Abb. zeigt die koronare Maximumintensitätsprojektion (MIP) der Angio-CT mit Kontrastmittelgabe über den in der A. mesenterica sup. liegenden Angiografiekatheter (Pfeilspitzen). Die konventionelle Angiografie ergab keinen Nachweis einer Blutungsquelle. In der Angio-CT konnte die Blutung aus einer Angiodysplasie (Pfeil) nachgewiesen werden.



Abb. 6 74-jähriger männlicher Patient mit akuter mesenterialer Ischämie. In der koronaren Reformation der Angio-CT erkennt man neben normaler Dünndarmwand mit regulärer Kontrastmittelanreicherung (Pfeile) einen Bereich mit aufgequollener Darmwand und allenfalls minimaler Kontrastmittelanreicherung (Pfeilspitzen), der sich intraoperativ als nekrotisch herausgestellt hat. Nebenbefundlich Aszites.

Auswertesoftware getrennte virtuelle Kolonografien berechnet. Eine Fusion oder Überlagerung beider Datensätze ist aufgrund der unterschiedlichen Topografie in Rücken- und Bauchlage bisher technisch nicht realisierbar. Die Befundung erfolgt sowohl anhand der virtuellen Kolonografie als auch anhand der axialen Einzelschichten (● **Abb. 7**). Die Sensitivitäten in der Detektion von Neoplasien hängen von der Läsionsgröße ab (● **Tab. 1**). Für eine reine Screening-Untersuchung beläuft sich die effektive Dosis auf 2,5 mSv für Männer und 3,5 mSv für Frauen, bei i. v.-Kontrastmittelgabe werden effektive Dosen von 8,8 mSv (Männer) und 12,2 mSv (Frauen) erreicht [8].

PET-CT

Die ¹⁸F-Fluorodeoxyglukose (FDG)-PET hat im Vergleich zur CT eine überragende Sensitivität, nicht nur in der Diagnostik von gastrointestinalen Neoplasien, sondern auch in der Detektion von Lebermetastasen und der Beurteilung ihrer Resektabilität [19]. Die hervorragende Sensitivität beruht auf dem Funktionsprinzip der PET: Bei diesem Verfahren werden stabile Isotope eines Biomoleküls durch leichte Radionuklide mit β⁺-Zerfall (¹¹C, ¹³N, ¹⁵O, ¹⁸F) ersetzt. Man erhält auf diesem Weg markierte Moleküle (Tracer), welche sich chemisch wie ihre nicht markier-

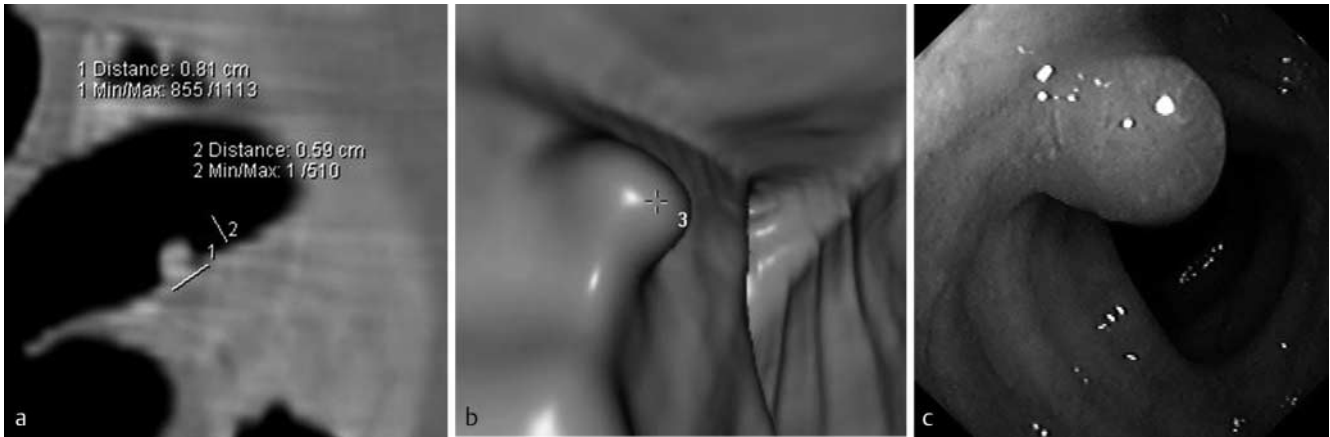


Abb. 7 48-jähriger männlicher Patient mit knapp 1 cm großem Polypen im Colon descendens. **a** Axiale Schicht der nativen Niedrigdosis-CT. **b** Darstellung des Polypen in der virtuellen Kolonografie. **c** Reale Koloskopie des Polypen vor der Abtragung mittels Schlinge.

ten Vorbilder verhalten und normal in den Stoffwechsel eingebaut werden. Bei der ^{18}F -FDG-PET wird ein Glukose-Analogen verwendet, das sich besonders dort anreichert, wo ein erhöhter Glukose-Stoffwechsel stattfindet wie in Tumorgewebe. An Ort und Stelle werden durch den β^+ -Zerfall Positronen freigesetzt, welche zusammen mit benachbarten Hüllenelektronen in je zwei γ -Quanten umgewandelt werden. Diese fliegen dann in entgegengesetzter Richtung auseinander. Werden die beiden γ -Quanten von zwei gegenüberliegenden Detektoren innerhalb eines bestimmten Koinzidenzzeitfensters (ca. 10 ns) gemessen, ist der Ort auf eine Position auf der Verbindungslinie der beiden Detektionsstellen festgelegt. In einem PET-Scanner sind einige hundert Detektoren kreisförmig um den Patienten angeordnet, sodass aus den gemessenen Werten die Aktivitätsverteilung im Patienten rekonstruiert werden kann. Dieses Koinzidenzprinzip ermöglicht eine Messempfindlichkeit (minimale Stoffmenge), die mit 10^{-12} Mol die SPECT noch um den Faktor 1000 übertrifft [20]. Manko der PET ist die eingeschränkte Ortsauflösung und folglich schlechte anatomische Darstellung, die gerade im Abdomen die genaue Zuordnung eines Befundes erschwert. Die PET-CT ermöglicht es, die PET-Befunde mit ihrer hohen Sensitivität sowie CT-Bilder mit ihrer hervorragenden räumlichen Auflösung zu fusionieren. Somit ist eine exakte anatomische Zuordnung der PET-Befunde möglich. Auch können mit der Kombination von PET und CT solche Neoplasien erfasst werden, die keinen erhöhten Glukosestoffwechsel aufweisen [21]. Außerdem ermöglicht die CT eine Schwächungskorrektur für die PET. Insgesamt kann die Sensitivität der PET in der Diagnostik von z.B. kolorektalen Neoplasien durch die Kombination mit der CT von 66 auf 95% gesteigert werden [22]. Voraussetzung ist jedoch auch in der PET-CT eine geeignete Füllung des Darms. Zur Vermeidung von Artefakten wird eine Füllung mit negativen Kontrastmitteln wie z.B. Wasser mit Johannisbrotkernmehl und Mannitol empfohlen [21].

