

Retrospektive Analyse der 5-Jahres-Ergebnisse von MRT-gesteuerten Biopsien im Niederfeldsystem

Retrospective 5-Year Analysis of MR-Guided Biopsies in a Low-Field MR System

Autoren

S. Zangos¹, C. Müller¹, F. Mayer¹, N. N. Naguib¹, N.-E. A. Nour-Eldin¹, M.-L. Hansmann², C. Herzog¹, R. M. Hammerstingl¹, A. Thalhammer¹, M. Mack¹, T. J. Vogl¹, K. Eichler¹

Institute

¹ Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, J.-W.-Goethe-Universität Frankfurt

² Senckenbergisches Institut für Pathologie, J.-W.-Goethe-Universität Frankfurt

Key words

- ◉ abdomen
- ◉ retroperitoneum
- ◉ pelvic organs
- ◉ biopsy
- ◉ MR imaging
- ◉ methods
- ◉ techniques

eingereicht 18.8.2008

akzeptiert 4.3.2009

Bibliografie

DOI 10.1055/s-0028-1109349

Online-Publikation: 2009

Fortschr Röntgenstr © Georg

Thieme Verlag KG Stuttgart ·

New York · ISSN 1438-9029

Korrespondenzadresse

PD Dr. Stephan Zangos

Institut für Diagnostische und

Interventionelle Radiologie,

J.-W.-Goethe-Universität

Frankfurt

Theodor-Stern-Kai 7

60596 Frankfurt

Tel.: ++ 49/63 01/72 77

Fax: ++ 49/63 01/72 58

Zangos@em.uni-frankfurt.de

Zusammenfassung

Ziel: Evaluierung der Sicherheit und klinischen Wertigkeit von MRT-gesteuerten Biopsien in einem Niederfeldsystem.

Material und Methoden: Bei 322 Patienten mit unklaren Läsionen wurden in einem offenen 0,2-Tesla-MR-System (Magnetom Concerto, Siemens) bildgesteuerte Biopsien in verschiedenen Körperregionen durchgeführt. Die Bildgebung erfolgte mittels T1-gewichteter Flash-Sequenzen (TR/TE=100/9; 70°). Nach Positionierung einer 15-Gauge-Punktionsnadel (Durchmesser 2 mm) im Tumorgewebe wurden repetitiv Proben in Koaxialtechnik entnommen. Komplikationen und Biopsieergebnisse wurden retrospektiv analysiert.

Ergebnisse: Die Punktionen konnten bei allen Patienten technisch erfolgreich durchgeführt werden. Bei 298 Patienten konnte mittels der gewonnenen Proben eine richtige Diagnosestellung erfolgen. Bei 24 Patienten wurde anhand der histologischen Proben ein falsch negatives Ergebnis gestellt. Hieraus ließ sich für alle Punktionen (n = 322) eine Sensitivität von 86%, eine Spezifität von 87% sowie eine Genauigkeit von 93% errechnen. Bei 2 Patienten führte eine Majorkomplikation zu einer stationären Aufnahme (Morbidität von 0,6%).

Schlussfolgerung: MRT-gesteuerte Biopsien in einem offenen Niederfeldsystem können sicher und präzise durchgeführt werden und stellen eine Ergänzung zur US- und CT-gezielten Biopsie dar.

Einleitung

Auch wenn es noch ein junger Zweig der Radiologie ist, sind die Entwicklungen der letzten Jahren in der „Interventionellen Radiologie“ beeindruckend. Während in den Anfangsjahren die Interventionen ausschließlich unter Rönt-

Abstract



Purpose: The purpose of this study was to evaluate the safety and clinical value of MR-guided biopsies in an open 0.2 T low-field system.

Materials and Methods: A total of 322 patients with suspicious lesions of different body regions were biopsied in a low-field MRI system (0.2 T, Concerto, Siemens). The procedures were guided using T1-weighted Flash sequences (TR/TE = 100/9; 70°). The lesions were repeatedly biopsied using the coaxial technique with a 15-gauge (diameter 2 mm) puncture needle. Complications and biopsy findings were analyzed retrospectively.

Results: In all cases the biopsy procedures were successfully performed with MR guidance. In 298 patients diagnosis was able to be confirmed on the basis of the probes. The clinical follow-up showed that in 24 patients the lesions were missed by MR-guided biopsy. From this a sensitivity of 86%, a specificity of 87% and an accuracy of 93% were calculated. In two patients major complications were observed (morbidity rate 0.6%).

