

H. Bitterling · C. Rock · M. Reiser

Institut für Klinische Radiologie, Innenstadt, Klinikum der Universität München

# Die Computertomographie in der Diagnostik entzündlicher Darmerkrankungen: Methodik der MSCT und klinische Ergebnisse

## Zusammenfassung

**Zielsetzung.** Die vorliegende Arbeit betrachtet die Aussagekraft der Mehrschichtspiral-CT (MSCT) für die Diagnostik entzündlicher Darmerkrankungen.

**Methodik.** Die Kontrastierung erfolgt an Dünn- und Dickdarm kombiniert mit intravenösem Kontrast (Tripel-Kontrast-CT). Die Dünndarmfüllung kann mittels Jejunalsonde (Sellink-CT) oder oral erfolgen, zusätzlich erfolgt eine medikamentöse Relaxation. Die Darmkontrastierung kann mit positivem hypodensem oder negativem hypodensem Kontrastmittel (KM) erfolgen.

**Ergebnisse.** Die MSCT gestattet die Dünnschichtuntersuchung des gesamten Abdomens, MPR- und MIP-Dünnschichtrekonstruktionen hoher Qualität werden ermöglicht. Das Sellink-CT ermöglicht aufgrund überlegener Darmdistension die bessere Beurteilbarkeit von Stenosen oder Darmwandveränderungen. Aufgrund sicherer Differenzierung zwischen Intra- und Extraluminalraum eignet sich positives KM zum Nachweis von Abszessen, Fisteln, Konglomerattumoren und zur OP-Vorbereitung. Negatives KM erleichtert die quantitative Auswertung von Darmwandverdickung und -enhancement sowie den Nachweis einer gastrointestinalen Blutung.

**Diskussion.** In der Dünndarmdiagnostik zeigt die CT deutliche Vorteile gegenüber dem konventionellen Enteroklysma bei der Diagnostik mesenterialer und extraintestinaler Komplikationen, zusätzlich wird der Kolonrahmen mit erfasst. Die Strahlendosis liegt bei der CT niedriger (7,8–13,3 mSv) als

beim Enteroklysma (13,99±7,57 mSv). Die CT bietet sich als Alternative bei undurchführbarer Koloskopie an, in der Notfalldiagnostik (Divertikulitis) hat sie sich bereits etabliert.

## Schlüsselwörter

Sellink-CT · Darmkontrastierung · Morbus Crohn · Colitis ulcerosa · Divertikulitis

Die konventionelle radiologische Diagnostik des Magen-Darm-Trakts wurde in den letzten Jahren weitgehend durch endoskopische Methoden verdrängt. Allein der Dünndarm ist aufgrund seiner Anatomie der Endoskopie kaum zugänglich, sodass die bildgebende Diagnostik des Dünndarms eine Domäne der Radiologie geblieben ist. Die Doppelkontrastuntersuchung des Dünndarms nach Sellink („Enteroklysma“) gilt bis heute als Methode der Wahl in der Diagnostik der chronisch entzündlichen Dünndarmerkrankungen (CED). Erste Berichte über die Anwendung der Computertomographie in der Diagnostik des Morbus Crohn aus den frühen 80er Jahren belegen deren Wert in der Erkennung von Komplikationen im Krankheitsverlauf [6]. In einer Untersuchung aus dem Jahre 1987 wurde jedoch festgestellt, dass die CT der Bariumuntersuchung bei der Beur-

teilung der Ausdehnung von CED deutlich unterlegen ist [18]. Einschränkungen der Bildqualität waren zu dieser Zeit v. a. durch die schlechtere Ortsauflösung und die diskontinuierliche Abtastung des Untersuchungsvolumens bedingt [14].

Die Fortschritte der CT-Technik bis hin zu der heute verfügbaren Mehrschicht-Spiral-CT haben die bisher geltenden Limitationen der Computertomographie überwunden, sodass eine breitere Anwendung in der Dünndarmdiagnostik sinnvoll erscheint.

## Untersuchungstechnik

### Kontrastmittelfüllung des Darmlumens

Für die Beurteilung der Beschaffenheit der Schleimhaut und der Wanddicke ist die vollständige Distension des Dünndarms entscheidend wichtig. Die zusätzliche medikamentöse Relaxation (z. B. mit Buscopan®) ermöglicht den Nachweis von Stenosen oder Strikturen und schließt funktionelle Verengungen durch Darmperistaltik aus. Außerdem

© Springer-Verlag 2003

Harro Bitterling  
Institut für Klinische Radiologie,  
Innenstadt, Klinikum der Universität,  
Ziemssenstraße 1, 80336 München  
E-Mail:  
harro.bitterling@radin.med.uni-muenchen.de

## Computed tomography in the diagnosis of inflammatory bowel disease – methodics of MSCT and clinical results

### Abstract

**Purpose.** This paper discusses the diagnostic yield of multislice computed tomography (MSCT) in inflammatory bowel disease.

**Methods.** Contrast media are administered intraluminally (colon, small intestine) and intravenously (triple contrast CT). Filling of small bowel is achieved by means of jejunal tube (“Sellink CT”) or via the oral route. Pharmacological relaxation of the intestine decreases motion artifact. Intraluminal contrast media consist of either hyperdense, “positive” or hypodense, “negative” liquids.

**Results.** Thin-slice MSCT of the entire abdomen allows high-quality post processing (MPR, thin-slice MIP). Due to superior distension, Sellink CT improves estimation of stenosis or changes in thickness and contrast of bowel wall. Positive contrast is superior in the detection and preoperative localization of abscess, fistula or conglomerate tumour, because it accurately differentiates between intra- and extraluminal structures. However, negative contrast facilitates quantitative evaluation of bowel wall thickening or enhancement and demonstrates gastrointestinal bleeding.

**Conclusion.** MSCT of the small intestine is superior to conventional enteroclysis, especially in the diagnosis of mesenterial or other extraintestinal disease. As a side effect, the colon is assessed in the same examination. Radiation dose is less in MSCT (7.8–13.3 mSv) than in conventional fluoroscopy (13.99±7.57 mSv). MSCT can be performed as an alternative or adjunct to colonoscopy, if endoscopic access is restricted. It is already the imaging modality of choice in acute diverticulitis.