Die effektive Dosis der PET-CT liegt bei ca. 15 mSv für eine Abdomen-Untersuchung [23] und kann reduziert werden, wenn die CT in Niedrigdosis-Technik durchgeführt wird [24].

Magnetresonanztomografie

Seit der Einführung der MRT in die klinische Routine Anfang der 1980er-Jahre hat sich bei immer kürzer werdenden Akqui-

sitionszeiten die Bildqualität stetig verbessert. War das zentrale Nervensystem anfänglich das einzig mögliche Anwendungsgebiet, hat sich die MRT durch die Einführung leistungsfähiger Gradientensysteme und neuer, schnellerer Sequenzprotokolle auch im Bereich des Abdomens zu einem konkurrenzfähigen Verfahren entwickelt. So wird seit Ende der 1980er-Jahre die MRT auch in der Darmdiagnostik eingesetzt [25]. Im Vergleich zu den klassischen bildgebenden Verfahren des Darms, bietet die MRT neben dem Vorteil der fehlenden Strahlenexposition alle Vorteile eines Schnittbildverfahrens mit hervorragendem Weichteilkontrast. Abgesehen von der reinen Abbildung der Darmwand können auch Veränderungen des Mesenteriums, Lymphknotenvergrößerungen, Abszesse oder andere relevante Zusatzbefunde erfasst werden [26].

In zahlreichen Veröffentlichungen sind die Vorteile der Darm-MRT bereits aufgezeigt worden [9, 27–29]. Die anfangs verwendeten relativ schnellen Gradientenecho-Sequenzen haben nur eine mäßige räumliche Auflösung; hochaufgelöste Spin-echo-Sequenzen sind oft mit erheblichen Bewegungsartefakten aufgrund der langen Messzeit behaftet. Mittlerweile haben sich neben den etablierten, hochauflösenden Turbo-Spin-echo-Sequenzen (TSE) zur Darmbildgebung vor allem die qualitativ sehr hochwertigen SSFP-Sequenzen (Steady-State-Free-Precession) durchgesetzt [9, 27] (• **Abb. 8**). Diese Sequenztechnik wird von mehreren Herstellern unter verschiedenen Namen angeboten: TrueFISP (Siemens, Erlangen), Balanced Fast Field Echo = Balanced FFE (Philips Medical Systems, Best, Niederlande) oder Fast Imaging Employing Steady State Acquisition = FIESTA (General Electric, New York, USA). Im allgemeinen Sprachgebrauch wird jedoch der eigentlich Siemens vorbehalten Name True-FISP verwendet. Durch die Datenakquisition im Gleichgewichtszustand (steady state) der transversalen Magnetisierung wird mit einem solchen Sequenzprotokoll ein gemischter, T1- und T2-gewichteter Kontrast mit hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis sowie exzellenter räumlicher Auflösung erreicht [30]. Die zentralen k-Raum-Zeilen können in weniger als 100 ms aufgefüllt werden, sodass die Sequenz auch recht stabil gegenüber Bewegungsartefakten ist [9]. Ein weiterer Vorteil der True-FISP, insbesondere bei der Beurteilung entzündlicher Darmveränderungen, beruht auf einem Artefakt. Hierbei handelt es sich um ein Outphase-Artefakt der Fett- und Wasserprotonen aufgrund der Echozeiten von 2,4–2,7 ms [30]. Diesem Artefakt verdankt die True-FISP, dass die Kontu-

ren anatomischer Strukturen mit einem schwarzen Rand nachgezeichnet erscheinen. In der Darm-MRT hat dies den Vorteil, dass kleine Blutgefäße im mesenterialen Fettgewebe als relativ kräftige schwarze Strukturen zur Darstellung kommen. Somit lässt sich das sogenannte „Kammzeichen“ (Comb-Sign), d.h. die mesenteriale Hyperämie entzündlich veränderter Darmabschnitte, als nahezu pathognomonischer Befund bei entzündlichen Darmerkrankungen gut darstellen (● **Abb. 8**). Störend kann sich bei der True-FISP die Empfänglichkeit für Suszeptibilitätsartefakte durch intraluminales Gas auswirken; eine wirkliche Beeinträchtigung der Beurteilbarkeit wird in der Literatur jedoch nicht berichtet [9, 27].

Ähnlich wie auch bei den anderen bildgebenden Verfahren, ist auch bei der MRT die Distension des Darms und die Kontrastierung des Lumens Voraussetzung für eine suffiziente Beurteilbarkeit der Darmwand. Es können sowohl positive als auch negative intraluminale Kontrastmittel verwendet werden. Ausschlaggebend für die Wahl des Kontrastmittels sollten die verwendeten Sequenzprotokolle sein [31]. Werden schwerpunktmäßig T1-gewichtete Sequenzen ohne i.v.-Kontrastmittelgabe verwendet, ist eine positive enterale Kontrastierung günstig, da die hypointense Darmwand dann einen guten Kontrast sowohl zum hyperintensiven mesenterialen Fett als auch zum hyperintensiven Darmlumen bildet. Stützt sich die Diagnose eher auf i.v.-Kontrastmittel-verstärkte, T1-gewichtete Sequenzen ist eine negative Kontrastierung des Darmlumens günstiger, um die hyperintense Darmwand abgrenzen zu können. Bei der Verwendung von True-FISP-Sequenzen hat sich, ähnlich wie bei der nativen T1-Wichtung, eine positive enterale Kontrastierung bewährt (● **Abb. 8**).