Conclusion: MR-guided biopsy can be performed safely and precisely in a low-field MR system and are a supplement to US or CT-guided biopsies.

gendurchleuchtung durchgeführt wurden, finden inzwischen auch andere Verfahren wie die Sonografie (US), die Computertomografie (CT) und die Magnetresonanztomografie (MRT) zur Steuerung der Instrumente während der Interventionen Anwendung. Die MRT stellt hierbei das neueste bildgebende Verfahren dar. Die

MRT eignet sich, insbesondere aufgrund der freien Schichtwahl, der fehlenden Strahlenexposition und des guten Weichteilkontrasts, besonders gut zur Steuerung von perkutanen Interventionen. Aufgrund der zeitaufwendigen Erzeugung eines MRT-Bildes in den Anfangsjahren der MRT, fand die MRT-gesteuerte, perkutane Intervention anfänglich keine breite klinische Anwendung [1].

Durch eine verbesserte Rechnerleistung wurden die Geschwindigkeiten der Bildaufnahme und -berechnung deutlich erhöht, sodass seit 1988 immer mehr MRT-Interventionen an Patienten erfolgen [1, 2].

Ein weiteres Problem stellte zu Beginn die röhrenförmige Konstruktion der supraleitenden Magneten der Hochfeldsysteme dar, wodurch nur ein schlechter Zugang zum Patienten gegeben war. Nur durch ein Umlagern des Patienten oder durch „Herausfahren“ aus dem Magneten waren die Eingriffe umständlich und zeitaufwendig durchzuführen. Die Entwicklung von offenen Magnetsystemen erweiterte das Spektrum der MRT-gesteuerten perkutanen Interventionen, und die ersten klinischen Anwendungen an diesen Geräten zeigen vielversprechende Ergebnisse [3–6]. Neben MRT-gesteuerten Biopsien wurden auch erste komplexe MRT-gestützte Interventionen, wie Thermoablationen, vaskuläre Eingriffe, Schmerztherapien oder das Einbringen von Drainagen durchgeführt [7–12].

Ziel der Arbeit war es, die Sicherheit und klinische Wertigkeit einer Entnahme von Gewebeproben aus verschiedenen Körperregionen am offenen MRT zu evaluieren.

Patienten und Methode



Es wurden bei 322 Patienten (214 Männer und 108 Frauen im Alter von 6,9–87,9 Jahren; Durchschnittsalter 58,1 Jahre) MRT-gesteuerte Biopsien bei unklaren Läsionen verschiedener Körperregionen durchgeführt. Hierbei erfolgten die Punktionen unter Schnittbildsteuerung bei Kontraindikationen zur Durchführung einer US-gesteuerten Punktion. Insbesondere wurden MRT-gesteuerte Punktionen bei Läsionen durchgeführt, die nicht im CT sichtbar waren, oder bei Patientenwunsch. Die Diagnosestellung der abklärungsbedürftigen Läsionen erfolgte präinterventionell mittels kontrastmittelverstärkter MRT oder CT. Nach Aufklärung und schriftlicher Einwilligung der Patienten und Ausschluss von Kontraindikationen erfolgte die Durchführung der Punktionen. Hierfür wurde ein seitlich offenes, U-förmiges Niederfeldsystem (Magnetom Concerto, Siemens, Erlangen) mit einer vertikalen Feldachse verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Permanentmagnetsystem (0,2T) mit einem Abstand von 35 cm zwischen dem oberen Polschuh und der Liegefläche. In Abhängigkeit von der Interventionsregion diente eine serienmäßige, flexible Ringspule (Siemens, Erlangen) mit einem Innendurchmesser von 45 oder 35 cm oder eine kabellose Ringspule (n=21) als Signalempfänger. Die Spulen wurden hierbei im erwarteten Punktionsbereich positioniert. Eine serienmäßige Innenraumbedienkonsole (Siemens, Erlangen) erlaubte eine Beurteilung und Überwachung des Punktionswegs, der Lage der Punktionsnadeln sowie die Steuerung der Bildgebung während der Punktionen.