### Keywords

Sellink CT · Bowel contrast · Crohn’s disease · Colitis ulcerosa · Diverticulitis

## Entzündliche Darmerkrankungen

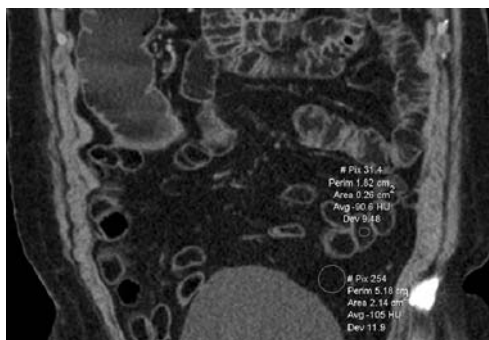


Abb. 1 ◀ Koronare MPR eines Sellink-CTs (Tripelkontrast) mit Paraffin-Methylcellulose: Normalbefund mit intra- und extraluminal annähernd identischen Hounsfield-Werten um –100 HU; gute Detailabgrenzbarkeit der Darmwand

werden durch die Darmrelaxation Bewegungsartefakte reduziert.

### Sellink-CT

Die CT-Untersuchung des Darms erfordert eine Darmentleerung mit Nahrungskarenz ab 18 h vor dem Untersuchungstermin. Zur Darmfüllung wird zunächst eine Jejunalsonde (8 F) transnasal und fluoroskopisch assistiert gelegt. Dabei sollte die Sondenspitze, wie beim konventionellen Enteroklysma, distal des Treitz-Bandes platziert werden, um einen Reflux in den Magen zu verhindern. Eine leichte Hochlagerung des Oberkörpers ist hilfreich. Die Kontrastmittelapplikation erfolgt mittels Pumpe bei einer Infusionsgeschwindigkeit von 40–80 ml/min. Sie muss bei Beschwerden ggf. reduziert werden. Insbesondere Patienten mit Darmstrikturen tolerieren oft nur niedrige Flussraten. Während der Applikation kann die Kontrastmittelpassage unter Durchleuchtung oder (bei negativer Kontrastierung) mit Ultraschall kontrolliert werden. Die medikamentöse Darmrelaxation sollte erst unmittelbar vor dem Ende der Instillation erfolgen. Da meist erst anschließend der Transport ins CT und die Lagerung des

Patienten erfolgen, hat sich eine fraktionierte Buscopangabe bewährt: 20 mg unmittelbar vor dem Ende der Applikation des Distensionsmediums, weitere 20 mg erst auf dem CT-Tisch direkt vor Untersuchungsbeginn.

Bei der pumpenunterstützten Füllung wird eine gleichmäßige Darmdistension erreicht. Zudem werden spezielle Kontrastmittellösungen, wie z. B. Paraffin-Methylcellulose, die eine ölige Konsistenz besitzt, bei der Verabreichung über eine Sonde besser toleriert als bei oraler Aufnahme (Abb. 1).

### Orale Kontrastierung

Grundsätzlich kann das Kontrastmittel auch oral eingenommen werden. Da auf die transnasale Einbringung einer Dünndarmsonde verzichtet werden kann, empfinden Patienten diese Vorgehensweise als weniger belastend. Dieser Vorteil wird jedoch mit einer häufig diskontinuierlichen und teilweise unvollständigen Darmdistension erkauft. Wenn große Volumina (1,5–2 l) gleichmäßig getrunken werden, gelingt es auch bei oraler Kontrastmittelapplikation, eine adäquate Distension zu erreichen. Mittlerweile liegen auch Berichte

Tabelle 1

### Orale Kontrastmittel: Zusammensetzung

	Kontrastverhalten	Zusammensetzung (pro 1000 ml)
<b>Gastrografin® 3%</b>	Positiv, max. 300 HU	30 ml Gastrografin®
<b>Methylcellulose</b>	Negativ, 0–10 HU	Ca. 10 g Methylhydroxyethylcellulose quellen lassen!
<b>Mannitlösung</b>	Negativ, 0–10 HU	25 g Mannit
<b>Paraffinmethylcellulose (Apotheke!)</b>	Negativ, ca. –100 HU	9 g Methylhydroxypropylcellulose, 250 g dickflüssiges Paraffin, 0,2 g Saccharin-Natrium, 10 g Orangentrockenaroma, Konservierung mit 0,1%iger Benzoesäure

über die Verwendung von isotonen, balancierten Lösungen zur oralen Applikation vor, mit denen eine ähnlich gute Distension wie bei der Sellink-Technik erreicht werden soll [16]. Aufgrund unserer eigenen Erfahrungen gehen wir aber weiter davon aus, dass mit intrajejunaler Instillation des Kontrastmittels die besten Ergebnisse zu erzielen sind.

Eine zusätzliche rektale Kontrastmittelfüllung (300–500 ml über Darmrohr, vorher digitale Untersuchung!) ermöglicht die Beurteilung des gesamten Darms im gleichen Untersuchungsgang. Sie ist in jedem Falle anzuraten, um bei unerwarteten Kolonbefunden eine neuerliche Untersuchung mit entsprechender Strahlenbelastung zu vermeiden („Tripelkontrastuntersuchung“ mit oraler, rektaler und i.v.-Kontrastierung).

### Darmkontrastierung: Kontrastmittelwahl

Zur detailgenauen Beurteilung der Darmwand muss ein ausreichender Dichtegradient zwischen Darmlumen und Wand bestehen. Sowohl mit hypodensem „negativem“ Kontrastmittel (–100 bis +10 HU) als auch mit hyperdensem „positivem“ Kontrastmittel (max. 300 HU) kann ein ausreichender Dichteunterschied zur Darmwand (40–80 HU) erreicht werden. Beide Arten der Kontrastierung sind damit grundsätzlich für die Darmdiagnostik geeignet, jedoch ergeben sich spezifische Unterschiede in der Beurteilbarkeit bestimmter intestinaler und extraintestinaler Pathologien, die schon vor der Untersuchung bedacht werden müssen.

Die rektale Füllung sollte immer mit dem gleichen Kontrastmittel wie die ora-

le erfolgen, um Durchmischungen mit inhomogener Kontrastierung im Bereich des Zökums und terminalen Ileums zu vermeiden (Tabelle 1) (Abb. 2).

### Negative Kontrastmittel

Negative Kontrastmittel können fettäquivalente Dichtewerte um –100 HU (Paraffin-Methylcellulose oder Ölemulsionen) oder wasseräquivalente Dichtewerte zwischen 0 und 10 HU (Wasser, Methylcellulose, Mannitlösung u. a.) aufweisen. Aufgrund des wesentlich höheren Dichtegradients zur Darmwand lassen sich mit den fetthaltigen Substanzen bessere Ergebnisse bei der Darstellung der Darmwand erzielen, sie müssen jedoch immer über eine Dünndarmsonde appliziert werden. Außerdem sind sie bisher nicht kommerziell erhältlich und müssen auf Anforderung in der Apotheke hergestellt werden.