Typische positive Kontrastmittel sind verdünnte Magnesium-Chelate [31] oder manganhaltige Flüssigkeiten wie beispielsweise Blaubeersaft [32]. Häufig verwendete negative intestinale Kontrastmittel sind Bariumsulfat [28] oder Magnetit [33]. Ein breites Anwendungsspektrum haben die sogenannten biphasischen Kontrastmittel, die je nach Wichtung unterschiedliches Kontrastverhalten zeigen. Das einfachste und auch preiswerteste biphasische Kontrastmittel ist Wasser (T1 hypointens/T2 hyperintens). Um die Resorption des Wassers im Dünndarm zu verhindern, hat sich ein 2,5%iges Mannitol-Wasser-Gemisch bewährt [9]. Polyethylenglykol (PEG) ist ein weiteres biphasisches enterales Kontrastmittel, dem noch Elektrolyte zugefügt werden können, um eine isosmolare Lösung zu erhalten [34].



Abb. 8 16-jährige weibliche Patientin mit Darmwandverdickungen bei M. Crohn (Pfeilspitzen) und Kammzeichen (Pfeil). Durch einen Artefakt in der True-FISP kommen die vermehrt zur Darmwand ziehenden Gefäße im mesenterialen Fettgewebe (Pfeil) besonders akzentuiert zur Darstellung (Kammzeichen oder Comb-Sign).

Dünndarm

Die enterale Kontrastierung des Dünndarms kann auf zwei unterschiedlichen Wegen geschehen: durch eine perorale Kontrastmittelgabe [9, 35] oder mittels MR-Enteroklyse [27, 31, 34, 36], bei der das Kontrastmittel über eine naso-jejunale Sonde verabreicht wird. Das letztere Vorgehen verläuft analog zur konventionellen Enteroklyse, wie sie im ersten Teil dieses Artikels beschrieben ist. Der Vorteil der Enteroklyse liegt in der kontrollierten Distension, insbesondere des proximalen Dünndarms. Nachteilig ist die größere Invasivität der Untersuchung, die insbesondere für Kinder ein nicht zu unterschätzendes Hindernis darstellen kann. Außerdem muss die Sonde meistens unter Durchleuchtungskontrolle platziert werden, was einen größeren logistischen Aufwand und eine zusätzliche Strahlenexposition bedeutet. Lediglich von Umschaden und Mitarbeitern wird über die MR-durchleuchtungsgesteuerte Platzierung der Sonde berichtet [37]. Obwohl der direkte Vergleich der Dünndarm-MRT mit und ohne Enteroklyse nicht untersucht worden ist, lässt sich aus den existierenden Daten kein Vorteil der Dünndarmintubation ablesen.

Die zusätzliche Gabe eines i.v.-Kontrastmittels ist zumindest bei der Diagnostik entzündlicher Darmveränderungen nicht obligat. Bei der Verwendung von True-FISP-Sequenzen bringt die i.v.-Kontrastmittelgabe keine Zusatzinformation [38], in zweifelhaften Fällen kann nach der nativen True-FISP-Sequenz noch eine fettsupprimierte T1-gewichtete Gradientenechosequenz (z.B. T1-FFE-SPIR) durchgeführt werden (● **Abb. 9**). Unverzichtbar ist jedoch eine Ruhigstellung des Dünndarms mit Spasmolytika (Butylscopolamin oder Glukagon i.v. in gewichtsadaptierter Dosierung) zur Vermeidung von Bewegungsartefakten durch die Darmperistaltik. Da die Wirkung von Butylscopolamin bereits nach 5 min merklich nachlässt, bietet es sich an, ca. 1/3 der Dosis initial zu verabreichen und den Rest als Kurzinfusion über die Dauer der Untersuchung zu infundieren. Die Empfindlichkeit gegenüber Bewegungsartefakten liegt im statischen Charakter der Untersuchung begründet. Die Darm-MRT liefert ähnlich wie die CT keine dynamischen Informationen, was ein gewisser Nachteil gegenüber der konventionellen Enteroklyse ist. Wird die dynamische Information zur Diagnosestellung benötigt, kann eine sogenannte MR-Durchleuchtung durchgeführt werden; geeignet wäre z.B. eine T2-gewichtete dynamische 2D-Single-shot-Fast-Spinecho-(FSE-)Sequenz in Atemanhaltetechnik [37].

Ein Basis-Untersuchungsprotokoll zur Beurteilung des Dünndarms sollte neben einer True-FISP auch T1- und T2-gewichtete TSE-Sequenzen beinhalten. Zur Vermeidung von Atemartefakten bietet sich für die T1-TSE- und die True-FISP-Sequenz eine Datenakquisition in Atemanhaltetechnik an; die T2-TSE-Sequenz liefert gute Ergebnisse als atemgetriggerte Sequenz. Dabei sollte zumindest die True-FISP-Sequenz in zwei unterschiedlichen Orientierungen (koronar und transversal) durchgeführt werden [9]. Bei Verdacht auf Fisteln, Abszesse oder sonstige Raumforderungen bringt neben einer fettsupprimierten T2-TSE auch eine fettsupprimierte T1-gewichtete Sequenz nach i.v.-Kontrastmittelgabe (T1-FFE-SPIR) wertvolle Zusatzinformationen (● **Abb. 9**). Zur Verbesserung der Bildqualität sollte nach Möglichkeit eine Oberflächenspule verwendet werden.

Dickdarm

Bei der standardmäßigen Untersuchung des Dünndarms sollte neben der Kontrastierung des Dünndarms von oral nach Möglichkeit auch immer ein rektaler Kontrastmitteleinlauf durchgeführt werden. Man ermöglicht somit ohne zusätzliche Se-

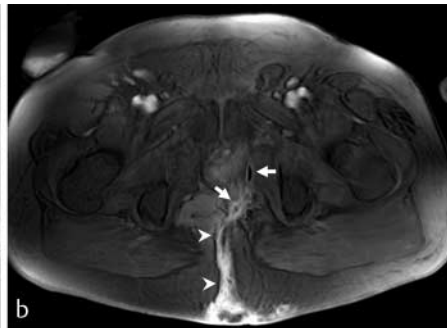
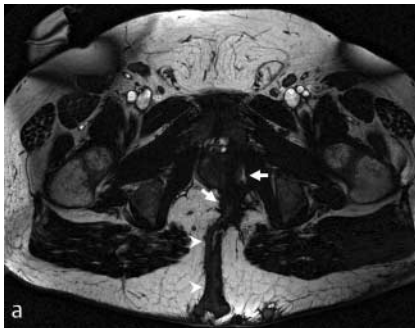


Abb. 9 44-jähriger männlicher Patient mit bekanntem fistelndem M. Crohn. In der axialen True-FISP **a** lässt sich der Fistelgang im Bereich des Fettgewebes (Pfeilspitzen) gut abgrenzen. Im Bereich der Muskulatur lässt sich die Fistel mit der True-FISP nicht mehr gut abgrenzen und die beiden kleineren Verhaltformationen (Pfeile) lassen sich erst in der T1-FFE-SPIR **b** sicher abgrenzen.

