

Internist 2006 · 47:28–38
 DOI 10.1007/s00108-005-1527-1
 Online publiziert: 29. Oktober 2005
 © Springer Medizin Verlag 2005

Schwerpunktherausgeber
 J. F. Riemann, Ludwigshafen
 W. Hiddemann, München

O. Götze¹ · A. Steingötter² · W. Schwizer¹ · M. Fried¹

¹Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Universitätsspital Zürich

²Institut für biomedizinische Technik, Universität und ETH Zürich

Funktionelle Magnetresonanzbildgebung des Verdauungstrakts

Klinische Anwendungsmöglichkeiten?

Nach den ersten erfolgreichen Untersuchungen zur Magnetresonanz 1946 durch F. Bloch und Anwendungen zur Bildgebung 1973 durch P.C. Lauterbur hat sich die Magnetresonanztomographie (MRT) als jüngstes tomographisches Bildgebungsverfahren zu einem wichtigen Werkzeug in der klinischen Praxis entwickelt. Organfunktionen wie z. B. die des Herzens oder des Gastrointestinaltrakts werden seltener untersucht. Durch die kontinuierliche Verbesserung von MRT-Gradientensystemen, der Entwicklung innovativer Sequenzen kombiniert mit paralleler Bildgebung ist eine Bildakquisition in Echtzeit möglich, was die MRT zu einer Erfolg versprechenden Methode in der gastrointestinalen Funktionsdiagnostik macht [1].

Analyse der gastrointestinalen Physiologie mittels MRT

Die MRT stellt eine valide Methode zur Bestimmung einer Vielzahl physiologischer Funktionen des Gastrointestinal- (GI-) Trakts dar. So können nicht nur die Funktionen des Magens, wie z. B. die Magenentleerung, Akkommodation, Sekretion, Motilität und die intragastrale Verteilung von Nahrungsbestandteilen und Arzneistoffen erfasst, sondern auch die intestinale und anorektale Motilität untersucht werden. Neben der hohen Flexibili-

tät in der Bildakquisition ermöglicht die Methode eine nichtinvasive, 3-dimensionale hochauflösende Bildgebung, die gleichzeitig Motilität und intraluminale Flussereignisse erfasst.

Magenentleerung

Die Magenentleerung beinhaltet das Speichern der Mahlzeit, das Durchmischen mit gastralen Sekreten, die Homogenisierung fester Nahrung und den Transport in distale Abschnitte des GI-Trakts. Die Magenentleerung ist von einer Vielzahl verschiedener Parameter abhängig und wird zum einen durch die Charakteristiken der eingenommenen Mahlzeit (Kaloriendichte, Volumen, Viskosität, Osmolarität), aber auch von anderen Faktoren wie der intragastralen Mahlzeitverteilung und der Körperposition bestimmt [2, 3]. Trotz der vielen bekannten Einflussgrößen ist auf Grund der erheblichen technischen Schwierigkeiten, welche mit der Untersuchung der humanen gastralen Motilität verbunden sind, das Verständnis der mechanischen Faktoren, durch die der Magen seinen Inhalt in den Dünndarm entleert, begrenzt.

Die Bestimmung der Magenentleerung war die erste mittels MRT untersuchte gastrointestinale physiologische Funktion [4]. Hierbei erfolgt repetitiv die Akquisition 20–40 paralleler (beliebig orientierter) Schichtbilder der Magenregion innerhalb von 15–25 s mittels schneller Spin-Echo (TSE oder RARE) bzw. Gradienten-Echo-

Sequenzen (FFE, FISP). Zur Minimierung von Bewegungsartefakten werden die Messungen in einer Atempause durchgeführt. Magen- und Mahlzeitenvolumina können durch den hervorragenden Bildkontrast identifiziert und mittels einer Bildsoftware segmentiert, 3-dimensional rekonstruiert und berechnet werden. Aus den ge-

Abkürzungen und Glossar

Lag-Phase:	Zeitperiode bis 10% der Mahlzeit entleert ist.
Larmor-Frequenz:	Charakteristische Frequenz, mit der die Protonen eines Moleküls (z. B. Fett oder Wasser) im äußeren Magnetfeld präzedieren.
SPECT:	Single-Photon-Emissionscomputertomographie.
T₁-Relaxation:	Zeitkonstante, die dem Wiederaufbau der Longitudinalmagnetisierung bzw. der Ausgangsmagnetisierung (M ₀) entspricht.
T₂-Relaxation:	Zeitkonstante, die der Dephasierung der angeregten Protonen aufgrund ihrer unterschiedlichen Präzessionsfrequenzen, also der Abnahme der Transversalmagnetisierung entspricht.

Hier steht eine Anzeige.