Vor der Punktion mussten die Patienten eine Nahrungskarenz von 6 Stunden vor dem Eingriff einhalten. Klare Flüssigkeiten oder notwendige Medikamente durften bis 2 Stunden vor dem Eingriff eingenommen werden. Die Voraufnahmen wurden zur Planung des Zugangswegs und Lagerung der Patienten

herangezogen. Für die Punktion wurde meist ein möglichst kurzer Punktionsweg gewählt. Die Patienten wurden dann so auf der Patientenliegefläche positioniert, dass ein freier Zugang zur Läsion während der Punktion gegeben war. In der Regel wurde hierfür ein Zugangsweg von der offenen Seite des Tomografen gewählt, da hierdurch die Patienten während der Punktionen im Magneten verbleiben konnten und so eine kontinuierliche Kontrolle der Punktionsnadeln möglich war. Aufgrund des Abstands der Polschuhe konnten die Patienten hierbei auch problemlos in Seitenlage positioniert werden.

Die Lokalisation der Läsionen und die Planung des Zugangswegs erfolgte bei allen Patienten mittels Flash (fast low angle shot)-2-D-GRE-Sequenzen (TR/TE=100/9; 70°; 4 Schichten, Schichtdicke 8 mm; Messzeit 12 s, Matrix 128×128) in transversaler und/oder sagittaler Schichtorientierung. Hierbei wurden die Interventionen im Bereich des Thorax und Abdomens in Atemanhalt durchgeführt. Für die Untersuchungen wurde ein Field-of-View von 350–400 mm gewählt. Die Einstichstelle wurde mithilfe von auf der Haut fixierten Markern oder durch Verwendung eines Fingers als externe Markierung aufgesucht. Die Steuerung und Kontrolle der Messungen während der Biopsien erfolgte durch den Arzt über die Innenraumkonsole. Nach Hautdesinfektion, lokaler Infiltrationsanästhesie (10–20 ml Scandicain) und Stichinzision erfolgte die Einbringung einer 15-Gauge-Punktionsnadel (Pencil Tip, Somatex, Berlin) bis zur Läsion. Anschließend wurden in Koaxialtechnik mittels MRT-kompatiblen Biopsiehandy (16-Gauge-Tru-Cut-System mit einer Stichtiefe von 20 mm; Somatex, Berlin) repetitive Proben aus der Läsion entnommen. Während der Interventionen wurden für die Kontrolle der Nadeln erneut Flash-Sequenzen (TR/TE=100/9; 70° mit einer Messzeit von 12 s) verwendet. Diese Sequenzen wurden nach Entfernung der Instrumente auch zum Ausschluss von Komplikationen verwendet.

Die Proben wurden dann routinemäßig entsprechend der Fragestellung durch die Pathologie histologisch aufgearbeitet. Diese histologischen Ergebnisse sowie der klinische Verlauf wurden zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität herangezogen [13]. Hierfür wurden die folgenden Kriterien angewendet:

- ▶ richtig positiv (RP): Biopsat mit Nachweis eines Malignoms, resultierende Therapieentscheidung
- ▶ richtig negativ (RN): Biopsat ohne Malignitätsnachweis, unauffälliges Follow-up über mindestens 6 Monate
- ▶ falsch negativ (FN): Falsch negatives Biopsat, welches durch erneute Biopsie, Operation oder Follow-up widerlegt wurde.
- ▶ falsch positiv (FP): histopathologisch fälschlicherweise malignomsuspekt bewertetetes Präparat

Diese gewonnenen Daten wurden dann zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität sowie der Genauigkeit des Verfahrens bzw. der Treffsicherheit der Biopsie verwendet:

- ▶ Sensitivität = $RP / (RP + FN)$
- ▶ Spezifität = $RN / (RN + FP)$
- ▶ Genauigkeit = $(RP + RN) / \text{Ergebnisse gesamt}$

Ergebnisse



Es wurden insgesamt bei 322 Patienten Punktionen von suspekten Läsionen in verschiedenen Körperregionen (► Tab. 1) durchgeführt. Pro Patient wurde jeweils nur eine Läsion in koaxialer Technik punktiert. Die Punktionen konnten bei allen