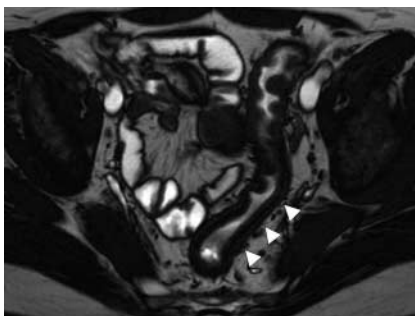


Abb. 10 59-jährige weibliche Patientin mit bekannter Colitis ulcerosa. In der axialen True-FISP ausgeprägte Wandverdickung im Bereich des Sigma mit angedeuteter Dreischichtung der Wand (Pfeilspitzen).

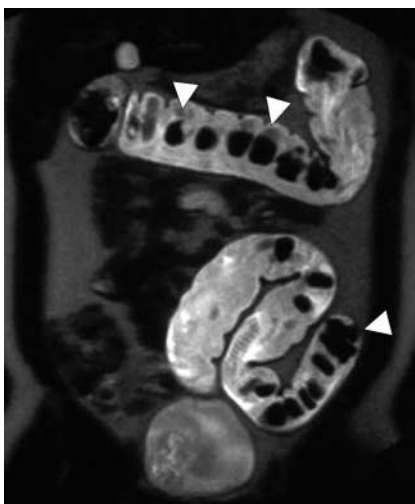


Abb. 11 28-jähriger männlicher Patient, Normalbefund. In der koronaren, stark T2-gewichteten HASTE-Sequenz erscheint die Wasserfüllung des Darms hell. Nach „fecal tagging“ erscheint der Barium-markierte Stuhl schwarz (Pfeilspitzen).

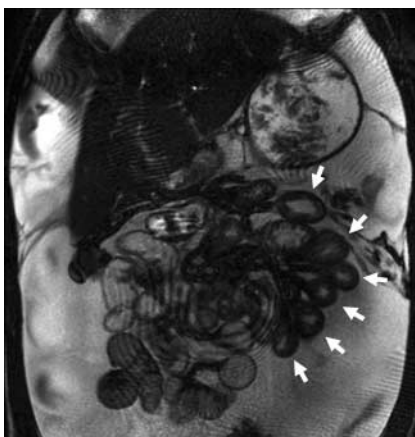


Abb. 12 12-jährige weibliche Patientin mit subakuter mesenterischer Ischämie auf dem Boden einer Pfortaderthrombose. In der koronaren True-FISP lassen sich gut die verdickten proximalen Dünndarmschlingen abgrenzen (Pfeilspitzen). Auffällig sind die Pulsationsartefakte, die durch den ausgeprägten Aszites verursacht werden.

quenzprotokolle oder Untersuchungszeit eine Mitbeurteilung des Dickdarms [39, 40]. Dieses Vorgehen ist besonders zur Beurteilung entzündlicher Darmveränderungen geeignet [41] (☛ **Abb. 10**). Der Untersuchungsablauf inkl. Sequenzprotokollen, Spulwahl und Spasmolyse ist analog zur Dünndarmuntersuchung.

Zur Untersuchung von Polypen oder Malignomen ist jedoch eine weitergehende Vorbereitung des Kolons notwendig, um Stuhlreste von pathologischen Befunden unterscheiden zu können. Die klassische Methode ist eine gründliche Reinigung des Dickdarms wie zur Koloskopie mit anschließender Füllung des Darms mit positivem („bright lumen“) oder negativem („dark lumen“) Kontrastmittel. Als positive Kontrastmittel bieten sich stark verdünnte Gd-DTPA-Wasser-Gemische (1:100) an; als negative Kontrastmittel werden Bariumsulfat-Lösungen oder Wasser verwendet [28]. Dabei ist Wasser selbstverständlich nur in T1-gewichteten Sequenzen ein negatives Kontrastmittel. Ein anderer Ansatz, der auf eine Reinigung des Darms verzichtet, ist die sogenannte Stuhlmarkierung („fecal tagging“). Bei diesem Verfahren wird zwei bis drei Tage zu jeder Mahlzeit eine gewisse Menge (z. B. 200 ml) hochkonzentrierter Bariumsulfat-Lösung getrunken. Das Barium als negatives Kontrastmittel lässt den Stuhl in allen Wichtungen schwarz erscheinen (☛ **Abb. 11**), sodass Polypen oder sonstige Raumforderungen nach einer i. v.-Kontrastmittelgabe gut von Stuhlresten unterschieden werden können [28, 29]. Ähnlich wie bei der CT ist eine virtuelle Kolonografie auch in der MRT realisierbar. Hierzu werden beispielsweise 3D-FLASH-Sequenzen mit einer möglichst geringen Schichtdicke (1–2 mm) verwendet, die analog zur CT sowohl in Rücken- als auch in Bauchlage akquiriert werden müssen [42]. Der Darm kann entweder mit einem Wasser-Gd-DTPA-Gemisch (signalreich) oder nur mit Wasser (signalarm) gefüllt werden. Eine Füllung mit Luft hat sich wegen der Suszeptibilitätsartefakte nicht bewährt [43]. Die Sensitivitäten, die sich mit der MR-Kolonografie erreichen lassen, hängen stark von der Läsionsgröße ab (☛ **Tab. 1**). Zur Beurteilung von Motilitätsstörungen des Dickdarms kann nach entsprechender Vorbereitung auch eine Cine-MRT durchgeführt werden [44].