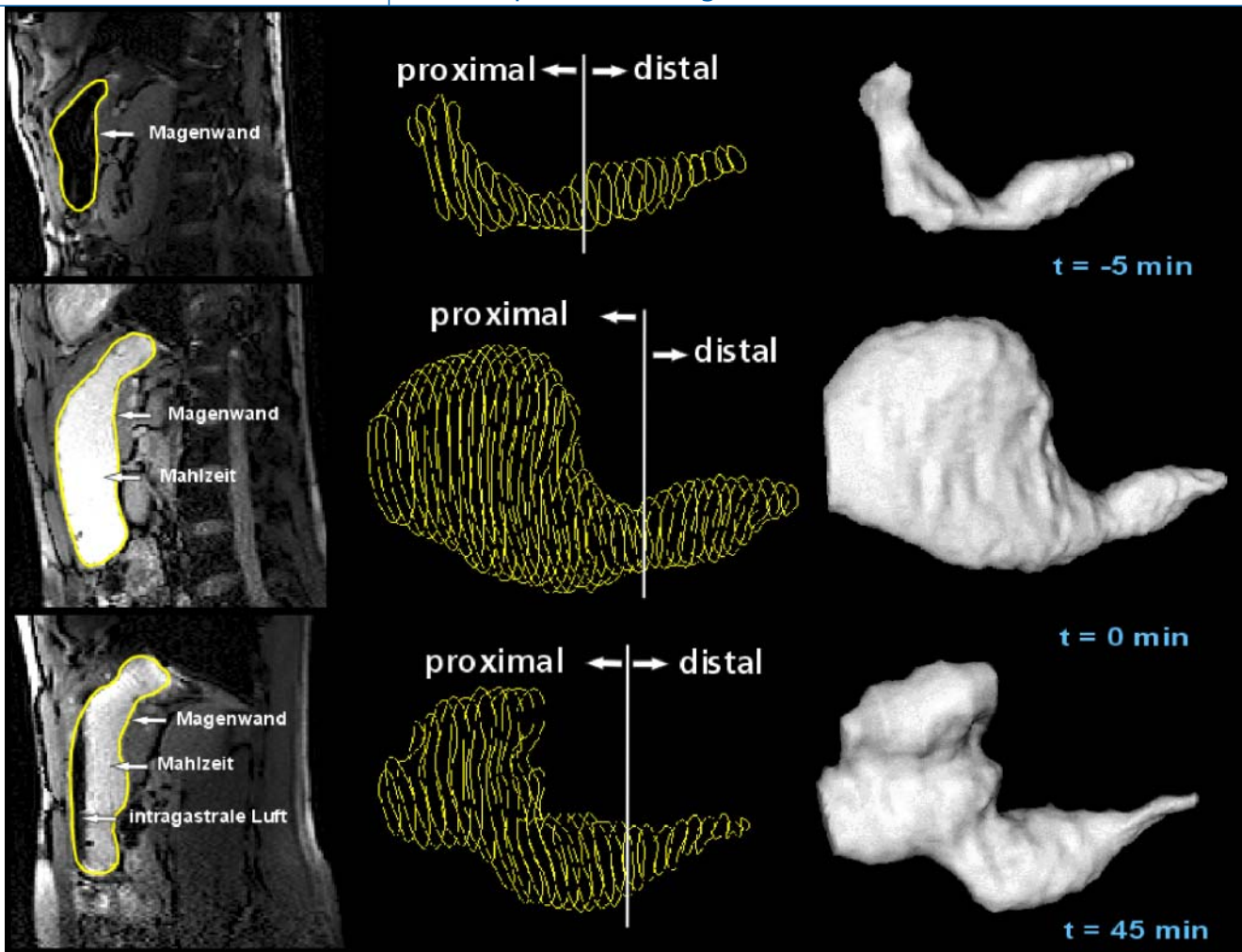


Abb. 1 ▲ Magen (umrandet): Mahlzeit und intra-gastrale Luft in sagittalen MRT-Bildern prä- ($t = -5$ min) und postprandial ($t = 0$ min) und nach 45 min

wonnenen Volumendaten werden Entleerungsparameter, wie die Entleerungshalbwertszeit (t_{50}) und die Lag-Phase direkt bestimmt oder mit Regressionsmodellen berechnet (■ Abb. 1).

Die Szintigraphie stellt die bildgebende Standardmethode zur Bestimmung der Magenentleerung dar [5]. MRT-Validationsstudien für flüssige und feste Mahlzeiten zeigten eine exzellente Übereinstimmung gegenüber der Szintigraphie sowohl für Gesunde als auch für Patienten mit z. B. diabetischer Gastroparese [6, 7, 8]. Die Vorteile der MR-tomographischen Bestimmung der Magenentleerung sind [1]:

- eine fehlende Strahlenbelastung,
- die Detektion von Volumenänderungen der Mahlzeit und des Magens in hoher zeitlicher (bis zu 2 Messungen/min) und räumlicher Auflösung

- die zusätzliche Beurteilbarkeit umgebender anatomischer Strukturen.

Dies ist mit herkömmlichen Methoden nicht oder nur begrenzt möglich.

Gastrale Akkommodation

Die Einnahme hochvoluminöser Mahlzeiten wird durch die proximale gastrale Akkommodation ohne Auslösung des Brechreflexes oder anderer klinischer Symptome ermöglicht. Die rezeptive vagovagale Reflexrelaxation des Magens hat ihre physiologische Bedeutung in einer Reservoirbildung ohne Anstieg des intragastralen Drucks [9]. Eine gestörte Akkommodation ist mit Symptomen wie frühes Sättigungsgefühl, Übelkeit, Oberbauchbeschwerden, abdominelles Spannungsgefühl und Gewichtsverlust assoziiert [10]. Die funktionelle Dyspepsie, die Dyspep-

sie nach Fundoplikatio, die Dyspepsie bei Patienten mit Diabetes mellitus und möglicherweise auch die Refluxkrankheit werden mit einer gestörten Akkommodation in Zusammenhang gebracht [11, 12].

Trotz des großen klinischen Interesses für eine gestörte gastrale Akkommodation sind nur wenige Studien zu diesem Thema publiziert, was in den beträchtlichen technischen Schwierigkeiten der Messung der Akkommodation des Magens begründet ist. Invasive Barostattechniken (momentaner Goldstandard) und andere aktuell angewandte Methoden, wie die konventionelle Sonographie, 3-D Sonographie, SPECT oder auch Trinktests weisen Nachteile auf [13, 14]. Keine dieser Methoden kann präzise, physiologisch und unverfälscht die Akkommodation des Magens messen.

Die gastrale Akkommodation kann nur in Relation zum Magentonus, intra-gastralem Druck, zur Magenmotilität und

Entleerung beschrieben und verstanden werden. Die MRT ist somit eine geeignete Untersuchungstechnik, da sie gleichzeitig sowohl die motorische gastrale Aktivität als auch den Prozess der Reservoirbildung und der Entleerung mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung erfasst [14]. Im Vergleich zu invasiven Untersuchungsmethoden konnten in einem offenen MRT-System in sitzender Körperposition deutlich geringere postprandiale Magenvolumina nach Einnahme verschieden zusammengesetzter Ernährungslösungen gemessen werden. Zusätzlich wurde, wie in **Abb. 2** dargestellt ist, die schon während des Trinkens einsetzende stärkere Entleerung einer fetthaltigen oder proteinhaltigen Lösung mit folglich geringeren Magen- und Mahlzeitenvolumina im Vergleich zu einer Kohlenhydratlösung unter physiologischen Bedingungen erfasst [15].

Zukünftig könnten innovative MRT-Verfahren in Kombination mit minimal-invasiven Druckmessungen innerhalb des Magens bessere diagnostische Möglichkeiten und ein erweitertes Verständnis der Symptomentstehung der gestörten gastralen Akkommodation eröffnen.

Intragastrale Distribution von Mahlzeiten und Arzneiformen

Die Verteilung einer Mahlzeit und einzelner Nahrungsbestandteile im proximalen und distalen Magen beeinflusst die Magenfunktion und die gastrointestinale Perzeption. Unter Anwendung schneller MRT-Techniken kann die Verteilung von Mahlzeiten mit verschiedenem kalorischen Gehalt und wechselnder Konsistenz, das Durchmischen mit gastralen Sekreten und ihre Entleerung präzise und anschaulich dargestellt werden. Beispielsweise führen Mahlzeiten höherer Viskosität zu einem stärkeren postprandialen Magenvolumen des Antrums, verbunden mit einem Völlegefühl [16].

Fettreiche Nahrung zeichnet sich durch eine hohe Energiedichte mit einem Anteil von bis zu 40% der Nahrungszusammensetzung westlicher Staaten aus. Die Digestion und die Resorption von Fetten stellen einen komplexen energieabhängigen Prozess dar und erfordern präzise regulative Mechanismen, um die absorptive Kapazität des Dünndarms nicht zu überschreiten.