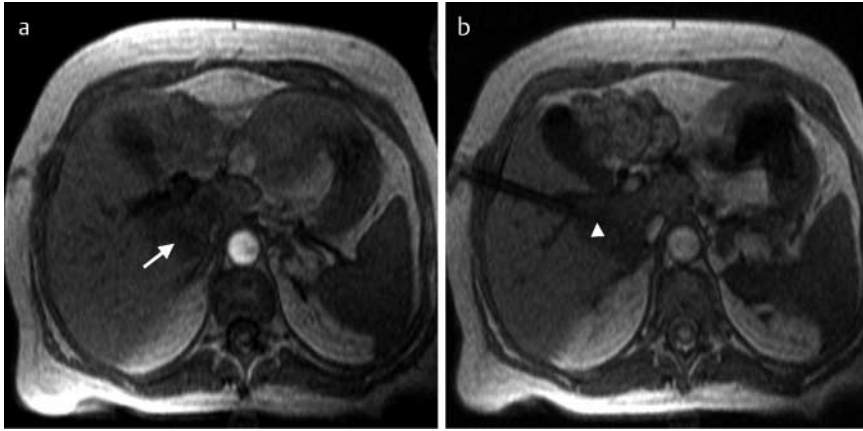


Abb. 1 a Punktion einer unklaren Läsion im Lebersegment 1. In der nativen MRT lässt sich die Läsion (Pfeil) gut dokumentieren (a), sodass eine sichere Punktion der Läsion erfolgen konnte. b Dokumentation der Nadelposition (Pfeilspitze) vor Entnahme der Probe aus der Läsion (b). Die histologische Aufarbeitung zeigte eine Lebermetastase eines bekannten Mammakarzinoms.

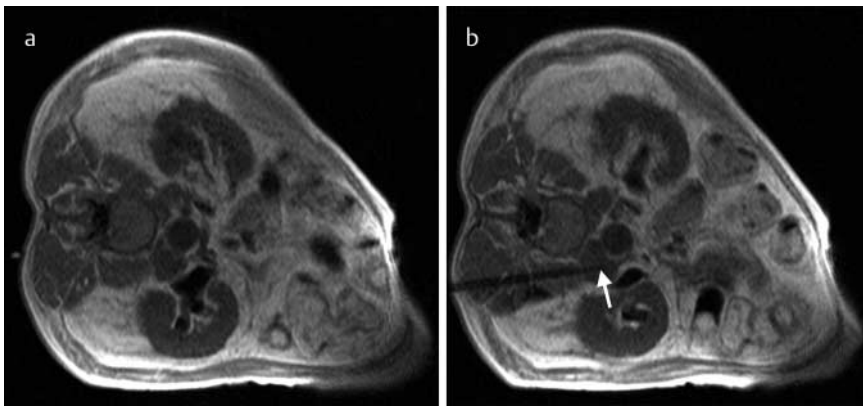


Abb. 2 a Transversale T1-gewichtete Flashsequenz vor der Biopsie einer paraaortalen Läsion (Pfeil) zeigt die gute Abgrenzbarkeit der Läsion von der Aorta (a). b Die T1-gewichtete Flashsequenz zeigt eine sichere Dokumentation der Nadel (Pfeil) in der Läsion (b), sodass ein Lymphom anhand der Probe diagnostiziert werden konnte.

Tab. 1 Ergebnisse der Typpufferenzierung sowie die diagnostischen Qualitätsparameter sämtlicher MR-gesteuerter Biopsien, aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Körperregionen.

	Anzahl (n)	RP	RN	FN	Sensitivität	Spezifität	Genauigkeit
Leber (n = 126)	126	73	50	7	0,91	0,88	0,98
Becken/Abdomen (n = 45)	45	17	25	3	0,85	0,89	0,93
Thorax (n = 13)	13	6	6	1	0,86	0,86	0,92
Muskuloskeletal (n = 18)	18	4	12	2	0,67	0,86	0,89
Retroperitoneum (n = 40)	40	20	15	4	0,83	0,79	0,88
Hals (n = 9)	9	4	5	1	0,80	0,83	1,00
Prostata (n = 71)	71	22	42	6	0,79	0,88	0,90

Patienten technisch erfolgreich durchgeführt werden. Hierbei zeigte sich jedoch, dass insbesondere bei thorakalen Läsionen die Visualisierung der Punktionsnadeln erschwert sein kann. In allen anderen Körperregionen ließ sich die Nadel sicher lokalisieren.