Darmischämie

Die frühzeitige Diagnose ischämischer Darmabschnitte ist eine diagnostische Herausforderung. Neben hochauflösenden mesenterialen Angiografien, welche analog zur CT auch Perfusionsausfälle darstellen können [45], bietet die funktionelle MRT die Möglichkeit, die ischämische Darmwand bereits im Frühstadium zu identifizieren. Ähnlich wie im Gehirn kann das zytotoxische Ödem der Darmwand mit diffusionsgewichteten Sequenzen dargestellt werden. Die ersten Tierversuche haben vielversprechende Ergebnisse erbracht [46].

Daneben lässt sich eine Darmwandverdickung als unspezifisches Zeichen einer mesenterialen Ischämie wiederum mit der True-FISP-Sequenz gut darstellen (● **Abb. 12**).

Zusammenfassende Wertung

„The times they are a-changing“ zitierte Dean Maglinte in seinem kürzlich erschienen Artikel über die Dünndarm-Bildgebung Bob Dylan [47]. Maglinte bezieht diese Aussage auf die drahtlose Kapselendoskopie (WCE), die seiner Meinung nach eine führende Rolle in der Dünndarmdiagnostik einnehmen wird. Sicherlich haben die Zeiten sich geändert und werden sich auch weiterhin ändern, deshalb scheint es angebracht, die verschiedenen verfügbaren Modalitäten kritisch zu beleuchten. Die Kapselendoskopie hat, seitdem sie 2000 das erste Mal vorgestellt wurde [48], beachtliche Erfolge vorzuweisen. Eine Metaanalyse, welche im Jahre 2005 alle bis dahin verfügbaren Studien ausgewertet hat [49], erbrachte für die WCE eine Rate falsch negativer Befunde von insgesamt 10%. Im Detail wurden nur 0,5% der Ulcera und 5,9% der vaskulären Läsionen, jedoch 18,9% der Dünndarm-Neoplasien übersehen. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die WCE genauso wie die konventionelle Endoskopie nur die oberflächliche Schleimhaut einsehen kann und eine ergänzende radiologische Bildgebung nötig ist, um die Untersuchung zu komplettieren [47]. Die Frage nach dem am besten geeigneten Verfahren hängt in erster Linie von der klinischen Fragestellung und der zu untersuchenden Region ab.

Bei den meisten Fragestellungen haben die Schnittbildverfahren CT und MRT die Durchleuchtungsuntersuchungen abgelöst. Es wäre aber auch durchaus vorstellbar, dass die vermeintlich veralteten Durchleuchtungstechniken im Rahmen des Kostendrucks zumindest eine vorübergehende Renaissance erleben könnten.

Gastrointestinale Blutungen

Bei gastrointestinalen Hämorrhagien ist der Dickdarm sicherlich die Domäne der Koloskopie und nur bei nicht komplett einsehbarem Kolon bietet sich eine kontrastangehobene CT mit negativer intraluminaler Kontrastierung an. Wird die Blutung im Dünndarm vermutet, sollte zuerst versucht werden, die Blutungsquelle endoskopisch zu lokalisieren. Gelingt dies nicht, kann bei subakuten oder intermittierenden Blutungen eine WCE durchgeführt werden. Bei akuten und schweren Blutungen bleibt jedoch keine Zeit für eine WCE, hier sollte eine kontrastmittelangehobene Angio-CT mit negativer intraluminaler Kontrastierung durchgeführt werden [47] (● **Abb. 4**). Alternativ kann auch mit einer konventionellen Katheterangiografie die Blutungsquelle identifiziert und in gleicher Sitzung embol-

liert werden. Lässt sich in der Angiografie keine Blutung ausmachen, hat es sich bewährt, eine CT-Angiografie über den liegenden Mesenterica-Katheter durchzuführen [11] (● **Abb. 5**).

Mesenteriale Ischämie

Bei der Frage nach mesenterialen Ischämien gibt es vielversprechende Ansätze, mithilfe der funktionellen MRT auch non-okklusive Darmischämien frühzeitig zu diagnostizieren; routinetauglich sind diese Verfahren jedoch noch nicht. Mithilfe des Ultraschalls lässt sich freie Flüssigkeit oder gegebenenfalls eine Darmwandverdickung nachweisen. Manchmal ist es auch möglich, im Duplex-Modus zentrale Perfusionsausfälle zu identifizieren. Wesentlich hilfreicher ist eine kontrastmittelangehobene Angio-CT [10, 14], wobei auf eine intraluminal Kontrastierung verzichtet werden kann (● **Abb. 6**). Das Erscheinungsbild einer Darmischämie ist nicht ganz einheitlich, hier sei auf den Übersichtsartikel von Chou [50] verwiesen. Der diagnostische Goldstandard zur Identifikation von mesenteriale Durchblutungsstörungen ist immer noch die konventionelle Katheterangiografie.

Entzündliche Darmerkrankungen

Bei der Diagnostik entzündlicher Darmerkrankungen steht an erster Stelle die konventionelle Endoskopie mit Biopsie. Der bildgebenden radiologischen Diagnostik kommt meist die Aufgabe zu, die Ausbreitung des entzündlichen Geschehens zu diagnostizieren, Komplikationen zu erfassen und den Therapieerfolg zu dokumentieren bzw. Verlaufskontrollen durchzuführen.

Bei Verdacht auf einen akuten entzündlichen Prozess wie z.B. eine Appendizitis oder Divertikulitis kommt der Sonografie ein hoher Stellenwert zu. Auf den früher häufig durchgeführten Kolon-Kontrasteinlauf zur Diagnostik einer Kolon- oder Sigmadivertikulitis sollte verzichtet werden [51–53], da die CT bei vergleichbarer Strahlenexposition eine wesentlich bessere Aussagekraft hat (● **Abb. 2**). Ähnliches gilt auch für Patienten mit Dünndarmdivertikulitis [54] oder schwerer akuter Kolitis (● **Abb. 3**). Bei Verdacht auf eine Abszedierung oder Perforation ist die CT das Verfahren der Wahl (● **Abb. 13**) [7]. Bei chronisch entzündlichen Prozessen wie M. Crohn oder Colitis ulcerosa ist eine Darm-MRT das Verfahren der Wahl, um die meist relativ jungen Patienten bezüglich der Ausbreitung und des Therapieerfolges zu beurteilen (● **Abb. 8**). Auf die CT sollte nur zurückgegriffen werden, wenn die Patientencompliance gering ist, eine Abszessdrainage geplant ist oder sonstige Kontraindikationen für eine MRT bestehen. Sollen früheste Veränderungen im Rahmen einer chronisch entzündlichen Darmerkrankung erfasst werden, bietet die Dünndarmerotomie nach wie vor die höchste Sensitivität. Voraussetzung ist allerdings, dass ein