Internist 2006 · 47:28–38
DOI 10.1007/s00108-005-1527-1
© Springer Medizin Verlag 2005

O. Götze · A. Steingötter · W. Schwizer · M. Fried

Funktionelle Magnetresonanzbildung des Verdauungstrakts. Klinische Anwendungsmöglichkeiten?

Zusammenfassung

Die Magnetresonanztomographie (MRT) stellt eine vielseitige bildgebende Methode in der Medizin dar, für welche ein Spektrum neuer diagnostischer Optionen entwickelt wurde. Neben der in der klinischen Praxis etablierten Darstellung von Organstrukturen, wird die MRT zunehmend zur Bildgebung humaner Organfunktionen wie zum Beispiel des Herzens und des zentralen Nervensystems herangezogen. Der Einsatz zur funktionellen Bildgebung des Verdauungstrakts ist neuartig und erfolgt an wenigen Zentren im Bereich der Grundlagen- und klinischen Forschung. Die hochauflösende kontrastreiche schnelle Bildgebung, die fehlende Belastung durch ionisie-

rende Strahlung und die Untersucherunabhängigkeit in der Bildakquisition und Analyse machen die MRT zu einer idealen Methode der Funktionsdiagnostik des Verdauungstrakts.

In dieser Übersicht werden gegenwärtige Anwendungen der MRT in der gastroenterologischen Funktionsdiagnostik vorgestellt und mit herkömmlichen diagnostischen Methoden verglichen.

Schlüsselwörter

Magnetresonanztomographie · Funktionelle Bildgebung · Gastrointestinale Motilität · Magensekretion · Magenakkommodation

Magnetic resonance imaging of the gastrointestinal tract – clinical applications?

Abstract

Magnetic resonance imaging (MRI) is a versatile medical imaging tool for which several new applications have been developed. Beside its broad clinical use for the detection of anatomical structures and pathologies MRI has been successfully applied for the non-invasive imaging of human organ functions, including the brain and the cardiovascular system. The use of MRI for the assessment and analysis of gastrointestinal (GI) function is a new approach that is currently performed in only a few research sites. Several characteristics make MRI an ideal technique for the direct assessment of GI physiology: MRI acquires high resolu-

tion images with excellent soft tissue contrast, it does not expose subjects to ionizing radiation, is non-invasive, and the acquisition and analysis of the images can be independently verified. In this article we summarize recent developments of MRI techniques in GI research. We will also discuss the advantages and limitations of MRI for this purpose in relation to established medical imaging tools and investigations.

Keywords

Magnetic resonance imaging · Functional imaging · Gastrointestinal motility · Gastric secretion · Accommodation

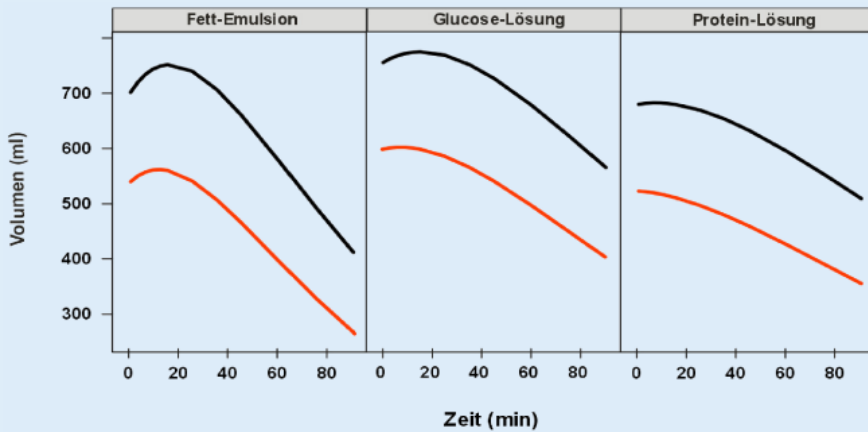


Abb. 2 ▲ Magen- (schwarz) und Mahlzeiten- (rot) Entleerungskurven von 3 Ernährungslösungen (n=12, 375–400 kcal, 500 ml)

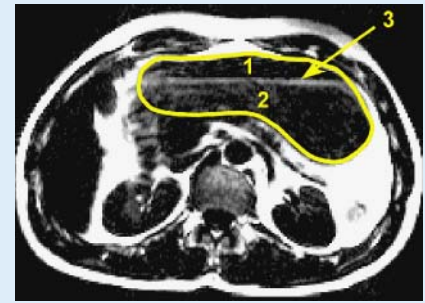


Abb. 3 ▲ Darstellung einer aufschwimmenden Fettschicht (3) nach Einnahme einer festen Mahlzeit. 1: intragastrale Luft; 2: Mahlzeit; Magengrenzen umrandet

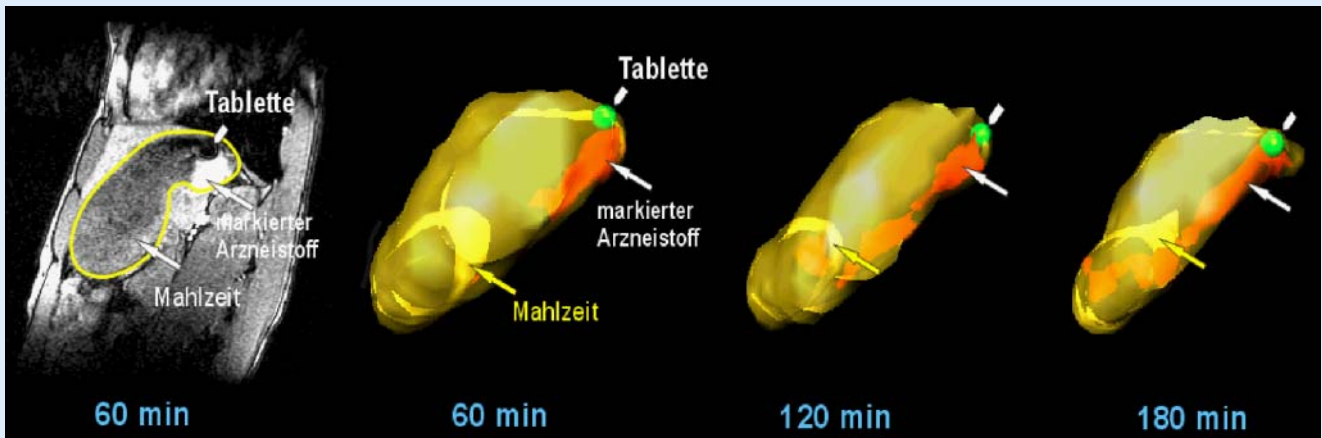


Abb. 4 ▲ Sagittales MRT-Bild und 3D-Rekonstruktion der Freisetzung und Verteilung eines oralen Arzneistoffmodells (rot) in einer festen Mahlzeit (gelb)