Anhand des klinischen Verlauf und der gewonnenen Proben zeigte sich, dass bei 298 Patienten mittels der gewonnenen Proben eine richtige Diagnosestellung erfolgen konnte. Der klinische Verlauf zeigt, dass bei 24 Patienten anhand der histologischen Proben ein falsch negatives Ergebnis gestellt wurde. Hieraus ließ sich für alle Punktionsen (n=322) eine Sensitivität von 86%, eine Spezifität von 87% sowie eine Genauigkeit von 93% errechnen. **Tab. 1** zeigt die Ergebnisse der Typpufferenzierung sowie die diagnostischen Qualitätsparameter sämtlicher MRT-gesteuerter Biopsien der verschiedenen Körperregionen.

Bezüglich der Länge des Zugangswegs zeigte sich eine breite Streuung. Der kürzeste Punktionsweg wies bei der Intervention an der Leber (**Abb. 1**) eine Länge von 2,6 cm und der

längste eine Länge von 14,0 cm auf. Bei den Punktionsen im gesamten Abdomen einschließlich des Retroperitoneums (**Abb. 2**) war der kürzeste Zugangsweg 3,9 cm und der längste 14,2 cm. Die Mittelwerte betragen für die Leber 7,8 cm und für das Abdomen 8,9 cm. Für die Punktionsen der Prostata (**Abb. 3**) lag die Länge des Zugangswegs zwischen 10,2 und 14,8 cm mit einem Mittelwert von 13,9 cm.

Der Eingriff wurde von allen Patienten unter Lokalanästhesie gut toleriert. Insgesamt wurden nach den Biopsien 2 Major-Komplikationen gemäß der Klassifikation der Society of Interventional Radiology im Gesamtkollektiv dokumentiert [14]. Hierbei führte eine retroperitoneale Blutung bei einer Patientin und bei einem Patienten eine rektale Blutung zu einer stationären Aufnahme, die aber konservativ behandelt werden konnten. Alle übrigen Patienten tolerierten die MRT-gezielten Eingriffe gut und ohne Auftreten von Major-Komplikationen. Eine Indikation für eine chirurgische Intervention ergab sich bei keiner der 322 Interventionen. Hieraus resultiert eine Morbidität von 0,6% und eine Mortalität von 0%.

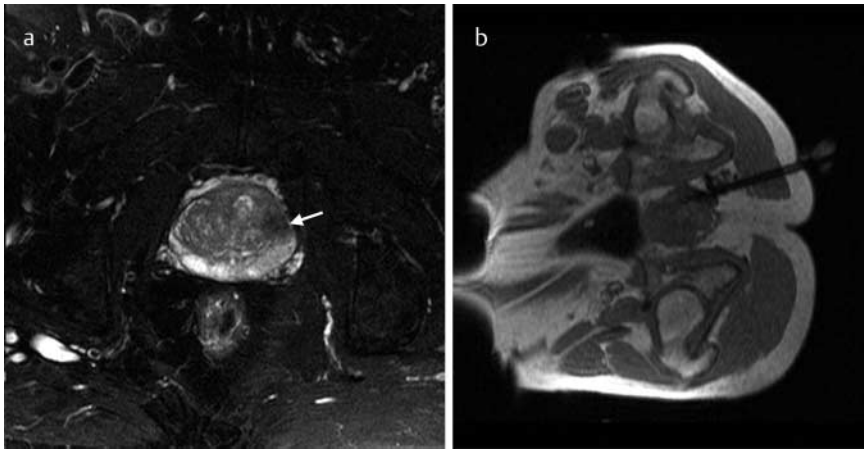


Abb. 3 a Die transversale T2-gewichtete TSE-Sequenz mit FS in einem 1,5 T-System zeigt eine suspekte Läsion (Pfeil) im Bereich der linken Übergangszone. b Transversale T1-gewichtete Flashsequenz (TR/TE = 100/9) im Niederfeldsystem dokumentiert die Lage der Nadel während der Biopsie (b). Die histologische Aufarbeitung der Probe zeigte ein Adenokarzinom.