Aufgrund ihrer relativ zur Darmwand niedrigen Dichte eignen sich negative Kontrastmittel besonders gut zum Nachweis von pathologisch erhöhtem Enhancement einzelner Darmwandabschnitte. Aufgrund ähnlicher Dichtewerte inner- und außerhalb der Darmwand kann deren Dicke gut bestimmt werden. Theoretisch lässt sich bei gastrointestinalen Blutungen auch ein Austritt frischen, hyperdensen Blutes in das Darmlumen erkennen.

Ein grundsätzlicher Nachteil der negativen Darmkontrastierung besteht in der schwierigen Differenzierbarkeit zwischen hypodens kontrastiertem Darmlumen und ebenfalls hypodensen, extraintestinalen Läsionen wie Abszessen oder Flüssigkeitsverhalten. Dünnlumige Fistelgänge sind nur schwer zu

identifizieren. Bei der teilweise außerordentlich komplexen Anatomie nach Voroperationen wird diese Problematik noch verschärft.

### Positive Kontrastmittel

Zur positiven Darmkontrastierung werden in der Regel verdünnte, jodhaltige Kontrastmittel verwendet (z. B. wässrige Gastrografin®-Lösung 3%), Bariumsuspensionen in entsprechender Verdünnung sind ebenfalls geeignet. Im Darmlumen werden damit Schwächungswerte von maximal 300 HU erreicht, wodurch sich ebenfalls ein deutlicher Dichtegradient zur Darmwand ergibt.

Durch die hyperdense Kontrastierung des Darmlumens kann man (hypodense) Flüssigkeitsverhalte oder Abszesse sicher vom Darmlumen abgrenzen. Tumoröse Raumforderungen oder vergrößerte Lymphknoten können leichter als extraintestinal gelegene bestimmt werden. Insbesondere werden auch kleinere Fistelgänge demarkiert und als hyperdense, lineare Streifen dargestellt, wenn auch nur kleinste Kontrastmittelmengen in den Fistelgang eintreten. Liegt eine komplexe anatomische Situation, wie z. B. nach mehreren Voroperationen vor, kann der Verlauf der Darmschlingen bei Verwendung positiven Kontrastmittels übersichtlich dargestellt werden. Dies gilt auch, wenn Konglomerattumoren vorliegen.

Dagegen können durch das hyperdense Kontrastmittel kleinere Läsionen der Darmwand, z. B. Frühstadien von Tumoren, maskiert werden. Der Austritt von Blut, das durch die i.v.-Kontrastmittelapplikation eine höhere Dichte besitzt, ist bei einer gastrointestinalen Blu-

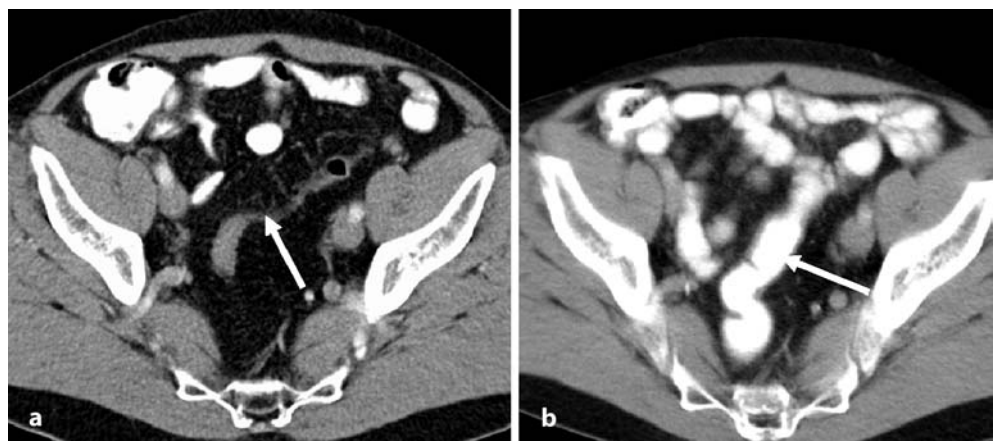


Abb. 2a,b ► Axiale CT-Schichten nach oraler Kontrastierung mit Gastrografin® 3%. a Ohne rektale KM-Füllung bzw. b mit rektaler KM-Füllung mit Gastrografin® 3%. Beachte die erheblich bessere Lumen- und Wanddarstellung des Colon sigmoideum in (b) (Pfeile)

Tabelle 2

## Orale Kontrastmittel: Indikation, Vorteile, Nachteile

Kontrast	Indikation	Vorteile	Nachteile
<b>Positiv</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OP-Vorbereitung, Indikationsstellung</li> <li>• Verdacht auf Abszess</li> <li>• Verdacht auf Fistel</li> <li>• Konglomerattumor</li> <li>• Nach Vor-OPs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypodense Verhalte/Abszesse sicher vom Darmlumen abgrenzbar</li> <li>• Kleine Fistelgänge werden demaskiert, Darstellung als lineare, hyperdense Streifen</li> <li>• Bei Zustand nach Vor-OPs oder bei Konglomerattumoren Verfolgung der Darmkontinuität erleichtert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleinere Darmwandläsionen können maskiert werden</li> <li>• Austritt frischen, hyperdensen Blutes ins Darmlumen nicht erkennbar (GI-Blutung)</li> <li>• Überstrahlungseffekte: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Messen der Darmwanddicke erschwert;</li> <li>– Nachweis von Segmenten mit pathologischem Enhancement evtl. erschwert</li> </ul> </li> </ul>
<b>Negativ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlaufskontrolle</li> <li>• Quantitative Auswertung von - <ul style="list-style-type: none"> <li>– Darm wandverdickung,</li> <li>– KM-Enhancement</li> </ul> </li> <li>• GI-Blutung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherer Nachweis von erhöhtem KM-Enhancement der Darmwand</li> <li>• Sichere Bestimmung der Darmwanddicke</li> <li>• GI-Blutung mit Austritt frischen, hyperdensen Blutes ins Darmlumen erkennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierige Differenzierbarkeit zwischen Darmlumen und hypodensen, extraintestinalen Läsionen wie Abszessen oder Verhalten</li> <li>• Dünnlumige Fistelgänge nur schwer erkennbar</li> </ul>

tung nicht erkennbar, wenn das Darmlumen mit positivem Kontrastmittel gefüllt ist. Die Vermessung der Dicke der Darmwand sowie der Nachweis von Segmenten mit pathologischem Enhancement kann durch Überstrahlungseffekte der hyperdensen Darmfüllung erschwert sein, ist jedoch nicht unmöglich (Tabelle 2).