Abb. 13 22-jährige Patientin mit Abgeschlagenheit, subfebrilen Temperaturen und Unterbauchschmerzen bei Z. n. laparoskopischer Appendektomie vor 3 Wochen. **a** Die Übersichtsaufnahme im Stand zeigt einen Luft-Flüssigkeitsspiegel im Unterbauch (Pfeilspitzen) sowie Clips nach Appendektomie (Pfeil). **b** Die Abdomen-CT nach positiver rektaler Kontrastierung zeigt einen großen Senkungsabszess (Pfeilspitzen) im Douglas-Raum mit Luft-Flüssigkeitsspiegel, der in der Sonografie (nicht gezeigt) ein gasgefülltes Rectum vorge-täuscht hat.

geübter Untersucher die Enteroklyse durchführt; andernfalls sollte auf ein Schnittbildverfahren zurückgegriffen werden [47].

Neoplasien

Bei der Bildgebung von Raumforderungen im Bereich des Darms kommt dem kolorektalen Karzinom, als häufigster maligner Darmerkrankung, die größte Bedeutung zu. In der überwiegenden Anzahl der Fälle lässt sich der Dickdarm endoskopisch beurteilen; daher sind die Rektos- bzw. Koloskopie die hervorragenden Verfahren in der Vorsorge bzw. der Primärdiagnostik. Die virtuelle Kolonografie hat im Rahmen der Vorsorge ihre Indikation bei den Patienten, welche nicht komplett endoskopisch einsehbar sind (z. B. Sigma elongatum oder nicht passierbare Stenose) oder eine Endoskopie ablehnen (Abb. 7). Auch die klassische Doppelkontrastuntersuchung des Dickdarms, die mit 96,5% eine relativ hohe Sensitivität erreicht [55], ist von den endoskopischen Verfahren fast vollständig verdrängt worden. Aufgrund der knapper werdenden finanziellen Ressourcen könnten aber auch in der Primärdiagnostik des Kolonkarzinoms die projektionsradiografischen Verfahren wieder interessanter werden [55]. So hat eine klassische Doppelkontrastuntersuchung des Dickdarms nach GoÄ einen Wert von 1400 Punkten im Gegensatz zu einer CT mit 3D-Rekonstruktionen, die mit 3400 Punkten zu Buche schlägt, oder einer MRT-Untersuchung, die einen Punktwert von 5400 hat.

Bei bereits diagnostiziertem Dickdarmkrebs hat die CT eine führende Rolle im Rahmen des Stagings bzw. der Ausbreitungsdiagnostik [56]. Eine höhere Sensitivität in der Metastasensuche bietet nur noch die PET, welche in Kombination mit einem CT-Datensatz (PET-CT) noch aussagekräftiger wird [22]. Die MRT spielt in der Diagnostik des Lokalbefundes ähnlich wie die Sonografie eine eher geringe Rolle (z. B. Kontrastmittelunverträglichkeit). Ganz anders sieht es in der Diagnostik von (Leber-)Metastasen aus: Hier haben sowohl Sonografie als auch MRT eine hohe Aussagekraft, welche sogar die Sensitivität der CT übertrifft [57]. Die höchste Sensitivität (94,6%) erreicht wiederum die PET [57].

Mittlerweile gibt es auch die ersten Versuche, das Rektumkarzinom mithilfe diffusionsgewichteter MRT zu diagnostizieren [58], jedoch gibt es noch keine größeren Studien, die die diagnostische Wertigkeit untersucht haben.

Der Dünndarm macht zwar 75% der gesamten Verdauungstraktlänge aus, trotzdem gehen nur etwa 5% der intestinalen Neoplasien von ihm aus. Neben Adenom, Karzinom und Karzinoid sind vor allem Lymphome zu nennen. Da sich Lymphome häufig als zirkuläre Darmwandverdickung manifestieren, ist die Abgrenzung zu einem entzündlichen Prozess von entscheidender Wichtigkeit. Die PET mit ihrer geringen Spezifität ist hierbei keine große Hilfe. Die größte Aussagekraft haben CT und MRT, wobei der Schichtorientierung in zwei unterschiedlichen Ebenen (koronar und transversal) eine besondere Bedeutung zukommt. Auch sonografisch lassen sich die meisten Dünndarmtumoren nachweisen, jedoch ist eine komplette Abbildung des Dünndarms in vielen Fällen nicht möglich. Die Kapselendoskopie könnte sich zu einem wertvollen Verfahren beim Nachweis von insbesondere relativ kleinen Raumforderungen des Dünndarms entwickeln, entsprechende Studie hierzu stehen noch aus.

Schlussfolgerung

Im Laufe der letzten Jahre haben die klassischen Durchleuchtungsuntersuchungen in der Diagnostik intestinaler Erkrankungen zunehmend an Bedeutung verloren. Die meisten Fragestellungen werden heute mit Schnittbildverfahren beantwortet, wobei hier die Sonografie eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt. Entscheidend für die diagnostische Aussagekraft der Untersuchung ist neben der Wahl der Modalität aber auch ein auf die Fragestellung zugeschnittenes Untersuchungsprotokoll.

