

# **Magnetresonanztomographie: Von der Diagnostik zur Intervention**

**Von Prof. Dr. med. G. Adam**

Seit Einführung der Magnetresonanztomographie in die klinische Radiologie zur Beginn der achtziger Jahre hat dieses bildgebende Verfahren eine rasche Entwicklung durchlaufen, deren Ende derzeit noch nicht abzusehen ist. Auf Grund gerätetechnischer Bedingungen beschränkten sich die klinischen Indikationen zur MRT zunächst auf die Untersuchung des Neurokraniums und des Spinalkanals sowie des muskuloskeletalen Systems. Die Vorteile des Verfahrens konnten jedoch bereits hier veranschaulicht werden: Bedingt durch die Möglichkeiten der multiplanaren Schnittführung, des im Vergleich zu anderen schnittbildgebenden Methoden wie der CT deutlich besseren Weichteilkontrastes und nicht zuletzt wegen der fehlenden Strahlenbelastung konnte sich die MRT als diagnostisches Verfahren rasch etablieren. Nachteile der Methode waren jedoch die langen Untersuchungszeiten. Erst durch die Entwicklung von hochleistungsfähigen Gradientensystemen und die Einführung von Schnellbildtechniken konnte sich die MRT auch andere Indikationsgebiete erschließen: So etwa in der Diagnostik der Oberbauchorgane, der Diagnostik der Thoraxorgane, der kardiovaskulären Diagnostik und schließlich auch im Bereich der MR gesteuerten perkutanen Interventionen. Im folgenden sollen einzelne, auf Schnellbildtechniken beruhende Verfahren vorgestellt werden, die einen wesentlichen Fortschritt für die MR-tomographische Diagnostik darstellen und auch die Möglichkeiten der MR gesteuerten Intervention eröffnet haben.

## **Kardiovaskuläre MR**

Erste Untersuchungen zur MR Diagnostik der Gefäße wurden schon bald nach Einführung der MR in die Klinik durchgeführt. Sie nutzten die intrinsischen Vorteile der MR zur Darstellung sich bewogender Wasserstoffprotonen, so auch die des strömenden Blutes aus. Dabei wurden zwei Verfahren angewandt: die sogenannte Time of Flight Technik und Phasenkontrastverfahren. Beide Verfahren kommen ohne die Gabe von Kontrastmitteln aus, indem sie die Bewegung der strömenden Blutprotonen ausnutzen. Während z.B. Time of Flight Techniken mit Erfolg im Bereich der extracraniellen hirnversorgenden Arterien eingesetzt werden konnten, wurden Phasenkontrasttechniken z.B. in der Diagnostik der Nierenarterienstenosen verwendet. Zur Darstellung größerer Gefäßabschnitte wie etwa der Becken- und Beinarterien oder der thorakalen oder abdominalen Aorta eigneten sie sich jedoch beide aus unterschiedlichen Gründen nicht. Beiden Verfahren gemeinsam war zudem, daß sie Gefäßpathologien über- oder auch unterschätzten, weil es gerade im Bereich von Gefäßstenosen zu Signalveränderungen kam, die z.B. eine Stenose oder einen Gefäßverschluß vortäuschten.

Eine wesentliche Verbesserung der MR-angiographischen Techniken wurde durch die Einführung der Kontrastmittelunterstützten dreidimensionalen

Untersuchungstechniken erreicht (3D MRA). Nach Applikation einer geringen Kontrastmittelmenge in eine periphere Armvene wird der optimale Untersuchungszeitpunkt für die eigentliche Gefäßdarstellung gewählt und dann mit Hilfe von schnellen Untersuchungssequenzen die gesamte interessierende Gefäßregion als Volumendatensatz akquiriert. Durch spezielle Rekonstruktionsverfahren können dann die Gefäße isoliert dargestellt werden. Mit Hilfe dieser Techniken gelingt etwa innerhalb von wenigen Minuten die anatomische Darstellung der viszeralen Baucharterien z.B. in der präoperativen Diagnostik von Lebertumoren mit Abbildung der arteriellen als auch der portalvenösen Phase. Darüberhinaus läßt sich auch die gesamte thorakale oder auch abdominale Aorta z.B. bei chronischen Dissektionen oder Aneurysmen darstellen. Ein wichtiges Indikationsgebiet der kontrastangehobenen 3D MR-Angiographie stellt die Becken- und Bein-Angiographie bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit dar. Die mit dieser Technik erzielten Ergebnisse lassen sich durchaus mit denen durch konventionelle Kathetertechniken gewonnen vergleichen und ermöglichen eine ausreichende Diagnostik vor einem etwaigen gefäßchirurgischen oder einem perkutanen interventionell-radiologischen Eingriff. Es konnte insbesondere gezeigt werden, daß die MR-Angiographie bei Stenosen oder Verschlüssen im Bereich der Becken- und Oberschenkelarterien die Abnehmergefäße der Unterschenkel mitunter besser darstellt als eine konventionelle intraarterielle digitale Subtraktionsangiographie. Auch in der Abklärung der renovaskulären Hypertonie konnten mit der 3D MRA gute Ergebnisse erzielt werden, die eine Nierenarterienstenose mit hoher Sicherheit ausschließen läßt.