### Intravenöse Kontrastierung

Die intravenöse Injektion von Kontrastmittel erlaubt den Nachweis eines vermehrten Enhancements der Darmwand bei entzündlichen Darmerkrankungen. Auch Abszessmembrane und Tumoren zeigen eine vermehrte Anreicherung von Kontrastmittel. Ein Protokoll wie beim „Standardabdomen“ (z. B. 120 ml Solustrast® 300 o. ä.; 2,5 ml/s; 70 s Startverzögerung) ist in der Regel ausreichend.

### Technische Parameter

Mit der Mehrschicht-Spiral-Technik (MSCT) können die Untersuchungszeiten erheblich verkürzt werden. So ist es möglich geworden, auch große Untersuchungsvolumina (gesamtes Abdomen) in kurzer Zeit (innerhalb einer Atemanhaltephase) vollständig und dünn-schichtig zu erfassen. Darüber hinaus

werden durch die schnelle Datenakquisition Bewegungsartefakte reduziert.

### Scanparameter

Die im Folgenden dargestellten Parameter beruhen auf Erfahrungen in unserem Institut und stellen lediglich Empfehlungen dar. Sie wurden an den mit 4 Detektorzeilen ausgestatteten MSCT-Scannern der Firmen Siemens und Philips erarbeitet und gelten für das „Siemens Somatom Volume Zoom“ und das „Philips Mx 8000 Quad“.

Mit einer Kollimation von 4x1 mm wird eine nahezu isotrope Voxelgröße erreicht. Dadurch werden geeignete Voraussetzungen für die Bildnachverarbeitung geschaffen. Mit schneller Röhrenrotationszeit (0,5 s), kombiniert mit einem hohen Pitchfaktor (Siemens: Tischvorschub 7 mm, Philips: Pitch 1,75) lässt sich in der Regel das gesamte Abdomen in einer Atemanhaltephase untersuchen: Rechnerisch ergibt sich bei einer Untersuchungszeit von 30 s eine Scanlänge von 420 mm (60 Rotationen mal 7 mm Vorschub = 420 mm).

Bei Mehrschichtgeräten wird das Strom-Zeit-Produkt (mAs) immer bezogen auf eine einzelne Schicht angegeben bzw. gewählt. Dadurch wird der reale, „elektrische“ Röhrenstrom angepasst, wenn andere Parameter wie Pitchfaktor

oder Rotationszeit variiert werden. Daraus resultiert bei Erhöhung des Pitch oder Verkürzung der Rotationszeit eine automatische Hochregelung des Röhrenstroms, sodass die Photonendichte in der Einzelschicht gleich bleibt. Dieser Mechanismus ist bei der Dünnschichtuntersuchung des Abdomens von besonderer Bedeutung, da aufgrund der großen Scanlänge einerseits, der zeitlichen Begrenzung (Atemanhaltephase!) andererseits, zwangsläufig im oberen Grenzbereich der Röhrenleistung gearbeitet wird. So liegt bei Verwendung der oben beschriebenen Parameter (Pitch 1,75; Rotationszeit 0,5 s) mit Wahl einer (bei 120 kV) scheinbar niedrigen Leistung von 140 mAs/Schicht bereits ein „elektrischer“ Röhrenstrom von 476 mA vor! Damit wird bei beiden hier erwähnten Geräten bereits der obere Grenzwert des möglichen Röhrenstroms erreicht.

Daher müssen die Scanparameter für jeden Patienten individuell optimiert werden und die Untersuchungszeit und die Leistung nach folgenden Regeln ausbalanciert werden: Ein erhöhter Dosisbedarf gegenüber den oben beschriebenen Parametern (Adipositas!) kann nur durch eine Reduktion des Pitch oder eine Erhöhung der Rotationszeit erreicht werden. Beide Optionen verlängern jedoch die Scanzeit, sodass eher Atemartefakte auftreten. Diese können jedoch durch gute Patientenführung verringert werden (vorherige Hyperventilation, evtl. ein kontrollierter, flacher Atemzug im letzten Scandrittel). Die Scanrichtung sollte daher immer von kranial nach kaudal verlaufen, um Atemartefakte in die weniger atemverschieblichen, kaudalen Bereiche zu verlagern.

Andererseits kann nur weniger Dosis appliziert werden, wenn bei mangelnder Patientencompliance oder Kurzatmigkeit die Scanzeit verkürzt werden muss.

In den meisten Fällen wird mit schneller Rotationszeit (0,5 s) und einem Pitch von 1,5 (Philips) bzw. Vorschub von 6 mm (Siemens) ein sinnvoller Kompromiss zwischen der Untersuchungszeit und möglicher Dosis erreicht.

### Strahlendosis

Die effektive Strahlendosis bei der Dünnschicht-CT des Abdomens variiert abhängig vom Scannertyp und den in-



Abb. 3 ◀ Patientin mit Morbus Crohn, koronare MPR eines Tripelkontrast-CTs mit Mannit oral und rektaler Wasserfüllung. Befall im Bereich des terminalen Ileums mit vermehrtem Kontrastmittel-enhancement der Darmwand, Darmwandverdickung und Imbibierung des umliegenden Fettgewebes

dividuell gewählten Scanparametern. Die im Folgenden angegebenen Werte dienen daher nur als ungefähre Anhaltspunkte. Sie wurden mit dem Programm „CT-EXPO“, Version 1.2 [21] ermittelt. Folgende Parameter wurden der Berechnung zugrundegelegt: Untersuchung von der Zwerchfellkuppe bis zum Symphysenunterrand, entsprechend einer Scanlänge von 41 cm (Frau) bzw. 43 cm (Mann); Kollimation 4×1 mm; 120 kV; 140 mAs/Schicht; Rotationszeit 0,5 s; Pitch 1,5 bzw. Vorschub 6 mm; beim Siemens „Volume Zoom“ Untersuchung ohne „Care-dose-Funktion“.

Es ergibt sich bei der Frau eine effektive Dosisbelastung von 13,3 mSv (Siemens) bzw. 10,8 mSv (Philips), beim Mann eine Dosis von 9,6 mSv (Siemens) bzw. 7,8 mSv (Philips). Die CT-Dosis-Indizes ( $CTDI_{w, eff}$ ) betragen 15,3 mGy (Siemens) bzw. 12,3 mGy (Philips).

Beim konventionellen Enteroklysma beträgt die effektive Dosisbelastung nach einer Untersuchung von Ruiz-Cruces et al.  $13,99 \pm 7,57$  mSv [20]. Für den Kolonkontrasteinlauf werden  $11,69 \pm 5,28$  mSv angegeben [20]. Dabei wurde keine geschlechtsspezifische Gewichtung vorgenommen. Erwähnenswert ist jeweils die große Standardabweichung, die die starke Untersucherabhängigkeit der Dosisbelastung widerspiegelt. Insgesamt ist jedoch bei der CT von einer niedrigeren Dosisbelastung als beim konventionellen Enteroklysma oder Kolonkontrasteinlauf auszugehen.