Es existieren nur wenige Daten zur intragastralen Verteilung und Prozessierung von Fetten und Fettemulsionen. Aufgrund der unterschiedlichen Resonanz- (Larmor-) Frequenz der protonenreichen Fettsäuren im Vergleich zu Wasser, kann die Fettphase einer Mahlzeit selektiv mit spezifischen RF-Impulsen angeregt werden. Dies erlaubt die Effekte der intragastralen Fettverteilung auf die Magenentleerung und Antrummotilität sowie auf die Stabilität von Fettemulsionen und die damit verbundene viszerale Perzeption zu untersuchen [17]. Durch Kenntnis der schon intragastral beginnenden Verarbeitung von Fetten mit Ausbildung von Kaloriengradienten durch eine inhomogene Fettverteilung innerhalb der Mahlzeit (Abb. 3) kann die MRT zum Verständnis von Sättigungsverhalten und gastrointestinalem Transport fettreicher Nahrungsmittelzubereitungen beitragen [18].

Wichtige Faktoren für eine ausreichende Bioverfügbarkeit von oral verabreichten Pharmaka stellen nicht nur die physikochemischen Eigenschaften des Reinstoffes wie z. B. die molare Masse oder Fettlöslichkeit, sondern auch die intragastrale und intestinale chemische Stabilität und Distribution des Arzneistoffs dar. Bisher wurden szintigraphische Techniken zur Untersuchung der In-vivo-Verteilung neu entwickelter oraler Arzneiformen eingesetzt. Die MRT wurde erst kürzlich als alternative Methode validiert. Paramagnetische Kontrastmittel wie makrozyklische Gadoliniumchelatkomplexe (GD-DOTA) können in kolloidale Wirkstoffformulierungen (Liposomen) als Modell für schwer lösliche lipophile Substanzen eingebettet oder direkt als wasserlösliches Modell galenischer Zubereitungen benutzt werden [19, 20]. Für die Bildakquisition werden schnelle T_1 -gewichtete Gradienten-Echo-Sequenzen

(T_1 -FFE) benutzt, welche einen starken Kontrast zwischen dem markierten Medikamentenmodell und der unmarkierten Mahlzeit erzeugen (Abb. 4).

Diese Technik ermöglicht eine genaue Differenzierung und Berechnung der Medikamentenverteilung.

Zusammenfassend zeigen diese Studien das Potenzial des MRT für die In-vivo-Diagnostik und Entwicklung neuer galenischer Zubereitungsformen, des Einflusses der Mahlzeitenzusammensetzung und der motorischen Funktion des Magens auf die Bioverfügbarkeit und somit auch auf die Wirksamkeit von Arzneistoffen.

Magensekretion

Während der zephalen, intestinalen und gastralen Phase gibt der Magen große Sekretmengen ab. Die sekretorische Magenfunktion konnte bisher nur durch invasi-

ve Sondentechniken quantifiziert werden. Mittels MRT kann durch Vergleich der Signalintensität intragastraler Mahlzeiten gegen einen außerhalb am Körper angebrachten Standard die gastrale Sekretion abgeschätzt werden [7]. Alternativ kann die Magensekretion indirekt über die mit der Änderung der Viskosität einer aus Polysacchariden bestehenden Testmahlzeit einhergehenden Änderungen der T₂- (transversalen) Relaxationszeit durch eine zuvor erstellte In-vitro-Kalibrationskurve bestimmt werden [16].

Gegenstand aktueller Forschung ist die Bestimmung der Dilution einer Mahlzeit durch gastrale Sekretion und Mischungsvorgänge über die Quantifizierung der longitudinalen Relaxationszeit (T₁-Relaxation). Da dieses Verfahren auf den Zusammenhang zwischen der Konzentrationsänderung eines paramagnetischen Kontrastmittels (Gd-DOTA) in der Mahlzeit und der sich ändernden T₁-Relaxation basiert, ist diese Methode an keine spezifische Testmahlzeit gebunden. Erstmals kann durch wiederholtes „Mapping“ der T₁-Relaxationszeiten die Magensekretion in verschiedenen Magenregionen und Mischungsvorgänge der Mahlzeit mit der Magensäure dargestellt werden (■ Abb. 5; [21]).

Gastroduodenale Motilität

Wesentliche Fortschritte in den zur Verfügung stehenden Methoden erlauben es heute, die Motilität des Magendarmtrakts unter annähernd physiologischen Bedingungen zu untersuchen.

Die transkutane 2-dimensionale Sonographie des Magens als hochauflösendes tomographisches Echtzeitverfahren wurde erfolgreich zur Bestimmung der gastroduodenalen Motilität und unter Verwendung der Duplexsonographie zur Analyse von Flussphänomenen eingesetzt [22]. Sie kann zuverlässig okklusive und nichtokklusive Antrumkontraktionen und transpylorische Flussereignisse erfassen. Allerdings erfolgt die Bestimmung des Magen- und des Mahlzeitenvolumens bei gleichzeitiger Messung der Magenmotilität nur indirekt über den Durchmesser von Antrum und Magenfundus. Zusätzlich ist die Sonographie untersucherabhängig und ist bei adipösen Patienten nur begrenzt anwendbar [5]. Wesentliche Teile des Magens, wie

z. B. des Fundus können mit dieser Technik nicht ausreichend eingesehen werden. Die 3-dimensionale Sonographie stellt Ultraschallschnittbilder zur volumetrischen Bestimmung des Magenvolumens zur Verfügung, erlaubt es aber nicht simultan andere Funktionsparameter, wie z. B. die Magenmotilität zu untersuchen.

Zur MR-tomographischen Detektion der gastroduodenalen Motilität werden 1–3 parallele Bildschichten, ausgerichtet entlang der Längsachse des distalen Magens, sequenziell in kurzen Abständen von minimal 300 ms bis maximal 1 s mit schnellen Gradienten-Echo-Sequenzen („balanced steady state free precession“, b-SSFP) aufgenommen. Dies erlaubt die Visualisierung der auf den Pylorus zulaufenden Kontraktionswellen (■ Abb. 6). Mit dieser Methode kann die Frequenz, die Geschwindigkeit und Okklusion der Kontraktionswellen im Magen ermittelt werden. Volumenmessungen für eine gleichzeitige Analyse von Magenentleerung, Akkommodation, Distribution können schnell und problemlos zwischen Motilitätsmessungen durchgeführt werden.