Ein wesentlicher Vorteil der kontrastmittelunterstützten MR-Angiographie besteht in der sehr guten Verträglichkeit der MR-tomographisch eingesetzten Kontrastmittel, der sogenannten Gadolinium Chelatkomplexe. Sie weisen deutlich weniger unerwünschte Wirkungen als die aus der Röntgendiagnostik bekannten jodhaltigen Kontrastmittel auf und können auch bei eingeschränkter Nierenfunktion appliziert werden, da sie die Nierenfunktion nicht weiter beeinträchtigen.

Die guten und ermutigenden Ergebnisse der kontrastmittelgestützten MR-Angiographie lassen die Vermutung zu, daß diagnostische Angiographien, bis auf wenige Spezialindikationen, durch sie in Zukunft ersetzt werden können.

In der kardialen Diagnostik konnte sich die MRT bisher nicht in größerem Maße durchsetzen. Zwar konnten schon frühzeitig Untersuchungen mit relativ guter Auflösung zur Darstellung der Anatomie des Herzens durchgeführt werden. Jedoch mußten diese mit einem hohen Zeitaufwand erstellt werden. Erst die Einführung von Schnellbildtechniken und dedizierten MR Systemen zu Herzbildgebung hat auch auf diesem Gebiet neue Möglichkeiten eröffnet. Von besonderem Interesse sind dabei Untersuchungen zur Vitalität des akut und chronisch ischämisch geschädigten Myokards und natürlich die nicht invasive Diagnostik der Koronararterien. Allen Untersuchungsverfahren hierbei gemeinsam ist die Notwendigkeit die schnelle Herzbewegung „einzufrieren“ oder intelligente Bewegungskompensationstechniken zu nutzen, die eine schnelle Datenakquisition und damit möglichst

bewegungsartefaktarme Darstellung der interessierenden Region ermöglichen. Im Bereich der Koronararterien gelingt bereits heute eine relativ gute und anatomische Darstellung der rechten Herzkranzarterie, während sich bei der Diagnostik der linken Kranzarterie noch zahlreiche Schwierigkeiten ergeben. Unter Studienbedingungen lassen sich jedoch Stenosen im Bereich der Koronararterienhauptstämme relativ gut erfassen. Bevor die Methode jedoch der Koronarangiographie vergleichbare Ergebnisse liefert, die auch einen breiteren klinischen Einsatz gerechtfertigen, muß noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden.

#### MR-Cholangiopancreatikographie (MRCP)

Die Diagnostik von Veränderungen des Gangsystems der intra- und extrahepatischen Gallenwege sowie des Pankreasganges war bisher eine Domäne der endoskopischen retrograden Cholangio-Pankreatikographie. Als nicht invasive Methoden, die jedoch nur indirekt Aufschluß über die Gallenwege und den Pankreasgang geben, stehen der Ultraschall und auch die Computertomographie zur Verfügung, die insbesondere bei der Diagnostik von stein- oder tumorbedingten Aufstauungen ihren Einsatz finden. Mit Hilfe der MRCP steht ein neues und gänzlich nicht invasives Verfahren zur Verfügung. Die Technik nutzt die Möglichkeit aus, Flüssigkeiten mit Schnellbildtechniken während einer Atemanhaltephase darzustellen. Dabei werden sowohl dickschichtige als auch dünn-schichtige Aufnahmen erstellt, die wiederum aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und ggf. rekonstruiert werden können. Die Technik der MRCP hat sich insbesondere bei der Frage nach Konkrementen im Bereich der extrahepatischen Gallenwege bewährt. Hier weist sie Erkennungs-raten auf, die durchaus mit denen der ERCP vergleichbar sind und im Gegensatz zur Sonographie nicht untersucherabhängig oder aber durch schlechte Untersuchungsbedingungen wie Darmgasüberlagerung beeinträchtigt werden können. Zudem entfällt das Risiko einer iatrogenen Pankreatitis, so daß bereits heute die MRCP ein gängiges Verfahren bei Verdacht auf eine Choledocholithiasis geworden ist. Zudem findet es Einsatz beim möglichen Vorliegen eines Pankreaskopftumors, wobei es allerdings die meist schwierige Differentialdiagnose zwischen einer Pankreaskopfpankreatitis oder einem Pankreaskopfkarzinom nicht erleichtert. Der Stellenwert der Methode bei chronischen Erkrankungen der Gallenwege wie etwa der primär sklerosierenden Cholangitis ist noch nicht hinreichend definiert und bedarf weiterer Untersuchungen, um z.B. die Wertigkeit des Verfahrens in der Überwachung der Therapie bei PSC zu untersuchen.