Diskussion

Radiologisch gesteuerte, minimalinvasive Eingriffe spielen eine immer wichtigere Rolle in der Versorgung von Patienten. Prinzipiell zeichnen sich die bildgesteuerten minimalinvasiven Verfahren durch ein deutlich geringeres periinterventionelles Risiko und einen höheren Patientenkomfort gegenüber den chirurgischen Eingriffen aus [15]. Des Weiteren sind die Kosten dieser Techniken gegenüber chirurgischen Eingriffen deutlich niedriger, sodass auch aus wirtschaftlichen Gründen die bildgesteuerten Interventionen eine immer wichtigere Rolle spielen. Hierbei stellt insbesondere die Sonografie eine weit verbreitete und kostengünstige Technik dar. Großer Nachteil der Sonografie ist jedoch das deutlich kleinere Untersuchungsfeld, sodass eine Punktion mit langen Zugangswegen in vielen Fällen deutlich erschwert ist.

Demgegenüber bieten Computertomografie und Magnetresonanztomografie eine hohe anatomische Auflösung mit einem großen Untersuchungsfeld und eignen sich darum besonders zur Steuerung von schwierigen Interventionen. Gegenüber der nativen CT bietet die native MRT häufig eine bessere Gewebedifferenzierung und Gefäßdarstellung. Zusätzlich erlaubt die MRT neben der Beurteilung von anatomischen Strukturen auch die Erfassung von funktionellen Informationen wie Blutfluss, Temperaturverteilung, Organperfusion und Diffusion durch die Verwendung verschiedener Sequenzen [16].

Ein gewinkelter Zugangsweg erschwert unter CT-Steuerung den Eingriff [17]. Demgegenüber erlaubt die MRT eine multiplanare Schichtorientierung, sodass kraniokaudal angulierte Zugangswege einfacher verwirklicht werden können [18, 19]. Einen weiteren wichtigen Vorteil stellt die fehlende Strahlenbelastung der MRT gegenüber den mit Röntgenstrahlung arbeitenden bildgebenden Verfahren dar. Insbesondere CT-gesteuerte Eingriffe sind hierbei mit einer Strahlenbelastung für Patienten und Radiologen verbunden [20]. Demgegenüber konnten bisher für MRT-Anwendungen keine akuten oder chronischen Schädigungen nachgewiesen werden [21].

Um einen ungehinderten Patientenzugang während den Interventionen zu ermöglichen, wurden von verschiedenen Firmen offene MRT-Systeme in Feldstärken von 0,06–1,5 T entwickelt [5, 8, 22]. Bei den offenen Niederfeldsystemen wurde häufig ein U-förmiger Aufbau des Widerstandsmagneten verwendet. Ein wesentlicher Nachteil der Niederfeldsysteme ist jedoch, dass die Bildqualität der Aufnahmen von der Feldstärke der MRT-Systeme abhängig ist. Die Bildqualität von Niederfeldsyste-

men liegt somit deutlich unter der der Hochfeldsysteme. Aber auch funktionelle Untersuchungen, wie zum Beispiel die MR-Thermometrie, sind feldstärkeabhängig [10, 23, 24]. Aus diesem Grund wurde die Weiterentwicklung der Hochfeldsysteme weiter vorangetrieben. Neben der Entwicklung von Hochfeldsystemen, die dem Design der Niederfeldsysteme ähneln, wurde durch die Änderung des Designs der Standardhochfeldsysteme mit einem größeren Innendurchmesser und kürzeren Magneten nun eine einfachere Durchführung von MRT-Interventionen auch in Hochfeldsystemen möglich, sodass in der Zukunft MRT-Interventionen immer häufiger auch in solchen Systemen durchgeführt werden.