Eine wesentliche Limitierung aller verfügbaren Bildgebungsmethoden ist die fehlende Möglichkeit zur Messung von intraluminalem Drücken. Durch die antroduodenale Manometrie lassen sich Kontraktionsereignisse im Magen und Dünndarm über die einhergehenden Druckänderungen erfassen. Im Vergleich zu den Bildgebungsmethoden ist das Verfahren jedoch zu wenig sensitiv für die Detektion nichtokklusiver Kontraktionen. Daher wurden MRT bzw. Sonographie in Studien zur Erforschung der Mechanismen der Magenentleerung kombiniert mit der Manometrie eingesetzt. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Magenentleerung flüssiger Mahlzeiten überwiegend während Phasen herabgesetzter Kontraktilität einsetzt und durch die Pylorusöffnung und möglicherweise durch Kontraktion des Duodenums reguliert wird. Dies lässt vermuten, dass die Magenentleerung von Flüssigkeiten eher durch den gastroduodenale Druckgradienten als durch die Peristaltik erfolgt [23].

Intestinale Motilität

Propulsive und stationäre Kontraktionen sorgen für eine Durchmischung des Dar-

minhalts und seinen Transport. Im Nüchternzustand wird die Dünndarmmotorik vom wandernden myoelektrischen Motor komplex bestimmt, während dieser postprandial fehlt und es zu einer zeitlich unregelmäßigen Aufeinanderfolge stationärer und propulsiver Kontraktionen kommt. Die MRT kann den intestinalen Transit, die intraluminale Flüssigkeitsverteilung und ihre Dynamik in einzelnen Darmsegmenten prä- und postprandial darstellen. Dennoch ist aufgrund der zeitlichen Unregelmäßigkeit der Motilitätsereignisse sowie des geringeren Durchmessers des Darmlumens die Bildgebung des Dünndarms technisch schwierig. Unter Anwendung von nicht absorbierbaren, den Dünndarm distendierenden Quellstoffen und Kontrastmitteln wie Gd-DOTA wird die Bildqualität (Bildkontrast) deutlich verbessert und dadurch eine zuverlässige Visualisierung der intestinalen Motilität sowie ihrer Beeinflussung durch Spasmolytika und Prokinetika erreicht [24].

Mit dieser Technik erscheint die Einführung einer funktionellen Dünndarmdiagnostik für klinische Fragestellungen und für die pharmakologische Forschung in naher Zukunft möglich.

Funktionelle Magnetresonanzcholangiopankreatikographie

Die Magnetresonanzcholangiopankreatikographie (MRCP) ist heute eine etablierte nichtinvasive Alternativmethode zur diagnostischen endoskopischen Gallengang- und Pankreasgangdarstellung (ERCP). Die Anwendung der dynamischen sekretinstimulierten MRCP (S-MRCP) verbessert Bildqualität und Darstellung des Pankreasgangs und der Seitenäste sowie von anatomischen Varianten wie z. B. eines Pankreas divisum. Zusätzlich erlaubt die dynamische S-MRCP eine Erfassung des Füllungszustands des Duodenums und somit eine semiquantitative Messung der Volumensekretion des exokrinen Pankreas (■ Abb. 7; [25]). Bei der MRCP wird ohne Anwendung von Kontrastmitteln eine hohe Signalintensität der Gallengangsflüssigkeit mittels stark T₂-gewichteten Bildgebungssequenzen erreicht. Qualitativ hochwertige Rekonstruktionen des Gallenwegs- und Pankreasgangsystems werden hierauf mit Maximum-Intensity-Projecti-

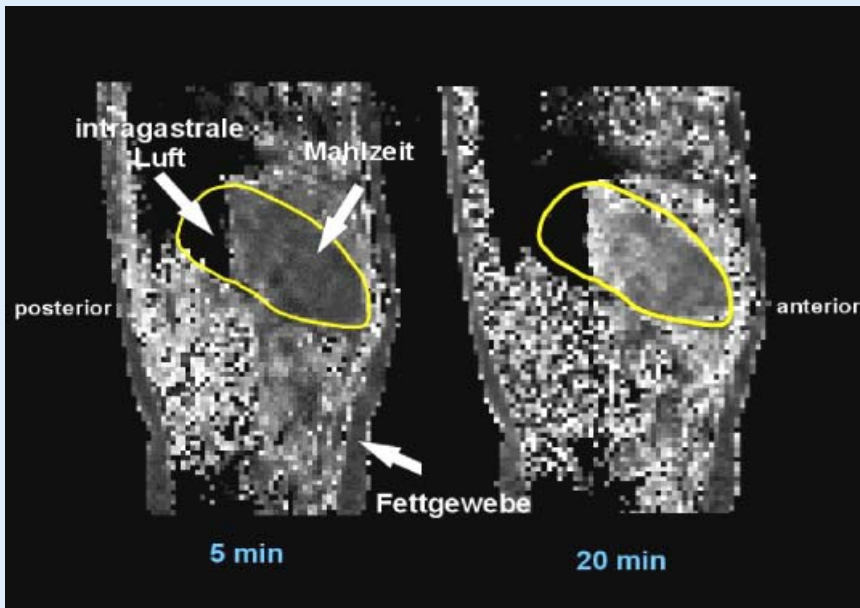


Abb.5 ◀ „Mapping“ der T₁-Relaxationszeiten in einer Mahlzeit im proximalen Magen 5 und 20 min postprandial. Durch Sekretion steigt die T₁-Zeit im Magen (umrandet) an, bei konstantem Signal des Fettgewebes als internem Standard