### Nachverarbeitung

Durch die Nachverarbeitung der Daten kann sowohl die Zahl der axialen Bilder sinnvoll reduziert (Eindämmen der „Bilderflut“) als auch die Befundinterpretation erleichtert werden. Grundlage der Bildnachverarbeitung stellen die multiplanaren Rekonstruktionen (MPR) dar. Ergänzend empfehlen sich MIP-Dünnschicht-Rekonstruktionen (Maximum intensity projection). Beide Verfahren

können an modernen Nachverarbeitungskonsolen auch durch Assistenzpersonal mit wenig Zeitaufwand erstellt werden und sind dadurch leicht in die klinische Routine zu integrieren.

Die räumliche Darstellung mit Volume rendering sei hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Sie ist relativ zeitaufwändig und erbringt meist wenig Zusatzinformationen. Sie eignet sich aber hervorragend zur anschaulichen Präsentation von Einzelbefunden wie Stenosen, Strikturen oder segmentalen Dilatationen.

### Bildrekonstruktion

Die Dünnschichtuntersuchung des gesamten Abdomens ergibt eine große Zahl an Einzelbildern, was bei konventionellem Filmausdruck überhaupt nicht und bei PACS-Nutzung nur eingeschränkt praktikabel ist. Um dennoch die axialen Schichten sinnvoll zur Darstellung zu bringen, können die primären 1-mm-Bilder zu dickeren Schichten fusioniert werden. Unter Verzicht auf eine überlappende Rekonstruktion wird die Bildanzahl damit erheblich verringert. Als positiver Nebeneffekt wird in den fusionierten Bildern das Rauschen deutlich niedriger, sodass letzten Endes auch durch Wahl der Rekonstruktionsparameter der Dosisbedarf reduziert werden kann.



Abb. 4a,b ▲ Patientin mit Morbus Crohn, koronare MPR eines Sellink-CTs (Tripelkontrast mit Gastrografin® 3%). a Bauhin-Klappe mit leicht verdickter Darmwand des terminalen Ileums (Pfeil), b stenotisiertes Segment im proximalen Colon ascendens (Pfeil)

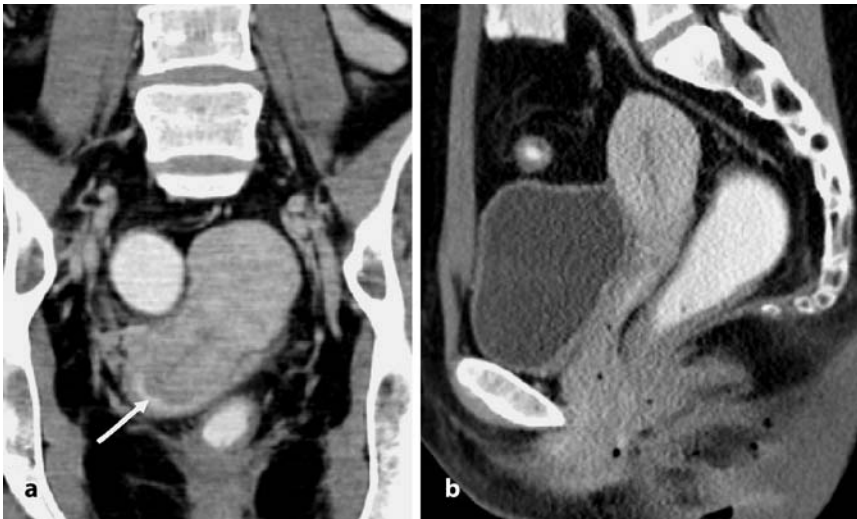


Abb. 5a,b ▲ Gleiche Patientin wie in Abb. 4, indirekter Nachweis einer Anovaginalfistel. a Koronare MPR: nach rektaler Gastrografinfüllung KM-umspülte Portio vaginalis der Cervix uteri (Pfeilspitze), b sagittale MPR, intakte Fettschicht zwischen Rektum und Vagina, damit Ausschluss einer rektovaginalen Fistel, entzündlicher Konglomerattumor im Bereich des Analkanals mit einzelnen Gaseinschlüssen

Die primären Dunnschichtbilder dienen als Basis für die nachfolgenden Rekonstruktionen. Sie sollten dafür mit vollständiger Überlappung berechnet werden (z. B. 1,25 mm eff. Schichtdicke; 0,7 mm Inkrement). Durch Verwendung eines weichen Faltungskerns wird die Qualität von Rekonstruktionen weiter verbessert. Die dünnschichtige Darstellung ist für die Diagnosefindung praktisch nicht von Bedeutung, durch die Vielzahl an Bildern kann aber der Arbeitsablauf einer Abteilung empfindlich gestört werden (lange Archivierungszeiten, je nach PACS-System lange Ladezeiten, hohe Kosten für Langzeitarchivierung). In unserem Institut wird daher auf die Archivierung der Dünnschichtrekonstruktionen verzichtet.

### Multiplanare Rekonstruktionen (MPR)

Aus dem Datensatz mit 1-mm-Schichten können multiplanare Rekonstruktionen in jeder beliebigen Ebene erzeugt werden. Aufgrund der isotropen voxelgröße sind sie den axialen Schichten in der Ortsauflösung ebenbürtig. Durch Wahl einer größeren Rekonstruktionsschichtdicke (5 mm) entsprechend der Schichtfusion in der axialen Ebene wird das Bildrauschen auch in der MPR deutlich reduziert. Atemartefakte können die Beurteilung deutlich erschweren. Sie betreffen jedoch immer die gesamte (axiale) Primärschicht und werden daher in der MPR als Wellenartefakt dargestellt,

das die gesamte Bildbreite in der ursprünglichen Axialebene durchzieht.

Die multiplanaren Rekonstruktionen vermitteln eine übersichtliche anatomische Orientierung. Bereits wenige koronare Rekonstruktionen geben einen guten Überblick über den gesamten Magen-Darm-Trakt. Die Mesenterialgefäße werden aufgrund ihres nahezu koronaren Verlaufs ebenfalls übersichtlich dargestellt. Die koronare MPR sollte daher routinemäßig erstellt werden. Weitere Ebenen können entsprechend den jeweiligen Befunden ergänzt werden (z. B. sagittal bei Vorliegen einer enterokutanen Fistel oder eines künstlichen Darmausgangs).