Perkutane Biopsien waren die ersten MRT-gesteuerten interventionellen Eingriffe. Hierbei beschäftigten sich die ersten Arbeiten insbesondere mit Punktionen im Kopf- und Halsbereich [25]. Mit der raschen klinischen Akzeptanz der MRT-Bildgebung und MRT-gesteuerten Interventionen wurden weitere Anwendungen evaluiert [7, 9, 26, 27]. Jedoch muss die MRT hierbei insbesondere bei abdominalen und pelvinen Interventionen mit den schon seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzten und den meisten Radiologen vertrauten Verfahren wie US und CT konkurrieren. Hierbei liegt es auf der Hand, dass MRT-gesteuerte Interventionen keinen Ersatz für kostengünstigere und einfachere Verfahren, wie der US, bei der Durchführung von Interventionen sein sollten. Vielmehr kann hierdurch das Spektrum der minimalinvasiven, perkutanen abdominalen Eingriffe insbesondere bei Läsionen, die mittels US oder CT nicht sicher punktiert werden können, deutlich erweitert werden. Für Interventionen im Kopf- und Halsbereich eignen sich insbesondere schnelle Steady-State-Sequenzen (FISP oder True-FISP), welche Blut hell darstellen und hierdurch Gefäße besser abgrenzbar machen [28]. Demgegenüber empfehlen viele Autoren die Verwendung von T2-gewichteten Turbo-Spin-Echo (TSE)-Sequenzen zur Durchführung von abdominalen Interventionen, da hier die Läsionen besser abgrenzbar sind [29]. Unsere eigenen Erfahrungen zeigen, dass aber auch bei der Durchführung von abdominalen Interventionen im Niederfeldsystem die Verwendung von schnellen T1-gewichteten GRE-Sequenzen hilfreich sein kann. Vorteil dieser Sequenzen ist häufig eine bessere Abgrenzbarkeit der Läsionen. Nachteilig können hier jedoch die starken Nadelartefakte sein, wodurch in einzelnen Fällen die Lokalisation der Läsionen erschwert sein kann.

Durch eine Erhöhung der Geschwindigkeit bei der Bildaufnahme und -berechnung wurden auch Interventionen mittels MR-

Fluoroskopie unter „Echtzeitkontrolle“ möglich [30, 31]. Nachteilig ist jedoch bei der Verwendung von fluoroskopischen Sequenzen, dass die Lage der Nadelspitze falsch eingeschätzt werden kann, wenn die Nadelspitze die Schichtebene verlässt. Zur Durchführung der MRT-gesteuerten Interventionen wurden verschiedene, kommerziell erhältliche Kaliber- und Nadeltypen (Aspirationsnadel, Schneidbiopsie) entwickelt [32]. Die MRT-kompatiblen, nicht ferromagnetischen Aspirations- und Biopsienadeln bestehen in der Regel aus Nickel-, Chrom- und Titanlegierungen. Die Lokalisation der Nadeln erfolgt in der MRT durch den Suszeptibilitätsartefakt der verwendeten Materialien [7, 9, 33]. Aufgrund der speziellen Legierung der MRT-kompatiblen Biopsiesysteme kommt es zu einer schnellen Abnutzung der Nadeln, wodurch eine wiederholte Punktion mit diesen Systemen erschwert wird [32]. Aus diesem Grund wurden bei unseren Patienten routinemäßig mehrere Proben in koaxialer Biopsietechnik entnommen, um ausreichend Gewebe für eine sichere histologische Beurteilung der Proben zu gewinnen.

Ein diagnostisches Verfahren wird durch die Parameter Sensitivität, Spezifität, Treffsicherheit und Vorhersagewert charakterisiert. In der heutigen Zeit des klinischen Managements ist aber auch die Kenntnis der effektiven Genauigkeit und des diagnostischen Nutzens der verschiedenen Verfahren von großer Wichtigkeit [13, 34]. Daher ist eine Bewertung der durchgeführten MRT-gesteuerten Biopsien im Hinblick auf die Genauigkeit auch im Vergleich mit den derzeit routinemäßig verwendeten Verfahren sinnvoll. Anhand der histologischen Ergebnisse ließen sich für Biopsien der Leber eine Sensitivität von 91%, eine Spezifität von 88%, sowie eine Genauigkeit von 98% errechnen.

Im Vergleich zu den Werten der ultraschallgesteuerten Leberpunktionen mit einer Sensitivität zwischen 95,2 und 98% [35, 36] liegen die von uns erhobenen Daten geringgradig unter den für US-Interventionen publizierten Werten. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei unseren Patienten die Leberherde nicht mittels US punktiert werden konnten. Ebenfalls wurden in vielen Studien CT-gesteuerte Verfahren beurteilt. Dabei zeigen sich die ermittelten Werte für CT-gesteuerte Punktionen vergleichbar mit den Werten der MRT-gesteuerten Punktionen [13, 37].