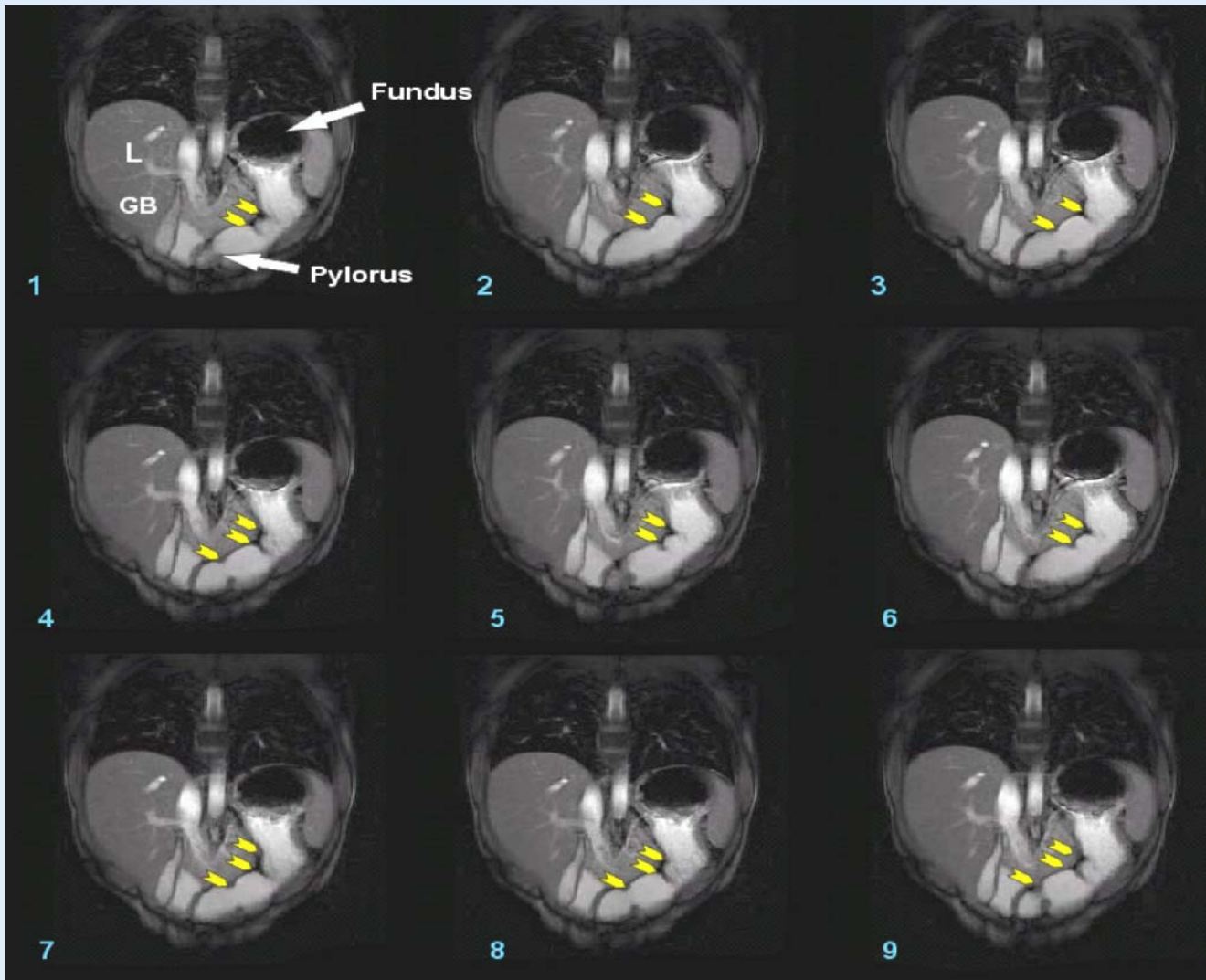


Abb.6 ▲ Antrumkontraktionen (Pfeile) in Zeitintervallen von 10 s aus einer MRT-Filmsequenz; geneigte, koronare Bildebene; L: Leber; GB: Gallenblase

Hier steht eine Anzeige.



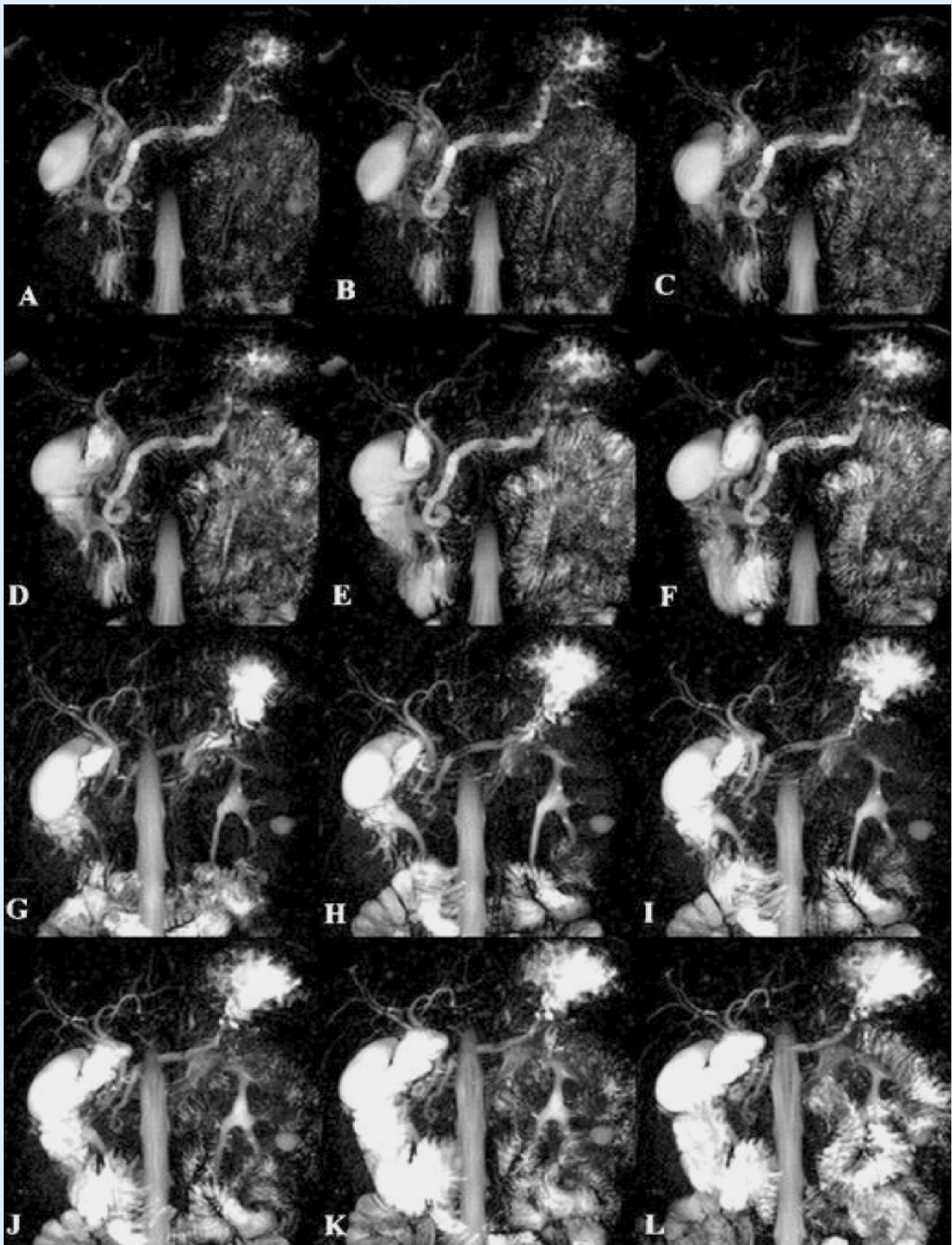


Abb. 7a-l ▲ **Dynamische S-MRCP vor (a-f) und nach (g-l) Therapie einer chronischen Pankreatitis. Bildakquisition vor (a, g) und nach 30 s (b, h), 2 min (c, i), 5 min (d, j), 10 min (e, k) und 15 min (f, l) nach Sekretingabe: Nach Therapie deutlicher Anstieg des sezernierten Volumens [25]**