### MIP-Dünnschichtrekonstruktionen

Sie werden ebenfalls aus dem 1-mm-Datensatz errechnet. Es können Bildserien in jeder Ebene erzeugt werden. Dabei wird innerhalb eines definierten Volumens (der Schicht) von übereinanderliegenden Voxeln nur dasjenige mit dem höchsten Dichtewert dargestellt, sodass in einem größeren Bildvolumen kleine, stark kontrastierte Strukturen betont zur Darstellung kommen. Als Nebeneffekt wird das Bildrauschen fast vollständig eliminiert. MIP-Dünnschichtrekonstruktionen werden mit einer relativ großen Schichtdicke erstellt (10–20 mm). Dabei sollte die Berechnung mit mindestens 50% Überlappung erfolgen. Grundsätz-

lich ist zu beachten, dass sie einen manipulierten Bilddatensatz darstellen, auf dem diskrete Befunde, wie eine Fettgeweibeimbibierung oder unterschiedlich starke Kontrastmittelaufnahme, verfälscht dargestellt oder vollständig eliminiert werden können. Die Befundung darf daher nie ausschließlich anhand der MIP-Rekonstruktionen erstellt werden.

Aufgrund der Betonung von Bildkontrast und Darstellung eines größeren Volumens pro Schicht eignen sich die MIPs ausgezeichnet zur Darstellung der peripheren Mesenterialgefäße, mesenterialer Lymphknoten sowie des positiv kontrastierten Darms. Daher sollte eine koronare MIP-Rekonstruktion ebenfalls routinemäßig erstellt werden.

## CT-Befunde bei entzündlichen Darmerkrankungen

### Morbus Crohn

Beim Morbus Crohn sind mit der CT Veränderungen der Darmwand und des Mesenteriums sowie extraintestinale Komplikationen nachweisbar (Abb. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Die frühesten Veränderungen der Darmschleimhaut beim Morbus Crohn, nämlich das Wand- und Faltenödem und eine lymphofollikuläre Hyperplasie, sind mit der CT gar nicht, begleitende aphthoide Ulzerationen nur selten erfassbar [2]. In der folgenden, akuten Phase ist fast immer eine Verdickung der Darmwand auf maximal 1–2 cm nachzuweisen [19]. Dabei zeigt sich häufig ein stark vermehrtes Kontrastmittelenhancement der befallenen Segmente mit Dichtewerten von 75–150 HU [5]. Durch die ödematöse Verdickung der Submukosa und der gleichzeitig vermehrten Kontrastierung von Mukosa, Muscularis propria und Serosa können kokarden- oder schießscheibenartige Bilder entstehen. Gore et al. nehmen an, dass solch ein Schichtungsphänomen für eine akute Entzündung spricht, die reversibel ist. Zeigt dagegen ein entzündlich verdicktes Darmsegment eine homogen vermehrte Kontrastierung, so sei dies als Zeichen der Fibrosierung bzw. Vernarbung zu werten, die nicht mehr reversibel ist [9]. Del Campo et al. fanden bei Patienten mit Morbus Crohn ein typisches Schießscheibenbild sowohl im floriden Entzündungsstadium als auch während Phasen der Remission [5].

Die computertomographisch nachweisbaren Veränderungen des Mesenteriums können wertvolle differenzialdiagnostische Gesichtspunkte ergeben. Am häufigsten bedingt eine fibrolipomatöse Proliferation („creeping fat“) ein Auseinanderweichen von Darmschlingen. Durch ödematös-entzündliche Imbibierung ist die Dichte des Fettgewebes oft auf 20–60 HU erhöht [9]. Eine vermehrte Vaskularisierung des Mesenteriums mit dilatierten und prominenten Vasa recta und mit einem vermehrten Abstand der Gefäße voneinander wird als für den Morbus Crohn charakteristisches „comb sign“ beschrieben [17]. Beim Morbus Crohn liegt häufig eine ausgedehnte mesenteriale Lymphadenopathie vor, wobei zahlreiche und deutlich vergrößerte Lymphknoten beobachtet werden. Dieses Bild kann durchaus dem eines malignen Lymphoms oder Lymphknotenmetastasen ähneln. Diese differenzialdiagnostischen Alternativen sind daher zu berücksichtigen, zumal beim Morbus Crohn eine erhöhte Inzidenz eines kolorektalen Karzinoms bekannt ist [4,

10]. Zum Ausschluss einer malignen Erkrankung kann das „comb sign“ hilfreich sein, da ein Lymphom oder Metastasen meistens mit einer geringer ausgeprägten Vaskularisierung des Mesenteriums einhergehen [17].

Aufgrund der transmuralen Entzündung kommt es zu Verklebungen und Verschmelzungen von Darmschlingen, sekundär häufig zu Fistelungen (20–40% der Patienten) in vielfältigen Variationen: enteroenterisch, enterokolisch, kolokolisch, enterovesikal, enterovaginal, enterokutan, anorektal, enteropankreatisch oder enterospinal [9]. Mit der MSCT können solche Fistelungen häufig dargestellt werden. Im weiteren Verlauf können Darmstrikturen entstehen, die klinisch durch eine Stenosesymptomatik bis hin zum Ileus auffallen. In der CT zeigt sich dann das Bild eines mechanischen Ileus mit einer Dilatation und Spiegelbildung der Darmschlingen vor der Stenose.

15–20% der Patienten mit Morbus Crohn entwickeln intraabdominelle Abszesse. Im CT imponieren die intraabdo-

minellen Abszesse als Flüssigkeitsansammlungen mit einer vermehrten Kontrastmittelanreicherung in der Abszessmembran und Gaseinschlüssen. Diese können als Spiegelbildung oder disseminierte feine Gasbläschen auftreten. Ursächlich kommen Infektionen mit gasbildenden Bakterien oder Verbindungen mit dem Darmlumen in Frage. Intraabdominelle Abszesse können fuchsbauartig in andere Darmschlingen oder angrenzende Organe durchbrechen, es besteht ein fließender Übergang zur Fistelbildung.