Literatur

- Mazzeo S, Caramella D, Belcari A et al. Multidetector CT of the small bowel: evaluation after oral hyperhydration with isotonic solution. *Radiol Med (Torino)* 2005; 109: 516–526
- Schmidt S, Felley C, Meuwly JY et al. CT enteroclysis: technique and clinical applications. *Eur Radiol* 2006; 16: 648–660
- Wessling J, Fischbach R, Domagk D et al. Colorectal polyps: Detection with multi-slice CT colonography. *Fortschr Röntgenstr* 2001; 173: 1069–1071
- Wold PB, Fletcher JG, Johnson CD et al. Assessment of Small Bowel Crohn Disease: Noninvasive Peroral CT Enterography Compared with Other Imaging Methods and Endoscopy – Feasibility Study. *Radiology* 2003; 229: 275–281
- Sailer J, Peloschek P, Schober E et al. Diagnostic Value of CT Enteroclysis Compared with Conventional Enteroclysis in Patients with Crohn's Disease. *AJR Am J Roentgenol* 2005; 185: 1575–1581
- Kirkpatrick IDC, Greenberg HM. Evaluating the CT Diagnosis of Clostridium difficile Colitis: Should CT Guide Therapy? *AJR Am J Roentgenol* 2001; 176: 635–639
- Moll R, Mittelkotter U, Reith HB et al. Welche bildgebende Diagnostik bei Verdacht auf eine Sigmadivertikulitis? – Wertigkeit der sonografischen Untersuchungsverfahren (konventionelle B-Bild-Diagnostik in Kombination mit der Hydrokolonsonographie und der farbkodierten Duplexsonographie) im Vergleich mit den etablierten Verfahren wie dem Kolon-Kontrasteinlauf und der Spiral-Computertomographie. *Zentralbl Chir* 2002; 127: 297–301
- Stamm G, Nagel HD. CT-Expo – ein neuartiges Programm zur Dosisevaluierung in der CT. *Fortschr Röntgenstr* 2002; 174: 1570–1576
- Hohl C, Haage P, Krombach GA et al. Diagnostik chronisch entzündlicher Darmerkrankungen bei Kindern und Jugendlichen: MRT mit True-FISP als neuer Goldstandard? *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 856–863
- Klein HM, Klosterhalfen B, Kinzel S et al. CT and MRI of experimentally induced mesenteric ischemia in a porcine model. *J Comput Assist Tomogr* 1996; 20: 254–261
- Schürmann K, Bücker A, Jansen M et al. Selektive CT-Mesenterikographie zur Diagnostik schwerer Darmblutungen unklaren Ursprungs: Vorläufige Ergebnisse. *Fortschr Röntgenstr* 2002; 174: 444–451
- Wingen M, Günther RW. Gastrointestinale Blutung. *Chirurg* 2006; 77: 117–125
- Ko HS, Tesdal K, Dominguez E et al. Blutungslokalisierung mittels 4-Zeilen-Spiral-CT bei Patienten mit klinischen Zeichen einer akuten gastrointestinalen Hämorrhagie. *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 1649–54
- Kirkpatrick ID, Kroeker MA, Greenberg HM. Biphasic CT with mesenteric CT angiography in the evaluation of acute mesenteric ischemia: initial experience. *Radiology* 2003; 229: 91–98
- Wiesner W, Hauser A, Steinbrich W. Accuracy of multidetector row computed tomography for the diagnosis of acute bowel ischemia in a non-selected study population. *Eur Radiol* 2004; 14: 2347–2356
- Vining D, Gelfand DW. Noninvasive colonoscopy using helical CT scanning 3D reconstruction, and virtual reality. 23rd Annual Meeting and Postgraduate Course of the Society of Gastrointestinal Radiologists, Maui, Hawaii 1994
- Andersen K, Blondin D, Beck A et al. Evaluation zwei verschiedener Softwarelösungen zur Auswertung von CT-Kolonographien. *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 1227–1234
- Rogalla P, Lembcke A, Rückert JC et al. Spasmodismus bei CT-Kolonographie: Butyl Scopolamine versus Glucagon. *Radiology* 2005; 236: 184–188