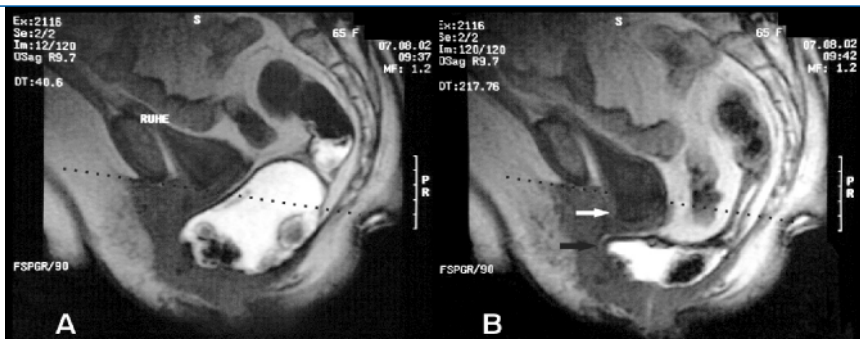


Abb. 8a, b ▲ Patientin mit Stuhlschmierern. a In Ruhe, b während der Defäkation: Zystozele als Zeichen einer leichten Insuffizienz des vorderen Kompartiments (heller Pfeil), Ausbildung einer anterioren Rektozele (schwarzer Pfeil; gepunktete Linie: Pubokokzygeallinie) und einer Enterozele; Analprolaps am Ende der Defäkation

on- (MIP-) Algorithmen und „multiplanar reformatting techniques“ generiert.

Aufgrund der nichtinvasiven morphologischen und funktionellen Darstellung des Pankreas könnte die S-MRCP zur Methode der Wahl in der Diagnosestellung und zur Verlaufsbeurteilung nach endoskopischen Interventionen bestimmter Pathologien des Pankreas werden [25]. Eine weitere Verbesserung und Validierung dieser Technik gegenüber Standardmethoden der quantitativen Funktionstestung des exokrinen Pankreas ist erforderlich, bevor mit der MRT eine kombinierte morphologische und funktionelle Evaluation des Pankreas in der klinischen Praxis möglich wird.

MRT-Defäkographie

Bei der Defäkation kommt es durch zunehmende Wandspannung im Rektum zum Defäkationsreiz. Durch ein komplexes Zusammenspiel mehrerer Organsysteme tritt reflektorisch eine Entspannung des unwillkürlichen inneren Schließmuskels und der Beckenbodenmuskulatur ein. Die willkürliche Entspannung des äußeren Schließmuskels und die Bauchpresse führen zum Abschluss dieses Vorgangs. Die Mehrzahl der Defäkationsbeschwerden lassen sich auf strukturelle Schäden des Sphinkterapparats, Erkrankungen des Anorektums oder funktionelle Störungen zurückführen.

Die fluoroskopische Defäkographie ist eine dynamische Methode, mit der morphologische Veränderungen des Anorektums, wie z. B. Entero- oder Rektozelen und funktionelle Veränderungen des Beckenbodens, wie z. B. der Anismus bei der Defäkation dokumentiert werden kön-

nen. Neben der Strahlenbelastung und der Überlagerung vieler Strukturen kann diese Methode den Beckenboden nur eingeschränkt abbilden.

Die MR-Defäkographie ist das geeignetere funktionelle Verfahren, das Auskunft über zusätzliche anatomische Veränderungen des Beckenbodens gibt. Hierzu wird das Rektum vor der Bildgebung mit einer hochviskösen markierten Testsubstanz gefüllt. In Ruhe und während der Defäkation werden dynamische T₁-gewichtete Gradienten-Echo-Sequenzen akquiriert. Verschiedene anatomische Regionen und typische Pathologien sowie ihre morphologische und funktionelle Integrität können simultan untersucht werden. Dank dieser neuen dynamischen Untersuchung kann zum Beispiel ein banales Stuhlschmierern nicht selten auf eine komplexe Beckenbodenschwäche mit Beteiligung verschiedener anatomischer Regionen zurückgeführt werden (■ Abb. 8; [26]). Die Untersuchung ist für den Patienten wenig belastend und heute in der klinischen Routine des GI-Trakts etabliert.

Fazit für die Praxis

Die Neu- und Weiterentwicklungen von Aufnahmetechniken der MRT ermöglichen eine effiziente Beantwortung vieler wichtiger Fragestellungen der gastroenterologischen Forschung. Erstmals werden nichtinvasiv, präzise und simultan unterschiedliche Aspekte von Funktionen und Funktionsstörungen des Verdauungstrakts und deren Beeinflussung durch Therapien unter physiologischen Bedingungen erfasst. Trotz vieler Vorteile der MRT gegenüber anderen funktionsdiagnostischen Methoden sind – neben

der Kostenfrage – MR-Scanner und auch die Untersuchungszeit nicht überall frei verfügbar. Zusätzlich erschwert das Fehlen klarer diagnostischer Standardmethoden für bestimmte Funktionsstörungen, wie z. B. der gestörten gastralen Akkommodation bei der funktionellen Dyspepsie, die Validierung der Methodik. Zusammenfassend besitzt die MRT ein großes Potenzial, sich in naher Zukunft als bildgebendes Standardverfahren zur Erfassung der Physiologie und Pathophysiologie des Gastrointestinaltrakts zu etablieren und wertvolle Dienste in der Entwicklung neuer oraler Arzneiformen zu leisten.

Korrespondierender Autor

Prof. Dr. M. Fried

Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Department Innere Medizin des Universitätsspitals, Rämistraße 100, 8091 Zürich, Schweiz
E-Mail: Michael.Fried@usz.ch

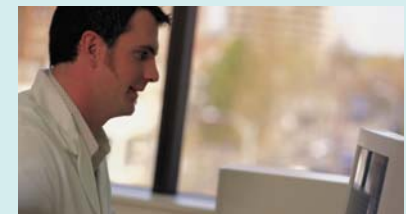
Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

- Schwizer W, Fox M, Steingotter A (2003) Non-invasive investigation of gastrointestinal functions with magnetic resonance imaging: towards an „ideal“ investigation of gastrointestinal function. *Gut* 52 [Suppl 4]: iv34–39
- Hasler WL (1995) The physiology of gastric motility and gastric emptying. In: Yamada T (ed) *Textbook of gastroenterology*. Lippincott, Philadelphia, pp 181–206
- Spiegel TA, Fried H, Hubert CD, Peikin SR, Siegel JA, Zeiger LS (2000) Effects of posture on gastric emptying and satiety ratings after a nutritive liquid and solid meal. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 279: R684–694
- Schwizer W, Maecke H, Fried M (1992) Measurement of gastric emptying by magnetic resonance imaging in humans. *Gastroenterology* 103: 369–376
- Parkman HP, Hasler WL, Fisher RS (2004) American Gastroenterological Association technical review on the diagnosis and treatment of gastroparesis. *Gastroenterology* 127: 1592–1622
- Schwizer W, Fraser R, Maecke H, Siebold K, Funck R, Fried M (1994) Gd-DOTA as a gastrointestinal contrast agent for gastric emptying measurements with MRI. *Magn Reson Med* 31: 388–393
- Feinle C, Kunz P, Boesiger P, Fried M, Schwizer W (1999) Scintigraphic validation of a magnetic resonance imaging method to study gastric emptying of a solid meal in humans. *Gut* 44: 106–111

Springer-Volltext-Archive nutzen, hochwertige Newsletter beziehen, umfassenden Ärzte-Dienst testen

Auf medizin-online.de – der großen Internet-Plattform der Springer Medizin Verlage – können sich Ärzte individuell ihr Informationsangebot zusammenstellen. Abonnenten von Springer-Fachzeitschriften können z.B. die Online-Volltextarchive ihrer abonnierten Titel über mehrere Jahrgänge online abrufen.