### Colitis ulcerosa

Die frühesten Schleimhautveränderungen sind im CT nicht nachweisbar. Im Verlauf entstehende tiefe Ulzerationen der Mukosa führen durch ungleichmäßige Verteilung zur Ausbildung von Pseudopolypen, die gelegentlich auch in der CT dargestellt werden können [3, 9]. Durch eine Hypertrophie der Muscularis mucosae entsteht eine Verdickung der Darmwand. In der Folge kommt es durch stärkere Kontraktion dieser (lon-



Abb. 6a–c ▲ Patientin mit Morbus Crohn, koronare MPR eines Sellink-CTs (Tripelkontrast mit Gastrograffin® 3%). a Langstreckig stenosiertes präterminales Ileum (*gerader Pfeil*), hyperdens dargestellte, ausgeprägte prästenotische Dilatation (*gebogener Pfeil*) als indirektes Zeichen einer funktionell wirksamen Stenose. b Fistelgänge im Bereich des terminalen Ileums (*gerade Pfeile*). c Hypodense Darstellung von Abszedierungen (*Pfeil*), die eindeutig vom hyperdens gefüllten Darmlumen abgrenzbar sind



Abb. 7 ▲ Operationspräparat des langstreckig veränderten präterminalen Ileums (s. Abb. 6a)

gitudinal ausgerichteten) Muskulatur zur segmentalen oder diffusen Lumen-einengung sowie zu einer Verkürzung des Kolons [8]. Ödembildung oder Fetteinlagerungen in der Submukosa bedingen eine weitere Einengung des Lumens [7]. Die Veränderungen der Wandschichten führen zu einer kokarden- oder schießscheibenartigen Darstellung der (axial getroffenen) Kolonanteile. Dieses Phänomen ist jedoch nicht spezifisch für die Colitis ulcerosa und kann auch bei Morbus Crohn oder erregerbedingten Kolitiden beobachtet werden [9].

Eine Proliferation des perirektalen Fettgewebes führt zu einer Erweiterung des Präsakralraums. Charakteristisch ist eine Imbibierung dieses Fettgewebes mit etwas (10–20 HU) erhöhten Dichtewerten [9]. Komplikationen bei der Colitis ulcerosa sind das toxische Megakolon und dessen Perforation.

Das Risiko einer malignen Entartung ist bei der Colitis ulcerosa deutlich erhöht [4, 9]. Häufig handelt es sich um szirrhöse, flache Tumoren, die auch endoskopisch schwer zu diagnostizieren sind. Asymmetrische Verdickungen der Darmwand oder Verdickungen von mehr als 1,5 cm sind ebenso suspekt wie eine fokale Aufhebung der Wandschichtung. Sie sollten differenzialdiagnostisch immer an ein kolorektales Karzinom denken lassen.

### Extraintestinale Manifestationen des Morbus Crohn und der Colitis ulcerosa

Extraintestinale Komplikationen umfassen neben direkten Affektionen der Nachbarorgane (z. B. Leberabszess, Psoasabszess, Pankreatitis) auch metabolisch bedingte Veränderungen sowie assoziierte Krankheitsbilder: Unter anderem können Malnutrition oder toxi-

sche Medikamentenwirkungen die Entstehung einer Fettleber begünstigen, die sich in der CT dann hypodens im Vergleich zur Milz darstellt. Eine Störung des enterohepatischen Kreislaufs führt vermehrt zu Cholelithiasis, diese kann eine Pankreatitis verursachen. Es besteht eine erhöhte Tendenz zur Nephrolithiasis oder Hydronephrose. Eine häufige extraintestinale Manifestation ist auch die Sakroiliitis. Die meisten dieser Folge- und Begleiterscheinungen können mit der CT sicher diagnostiziert werden.

### Divertikulitis

Führende Zeichen bei Vorliegen einer Divertikulitis sind nach einer Untersuchung von Kircher et al. [13] an 312 Patienten (davon 114 mit gesicherter Divertikulitis) eine fokale Darmwandverdickung mit einer inhomogenen, umschriebenen Infiltration des benachbarten Fettgewebes („fat stranding“). Sie lassen sich sogar noch häufiger als die Divertikel selbst nachweisen. Begleitend finden sich in absteigender

Reihenfolge eine Verdickung von benachbarten Fasziablättern (Gerotafaszie), umschriebene freie Flüssigkeit und entzündliche Veränderungen im Divertikel selbst. Der Nachweis der 3 letztgenannten Zeichen gelingt zwar seltener, sie sind jedoch besonders spezifisch für das Vorliegen einer Divertikulitis. Schließlich können freie Luft und Abszedierungen beobachtet werden. Seltener Komplikationen sind intramurale Gaseinschlüsse und Höhlengänge.

### Schlussfolgerung

Die CT hat eine stetig zunehmende Bedeutung in der Diagnostik entzündlicher Darmerkrankungen erlangt.

Die CT konnte sich bislang v. a. im Bereich der Notfallmedizin etablieren: Zum Nachweis einer Divertikulitis wurde bereits in den frühen 80er Jahren ein diagnostischer Vorteil vermutet [15] oder gar die initiale Diagnostik mittels CT gefordert [11]. Dennoch wurde noch einige Jahre kontrovers diskutiert, ob die CT den konventionellen Kolonkontrastein-

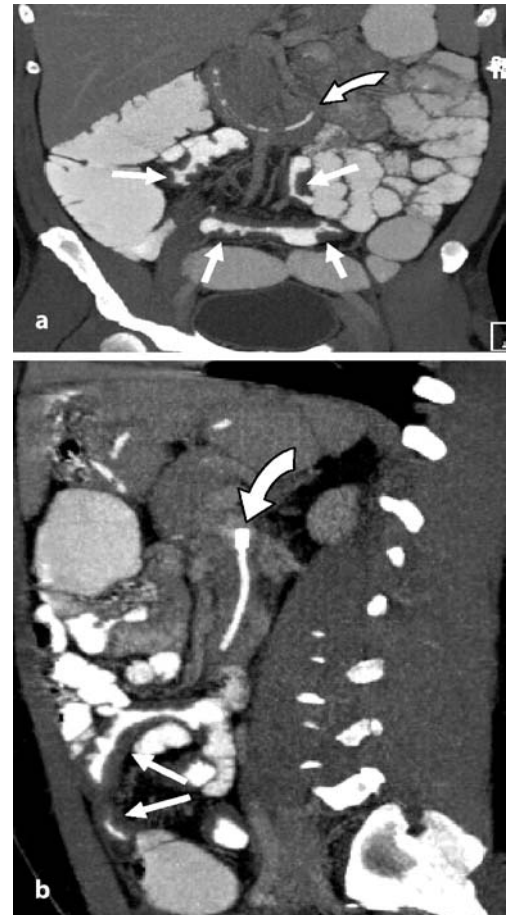


Abb. 8 ► Patient mit Morbus Crohn; koronare und sagittale MIP-Dünnschicht-Rekonstruktion eines Sellink-CTs (Tripelkontrast mit Gastrografin® 3%). Lage der Sondenspitze distal des Treitz-Bandes (gebogene Pfeile). Langstreckige Wandverdickung und Lumeneinengung einer Dünndarmschlinge (gerade Pfeile)





Abb. 9 ◀ Patient mit Morbus Crohn, koronare MIP-Dünnschicht-Rekonstruktion eines Tripelkontrast-CTs mit Gastrografin® 3% (orales KM bei Verweigerung einer Jejunalsonde, daher teils unvollständige Distension), „Kammartige“ Darstellung der distalen Mesenterialgefäße bei entzündlich veränderten Jejunalschlingen („comb sign“). Vergrößerte mesenteriale Lymphknoten (Pfeile)

lauf als Untersuchungsmethode der ersten Wahl ersetzen sollte [12]. Heute gilt die CT als das am besten geeignete Verfahren zur Diagnostik einer Divertikulitis. Beispielsweise belegen Ambrosetti et al. an Untersuchungen von mehr als 400 Patienten die signifikante Überlegenheit der CT bzgl. der Sensitivität und der Erkennung von schweren Infektionen mit Abszedierungen gegenüber dem Kolonkontrasteinlauf [1].