#### MR Colonographie

Die frühzeitige Erkennung kolorektaler Polypen stellt eine der wichtigsten Maßnahmen zur erfolgreichen Behandlung des kolorektalen Karzinoms dar. Auch hier können MR Schnellbildtechniken einen Beitrag leisten, deren klinische Wertigkeit jedoch noch nicht abschließend analysiert und belegt ist. Dennoch soll dieses interessante Verfahren nicht unerwähnt bleiben. Nach Präparation des Dickdarms wie zu einem Kolonkontrasteinlauf oder zu einer Koloskopie erfolgt die Füllung mit einem positiven MR Kontrastmittel, in der Regel mit einer verdünnten wässrigen Gadolinium Lösung. Der so

aufgeweitete und durch Gabe von Butylscopolamin relaxierte Dickdarm kann dann mit dreidimensionalen Schnellbildtechniken untersucht werden, die das gesamte Kolon in etwa 25 Sekunden erfassen. Aus den gewonnenen Schnittserien können in jeder beliebigen Raumrichtung sekundäre Schnitte rekonstruiert werden oder aber auch virtuelle endoskopische Aufnahmen erstellt werden. So lassen sich polypöse Schleimhautveränderungen ab einer Größe von 5 mm erkennen. Bisherige Untersuchungen zeigten eine Treffsicherheit des Verfahrens von 80 bis 90 Prozent im Vergleich mit der Endoskopie. Ob sich die Methode in breiterem Rahmen durchsetzen kann, wird nicht zuletzt von zu erwartenden technischen Verbesserungen aber auch von den Untersuchungskosten, die für ein Suchverfahren günstig sein sollten, abhängen.

In jüngster Zeit hat die Magnetresonanztomographie auch Gehversuche auf dem Gebiet der interventionellen Radiologie intensiviert. Die Methode scheint dabei aus den gleichen Gründen attraktiv, wie zur reinen diagnostischen Bildgebung: multiplanare Bildgebungsmöglichkeiten, fehlende Strahlenexposition und natürlich auch der hohe Weichteilkontrast. Die ersten Erfahrungen wurden im Bereich der perkutanen Biopsien gesammelt. Bereits zu Mitte der achtziger Jahre wurde über die ersten MR-gesteuerten Biopsien im Kopf-Hals Bereich berichtet. Durch die Einführung neuer Gerätekonzepte hat sich das Interesse für MR überwachte Interventionen erneuert. Drei unterschiedliche MR Typen scheinen dabei für die Interventionelle MR tauglich: Offene Systeme, die bei Feldstärken zwischen 0,2 und 0,5 Tesla arbeiten sowie kurzbohrige geschlossene Hochfeldsysteme, die die Überwachung des Patienten bei Interventionen ermöglichen. Inzwischen wurden von verschiedenen Seiten weitere Aktivitäten gestartet, offene Systeme, die bei höheren Feldstärken als bei 0,5 T arbeiten, konstruktiv zu realisieren. Diese Bemühungen werden vermutlich bald erfolgreich sein, und in offenen 1,0 T Systemen münden.