Eine intelligente Suchfunktion erleichtert das zielgenaue Finden. Auf Wunsch kann ein zweiwöchentlicher Newsletter – fachspezifisch auswählbar aus 14 Gebieten – abonniert werden; dieser bietet kostenfrei Zugang zu ausgewählten Beiträgen und Services von medizin-online.de. Nutzer, die über den Archiv-Zugriff und die Newsletter-Bestellung hinaus auch die vielfältigen Angebote des Ärzte-Dienstes medizin-online.de nutzen wollen, können ein kostenloses Testabonnement ordern. medizin-online.de bietet als Basisprodukt für 77 Euro im Jahr u.a. 50 interaktive Expertenräte, in denen Meinungsbildner ärztliche Fachfragen kompetent beantworten, Zusammenfassungen wichtiger internationaler Studien, knapp 80 Fachzeitschriften in Abstractversion, geldwerte Wirtschafts-Tipps, CME u.v.m. Im Premium-Onlineabo von medizin-online.de für 399 Euro wird darüber hinaus auch eine Volltextrecherche über die Online-Suche in allen Springer-Fachzeitschriften angeboten. Wer sich bei letzterem schnell entscheidet, profitiert vom Einführungspreis und zahlt im ersten Jahr nur 299 Euro. Und so einfach funktioniert es: www.medicin-online.de/springer aufrufen, gewünschte Optionen auswählen und lossurfen.

8. Kunz P, Feinle C, Schwizer W, Fried M, Boesiger P (1999) Assessment of gastric motor function during the emptying of solid and liquid meals in humans by MRI. *J Magn Reson Imaging* 9: 75–80
9. Azpiroz F, Malagelada JR (1986) Vagally mediated gastric relaxation induced by intestinal nutrients in the dog. *Am J Physiol* 251: G727–735
10. Thumshirn M, Camilleri M, Saslow SB, Williams DE, Burton DD, Hanson RB (1999) Gastric accommodation in non-ulcer dyspepsia and the roles of Helicobacter pylori infection and vagal function. *Gut* 44: 55–64
11. Tefera S, Gilja OH, Hatlebakk JG, Berstad A (2001) Gastric accommodation studied by ultrasonography in patients with reflux esophagitis. *Dig Dis Sci* 46: 618–625
12. Tack J, Piessevaux H, Coulie B, Caenepeel P, Janssens J (1998) Role of impaired gastric accommodation to a meal in functional dyspepsia. *Gastroenterology* 115: 1346–1352
13. De Schepper HU, Cremonini F, Chitkara D, Camilleri M (2004) Assessment of gastric accommodation: overview and evaluation of current methods. *Neurogastroenterol Motil* 16: 275–285
14. Schwizer W, Steingoetter A, Fox M, Zur T, Thumshirn M, Bosiger P, Fried M (2002) Non-invasive measurement of gastric accommodation in humans. *Gut* 51 [Suppl 1]: i59–62
15. Goetze O, Steingoetter A, Kwiatek MA et al. (2005) The Effect of Macronutrients on Gastric Accommodation and Dyspeptic Symptoms – a Magnetic Resonance Imaging Study. *Gastroenterology* 128: A 1764
16. Marciani L, Gowland PA, Spiller RC, Manoj P, Moore RJ, Young P, Fillery-Travis AJ (2001) Effect of meal viscosity and nutrients on satiety, intragastric dilution, and emptying assessed by MRI. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 280: G1227–1233
17. Marciani L, Wickham M, Hills BP et al. (2004) Intragastric oil-in-water emulsion fat fraction measured using inversion recovery echo-planar magnetic resonance imaging. *J Food Sci* 69: E290–E296
18. Kunz P, Feinle-Bisset C, Faas H, Boesiger P, Fried M, Steingoetter A, Schwizer W (2005) Effect of ingestion order of the fat component of a solid meal on intragastric fat distribution and gastric emptying assessed by MRI. *J Magn Reson Imaging* 21: 383–390
19. Steingoetter A, Kunz P, Weishaupt D et al. (2003) Analysis of the meal-dependent intragastric performance of a gastric-retentive tablet assessed by magnetic resonance imaging. *Aliment Pharmacol Ther* 18: 713–720
20. Steingoetter A, Weishaupt D, Kunz P et al. (2003) Magnetic resonance imaging for the in vivo evaluation of gastric-retentive tablets. *Pharm Res* 20: 2001–2007
21. Treier R, Steingoetter A, Fried M, Schwizer W, Boesiger P (2005) Fast T1 mapping for the assessment of intragastric distribution, dilution and mixing. *Proc ISMRM, 13th Scientific Meeting and Exhibition*
22. Hausken T, Odegaard S, Matre K, Berstad A (1992) Antroduodenal motility and movements of luminal contents studied by duplex sonography. *Gastroenterology* 102: 1583–1590
23. Indreshkumar K, Brasseur JG, Faas H et al. (2000) Relative contributions of „pressure pump“ and „peristaltic pump“ to gastric emptying. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 278: G604–616
24. Froehlich JM, Patak MA, von Weymarn C, Juli CF, Zollikofer CL, Wentz KU (2005) Small bowel motility assessment with magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging* 21: 370–375
25. Bali MA, Sztantics A, Metens T, Arvanitakis M, Delhaye M, Deviere J, Matos C (2005) Quantification of pancreatic exocrine function with secretin-enhanced magnetic resonance cholangiopancreatography: normal values and short-term effects of pancreatic duct drainage procedures in chronic pancreatitis. Initial results. *Eur Radiol* 15: 2110–2120
26. Bertschinger KM, Hetzer FH, Roos JE, Treiber K, Marincek B, Hilfiker PR (2002) Dynamic MR imaging of the pelvic floor performed with patient sitting in an open-magnet unit versus with patient supine in a closed-magnet unit. *Radiology* 223: 501–508