Dagegen hat sich in der Diagnostik der chronisch entzündlichen Darmerkrankungen zur Beurteilung des Kolons die Endoskopie durchgesetzt. Die CT spielt aber auch hier eine wichtige Rolle bei der Erkennung mesenterialer und extraintestinaler Komplikationen. Bei endoskopisch nicht passierbaren Stenosen oder Darmelongationen stellen die radiologischen Verfahren die einzige Möglichkeit zur Beurteilung der proximal gelegenen Darmabschnitte dar.

Im Bereich des Dünndarms, der bis heute der Endoskopie nicht zugänglich ist, muss die Rolle der CT neu definiert werden. Sie vermag das Gesamtausmaß einer Crohn-Erkrankung zu erfassen. Dabei werden nicht nur Darmwandveränderungen, sondern auch mesenteriale und extraintestinale Pathologien sicher diagnostiziert. Die CT kann entscheidende Hinweise zur Stellung einer Operationsindikation geben, ebenso eignet sie sich zur Verlaufsbeurteilung. Lediglich bei der Erkennung frühesten Schleimhautveränderungen ist sie dem Enteroklysma unterlegen. Ein weiterer Nachteil mag in der fehlenden Funkti-

onsbeurteilung des Darms liegen. Allerdings werden wertige Stenosierungen trotz statischer Darstellung häufig aufgrund einer prästenotischen Dilatation nachgewiesen.

Die Strahlenbelastung der Computertomographie ist nicht höher als die der konventionellen radiologischen Verfahren. Zudem kann mit einer einzigen Untersuchung sowohl der Dünn- als auch der Dickdarm beurteilt werden.

Die CT-Untersuchung ist sowohl hinsichtlich der Dosisbelastung wie der Beurteilung und der Reproduzierbarkeit deutlich weniger untersucherabhängig. Dadurch können unnötige Wiederholungs- und Zusatzuntersuchungen vermieden werden.

## Literatur

1. Ambrosetti P, Becker C, Terrier F (2002) Colonic diverticulitis: impact of imaging on surgical management—a prospective study of 542 patients. *Eur Radiol* 12:1145–1149
2. Antes G (1998) Entzündliche Dickdarmerkrankungen. Kolonkontrasteinlauf und CT. *Radiologe* 38(1):41–49
3. Archibald GR, Scholz FJ, Larsen CR (1988) Computed tomographic findings of giant intestinal pseudopolypoidosis. *Gastrointest Radiol* 13:155–159
4. Bansal P, Sonnenberg A (1996) Risk factors of colorectal cancer in inflammatory bowel disease. *Am J Gastroenterol* 91:44–48
5. Del Campo L, Arribas I, Valbuena M, Mate J, Moreno-Otero R (2001) Spiral CT findings in active and remission phases in patients with Crohn's disease. *J Comput Assist Tomogr* 25:792–797

6. Frager DH, Goldman M, Beneventano TC (1983) Computed tomography in Crohn's disease. *J Comput Assist Tomogr* 7:819–824
7. Gore RM (1992) Colonic contour changes in chronic ulcerative colitis: reappraisal of some old concepts. *Am J Roentgenol* 158:59–61
8. Gore RM (1995) Characteristic morphologic changes in chronic ulcerative colitis. *Abdom Imaging* 20:275–277
9. Gore RM, Balthazar EJ, Ghahremani GG, Miller FH (1996) CT features of ulcerative colitis and Crohn's disease. *Am J Roentgenol* 167:3–15
10. Greenstein AJ, Sachar DB, Smith H, Janowitz HD, Aufses AH Jr (1981) A comparison of cancer risk in Crohn's disease and ulcerative colitis. *Cancer* 48:2742–2745
11. Hulnick DH, Megibow AJ, Balthazar EJ, Naidich DP, Bosniak MA (1984) Computed tomography in the evaluation of diverticulitis. *Radiology* 152:491–495
12. Johnson CD, Baker ME, Rice RP, Silverman P, Thompson WM (1987) Diagnosis of acute colonic diverticulitis: comparison of barium enema and CT. *Am J Roentgenol* 148:541–546
13. Kirchner MF, Rhea JT, Kihiczak D, Novelline RA (2002) Frequency, sensitivity, and specificity of individual signs of diverticulitis on thin-section helical CT with colonic contrast material: experience with 312 cases. *Am J Roentgenol* 178:1313–1318
14. Kleinhaus U, Weich Y (1987) Computed tomography of Crohn's disease – reevaluation. *RÖFO Fortschr Geb Röntgenstr Nuklearmed* 147:607–611
15. Lieberman JM, Haaga JR (1983) Computed tomography of diverticulitis. *J Comput Assist Tomogr* 7:431–433
16. Mazzeo S, Caramella D, Battolla L, Melai L, Masolino P, Bertoni M, Giusti P, Cappelli C, Bartolozzi C (2001) Crohn's disease of the small bowel: spiral CT evaluation after oral hyperhydration with isotonic solution. *J Comput Assist Tomogr* 25:612–616
17. Meyers MA, McGuire PV (1995) Spiral CT demonstration of hypervascularity in Crohn disease: „vascular jejunitization of the ileum“ or the „comb sign“. *Abdom Imaging* 20:327–332
18. Orel SG, Rubesin SE, Jones B, Fishman EK, Bayless TM, Siegelman SS (1987) Computed tomography vs barium studies in the acutely symptomatic patient with Crohn's disease. *J Comput Assist Tomogr* 11:1009–1016
19. Rollandi GA, Curone PF, Biscaldi E, Nardi F, Bonifacio E, Conzi R, Derchi LE (1999) Spiral CT of the abdomen after distension of small bowel loops with transparent enema in patients with Crohn's disease. *Abdom Imaging* 24:544–549
20. Ruiz-Cruces R, Ruiz F, Perez-Martinez M, Lopez J, Tort Ausina I, de los Rios AD (2000) Patient dose from barium procedures. *Br J Radiol* 73:752–761
21. Stamm G, Nagel HD (2002) CT-EXPO, Version 1.2