Perkutane Biopsien lassen sich heute an jeder MR-Anlage mit nur geringem Mehraufwand und bei Übung ohne zusätzlichen Zeitaufwand durchführen. Die Vorteile, die MRT als Steuerungs- und Überwachungsinstrument für den Eingriff einzusetzen liegen vor allem im Bereich des Weichteilkontrastes und der multiplanaren Schnitfführung. So lassen sich fokale Leberläsionen in den Segment 7 und 8 der Leber gefahrlos erreichen, da der Punktionsweg z.B. in sagittaler Schnitfführung in ganzer Länge beurteilbar ist. Gleiches gilt für die Drainage von subphrenischen Verhalten, die CT-gesteuert oder auch unter sonographischer Kontrolle manchmal nur schwierig zu erreichen sind. Daneben bietet die MRT den Vorteil, daß sie im Bereich des Skelettsystems Knochenmarkläsionen, meist Ödeme unklarer Genese mit hoher anatomischer Auflösung darstellen kann und somit auch eine exakte Punktionsplanung ermöglicht. Auch bietet sich die MRT als Zielinstrument zur Biopsie an, wenn andere bildgebende Verfahren wie der Ultraschall oder die CT die Veränderung nicht in einem adäquaten Zeitfenster abbilden können, wie z.B. bei einzelnen Läsionen im Bereich der Leber. Die Zahl der MR

gesteuerten Läsionen wird jedoch verhältnismäßig klein bleiben, da sowohl die Sonographie als auch die CT etablierte und sichere Methoden darstellen.

Anders stellt sich die Überwachung interstitieller Therapieverfahren mit Hilfe der MRT dar. Sie ermöglicht die qualitative und unter Laborbedingungen auch quantitative Darstellung von Temperaturveränderungen. Die bisher bekannten interstitiellen Therapiemöglichkeiten, etwa bei der Behandlung von Lebermetastasen kolorektaler Tumore, setzen dabei hypo- oder hypertherme Verfahren ein. Am weitesten Verbreitung hat die interstitielle Laserthermotherapie gefunden. Erfahrungen in beschränkterem Umfang liegen für die Kryotherapie oder die Radiofrequenzablation vor. Mit Hilfe der MRT lassen sich die thermischen Veränderungen entweder mit Phasenkontrastmethoden, der Erfassung der T1 Relaxationszeiten oder mit diffusionsgewichteter Bildgebung darstellen. In der Klinik kommt nur den T1 Verfahren eine Bedeutung zu, da sich hier die Veränderungen während der Thermoablation auch qualitativ und unter Einsatz von Schnellbildtechniken ohne störende Bewegungsartefakte darstellen lassen. In wie weit sich diese Methoden klinisch durchsetzen werden, hängt nicht zuletzt von den Ergebnissen klinisch kontrollierter Studien ab.

Ein weiteres Feld der interventionellen MR stellen die MR gesteuerten vaskulären Interventionen dar. Diese befinden sich jedoch alle in einem experimentellen Stadium. Zunächst hat sich das Augenmerk auf die Entwicklung MR-kompatibler Instrumentarien wie von Führungsdrähten und Kathetern gerichtet. Prinzipiell können aktive und passive Instrumentenvisualisierungsverfahren unterschieden werden. Während die passiven Methoden konstruktiv relativ leicht zu realisieren sind und auf der Dotierung von nicht ferromagnetischen Materialien mit paramagnetischen Substanzen beruhen, ist bei den aktiven Techniken ein höherer Aufwand an Hard- und Software erforderlich. Dabei können prinzipiell Katheter oder Führungsdrähte mit Mikrospulen versehen werden, die eine Lokalisation in allen drei Raumebenen ermöglichen. Derartige Lokalisationen können dann in Art einer Pfadfindertechnik zuvor erstellten MR Angiogrammen überlagert werden. Solche Techniken sind jedoch besonders bewegungsartefaktanfällig. Jedoch hat die Entwicklung von Echtzeitverfahren dazu geführt, daß aktiv visualisierte Instrumente tatsächlich in „real-time“ verfolgt werden können. Diese Verfahren beruhen auf stark modifizierten Datenerfassungsstrategien und Bildnachverarbeitungen. Mit ihrer Hilfe läßt sich zum ersten Mal eine Art MR-Fluoroskopie ermöglichen, die natürlich auch zu intravaskulären Interventionen genutzt werden kann. Erste Erfahrungen haben die prinzipielle Tauglichkeit etwa bei der Platzierung von Gefäßstützen oder der perkutanen Angioplastie gezeigt. Mögliche klinische Anwendungen liegen im Bereich der Angioplastie oder auch bei komplexen kardiologischen Untersuchungen.

Insgesamt ermöglichen die neuen, schnellen Echtzeitbildgebungstechniken somit eine Reihe interessanter Anwendungen. Der klinischen Radiologie obliegt es, die Verfahren weiter zu entwickeln und auf ihren Wertigkeit in Zusammenarbeit mit ihren klinischen Partnern zu überprüfen.

Prof. Dr. med. G. Adam, Radiologische Klinik des UKE, Hamburg Eppendorf,  
Martinistr. 52, 20246 Hamburg