- 19 Cohade C, Osman M, Leal J et al. Direct Comparison of 18F-FDG PET and PET/CT in Patients with Colorectal Carcinoma. *J Nucl Med* 2003; 44: 1797–1803
- 20 Schaeffter T. Molekulare Bildgebung in der Medizin. *Physik Journal* 2005; 4: 29–35
- 21 Antoch G, Kuehl H, Kanja J et al. Dual-Modality PET/CT Scanning with Negative Oral Contrast Agent to Avoid Artifacts: Introduction and Evaluation. *Radiology* 2004; 230: 879–885
- 22 Schoder H, Larson SM, Yeung HWD. PET/CT in Oncology: Integration into Clinical Management of Lymphoma, Melanoma, and Gastrointestinal Malignancies. *J Nucl Med* 2004; 45: 72S–81
- 23 Brix G, Beyer T. PET/CT: Dose-escalated image fusion? *Nuklearmedizin* 2005; 44: S51–S57
- 24 Strunk H, Bucerius J, Jaeger U et al. PET-CT in der Nachsorge des kolorektalen Karzinoms: Einfluss der Bildfusion auf die Staginggenauigkeit. *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 1235–1241
- 25 Kaufman AJ, Tarr RW, Holburn GE et al. Magnetic resonance imaging of ischemic bowel in rabbit model. *Invest Radiol* 1988; 23: 93–97
- 26 Furukawa A, Saotome T, Yamasaki M et al. Cross-sectional imaging in Crohn disease. *Radiographics* 2004; 24: 689–702
- 27 Gourtsoyiannis N, Papanikolaou N, Grammatikakis J et al. MR enteroclysis: technical considerations and clinical applications. *Eur Radiol* 2002; 12: 2651–2658
- 28 Lauenstein TC, Herborn CU, Vogt FM et al. Dunkellumen-MR-Kolonographie: Erste Erfahrungen. *Fortschr Röntgenstr* 2001; 173: 785–789
- 29 Lauenstein TC, Goehde SC, Ruehm SG et al. MR Colonography with Barium-based Fecal Tagging: Initial Clinical Experience. *Radiology* 2002; 223: 248–254
- 30 Spüntrup E, Bücker A, Stuber M et al. MR-Venography Using High Resolution True-FISP. *Fortschr Röntgenstr* 2001; 173: 686–690
- 31 Rieber A, Aschoff A, Nussle K et al. MRI in the diagnosis of small bowel disease: use of positive and negative oral contrast media in combination with enteroclysis. *Eur Radiol* 2000; 10: 1377–1382
- 32 Karantanis A, Papanikolaou N, Kalef-Ezra J et al. Blueberry juice used per os in upper abdominal MR imaging: composition and initial clinical data. *Eur J Radiol* 2000; 10: 909–913
- 33 Holzknicht N, Helmberger T, Ritter C von et al. Dünndarm-MRT mit schnellen MR-Sequenzen bei Morbus Crohn nach Enteroklysmata mit oralen Eisenpartikeln. *Radiologe* 1998; 38: 29–36
- 34 Gourtsoyiannis N, Papanikolaou N, Grammatikakis J et al. MR Imaging of the Small Bowel with a True-FISP Sequence After Enteroclysis with Water Solution. *Invest Radiol* 2000; 35: 707–711
- 35 Schmidt T, Reinshagen M, Brambs H et al. Vergleich von Darmwandsonographie, Enteroklysmata und Magnetresonanztomographie in der Erkennung von Darmwandveränderungen und Komplikationen im Dünndarm bei Patienten mit M. Crohn. *Z Gastroenterol* 2003; 41: 641–648
- 36 Potthast S, Rieber A, Tirpitz C von et al. Ultrasound and magnetic resonance imaging in Crohn's disease: a comparison. *Eur Radiol* 2002; 12: 1416–1422
- 37 Umschaden H, Szolar D, Gasser J et al. Small-bowel disease: comparison of MR enteroclysis images with conventional enteroclysis and surgical findings. *Radiology* 2000; 215: 717–725
- 38 Hohl C, Krombach G, Schmidt T et al. Comparison of True-FISP-MRI with and without i.v.-Contrast-Enhancement in Patients with Inflammatory Bowel Disease (IBD). *Eur Radiol* 2005; 15: 265
- 39 Narin B, Ajaj W, Gohde S et al. Combined small and large bowel MR imaging in patients with Crohn's disease: a feasibility study. *Eur Radiol* 2004; 14: 1535–1542
- 40 Röttgen R, Herzog H, Lopez-Hänninen E et al. Kombination von dynamischem MR-Sellink und MR-Kolonographie zur Diagnostik des Morbus Crohn. *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 1131–1138
- 41 Maccioni F, Colaiacomo MC, Parlanti S. Ulcerative colitis: value of MR imaging. *Abdom Imaging* 2005; 30: 584–592
- 42 Schreyer AG, Rath HC, Kikinis R et al. Comparison of magnetic resonance imaging colonography with conventional colonoscopy for the assessment of intestinal inflammation in patients with inflammatory bowel disease: a feasibility study. *Gut* 2005; 54: 250–256
- 43 Geenen RWF, Hussain SM, Cademartiri F et al. CT and MR Colonography: Scanning Techniques, Postprocessing, and Emphasis on Polyp Detection. *Radiographics* 2004; 24: e18
- 44 Buhmann S, Kirchhoff C, Wielage C et al. Funktionelle Cine-MRT des Kolon: Darstellung und Quantifizierung der Darmmotilität. *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 35–40
- 45 Lauenstein TC, Ajaj W, Narin B et al. MR imaging of apparent small-bowel perfusion for diagnosing mesenteric ischemia: feasibility study. *Radiology* 2005; 234: 569–575
- 46 Hohl C, Haage P, Schmidt T et al. Functional MRI of the Bowel: Detection of Perfusion Defects and Changes in the Water Diffusion. *ISMRM 14th SCIENTIFIC MEETING*; 2006; Seattle, Washington 2006: 50
- 47 Maglinte D. Small bowel imaging – a rapidly changing field and a challenge to radiology. *European Radiology* 2006; 16: 967–971
- 48 Iddan G, Meron G, Glukhovskiy A et al. Wireless capsule endoscopy. *Nature* 2000; 405: 417
- 49 Lewis BS, Eisen GM, Friedman S. A pooled analysis to evaluate results of capsule endoscopy trials. *Endoscopy* 2005; 37: 960–965
- 50 Chou CK. CT manifestations of bowel ischemia. *AJR Am J Roentgenol* 2002; 178: 87–91
- 51 Buckley O, Geoghegan T, O'Riordain DS et al. Computed tomography in the imaging of colonic diverticulitis. *Clin Radiol* 2004; 59: 977–983
- 52 Ambrosetti P, Becker C, Terrier F. Colonic diverticulitis: impact of imaging on surgical management – a prospective study of 542 patients. *European Radiology* 2002; 12: 1145–1149
- 53 Ferstl FJ, Obert R. Computertomographie bei akuter rechtsseitiger Kolondivertikulitis. *Fortschr Röntgenstr* 2004; 176: 1257–1264
- 54 Ferstl FJ, Obert R. Computertomographie bei akuter Dünndarmdivertikulitis. *Fortschr Röntgenstr* 2004; 176: 246–251
- 55 Gillespie J, Kelly B. Double contrast barium enema and colorectal carcinoma: sensitivity and potential role in screening. *Ulster Medical Journal* 2001; 70: 15–18
- 56 Vogl TJ, Pegios W, Bechstein WO et al. Radiologische Diagnostik des Rektumkarzinoms: Nachsorge und Rezidivdiagnostik. *Fortschr Röntgenstr* 2006; 178: 970–978
- 57 Bipat S, van Leeuwen MS, Comans EFL et al. Colorectal Liver Metastases: CT, MR Imaging, and PET for Diagnosis – Meta-analysis. *Radiology* 2005; 237: 123–131
- 58 Zhang XP, Sun YS, Tang L et al. How to select b value of Diffusion-weighted MR Imaging for detecting primary rectal cancer. *ISMRM 14th SCIENTIFIC MEETING*; 2006; Seattle, WA 2006: 2234
- 59 Rockey DC, Koch J, Yee J et al. Prospective comparison of air-contrast barium enema and colonoscopy in patients with fecal occult blood: a pilot study. *Gastrointest Endosc* 2004; 60: 953–958
- 60 Röttgen R, Schröder R, Lorenz M et al. CT-Kolonographie mit dem 16-Zeilen-Detektor zur Diagnostik kolorektaler Neoplasien und entzündlicher Kolonerkrankungen. *Fortschr Röntgenstr* 2003; 175: 1384–1391
- 61 Gryspeerdt S, Lefere P, Herman M et al. CT colonography with fecal tagging after incomplete colonoscopy. *Eur Radiol* 2005; 15: 1192–1202
- 62 Lauenstein TC, Ajaj W, Kuehle CA. Virtual Colonoscopy by MRI: State-of-the-Art and Future Directions. *Gastrointest Endoscopy Clip N Am* 2005; 15: 797–811