Aber auch MRT-gesteuerte Punktionen von Läsionen des Retroperitoneums, des Abdomens oder Beckens konnten technisch erfolgreich durchgeführt werden. Anhand der Ergebnisse der Punktionen ließen sich eine Sensitivität von 84% und eine Spezifität von 85% für unsere Patientengruppe ermitteln. Auch diese Ergebnisse sind vergleichbar mit den CT-gesteuerten Eingriffen [37] und zeigen, dass die MRT als alternatives bildgebendes Verfahren anstelle der CT zur Punktion dieser Läsionen eingesetzt werden kann. Hierbei bevorzugten wir bei unserer Patientengruppe für die retroperitonealen Punktionen einen dorsalen paravertebralen Zugang ohne Durchquerung der Vena cava inferior für die Probenentnahme. Mittels MRT können auch kranial gewinkelte Zugangswege verwirklicht werden, die eine komplikationslose Punktion von schwer erreichbaren Läsionen wie den Nebennieren erlauben [18].

Ebenfalls erlaubt die MRT die Punktion oder Lokalisation von Herdbefunden der Mamma, die mittels US oder Mammografie nicht visualisiert werden können. Hierbei wird die Lokalisation der Herde durch Kontrastmittelapplikation verbessert. Bisher benutzen die meisten Autoren geschlossene Hochfeldsysteme zur Steuerung der Interventionen [26]. Hierfür wurden ver-

schiedene Stereotaxiesysteme entwickelt, die heute auch kommerziell erhältlich sind. Diese Systeme sind in die Bildgebungsspulen integriert und sollen eine ausreichende Immobilisation der Mamma und gute Steuerung der Intervention erlauben. Einige Autoren berichten aber auch über erfolgreiche Punktionen, Drahtmarkierungen oder Interventionen der Mamma in offenen Niedrigfeldsystemen oder Mittelfeldsystemen unter Echtzeitsteuerung [38, 39].

Für die Steuerung von Prostatainterventionen stellt derzeit der transrektale Ultraschall (TRUS) den „Goldstandard“ dar. Dennoch ist die Visualisierung von Prostataläsionen bei der Verwendung des Ultraschalls in vielen Fällen nur eingeschränkt möglich, sodass bei vielen Patienten trotz erhöhten PSA-Werts negative Biopsieergebnisse erzielt werden und repetitive Biopsien nötig sind, um ein Prostatakarzinom nachzuweisen [40]. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass die MRT-Bildgebung und Protonenspektroskopie, neben der Beurteilung der Prostataanatomie und der Tumorbiologie, auch zur Steuerung von Biopsien der Prostata geeignet sind [41, 42]. Unserer Ergebnisse zeigen, dass die MRT-gesteuerte Prostatabiopsie eine vielversprechende Technik darstellt, deren Stellenwert in einem größeren Patientenkollektiv evaluiert werden sollte.

Demgegenüber liegt der Vorteil der CT-gesteuerten Interventionen insbesondere in der Darstellung von Lungenstrukturen sowie möglicher Komplikationen, was mittels CT-Bildgebung im Vergleich zur MRT besser gelingt. Unsere Erfahrungen mit Punktionen von Lungenherden zeigten, dass die Nadelverfolgung insbesondere im Lungenparenchym und hierdurch die Steuerung der Intervention erschwert sein können. Auch ist das Monitoring möglicher Komplikationen, wie z.B. eines Pneumothorax mittels MRT erschwert. Aus diesem Grunde ist die Indikation zur MRT-gesteuerten Punktion von Lungenrundherden derzeit zurückhaltend zu stellen.

Die Anwendung der MRT-gesteuerten Biopsie hat aber auch Beschränkungen. So können Läsionen, die kleiner als 1 cm sind, durch den Instrumentenartefakt verdeckt werden. Hierdurch kann die Visualisierung der Läsionen erschwert sein [43]. Jedoch stoßen bei solch kleinen Läsionen auch die anderen zur Verfügung stehenden bildgebenden Verfahren an ihre Grenzen. Da die MR-Technologie sehr kostenintensiv ist, ist die Realisierung derartiger Projekte abhängig zum einen von den finanziellen Rahmenbedingungen und zum anderen von der Abschätzung des Potenzials von MR-Interventionen, basierend auf bisher erzielten Ergebnissen und schlüssigen zukunftsweisenden Konzepten. Hierbei ist jedoch zu betonen, dass die interventionelle MRT in erster Linie nicht das Ziel hat, als alternatives bildgebendes Verfahren zur Steuerung bisher gebräuchlicher Methoden zu dienen. Vielmehr steht die Entwicklung neuer minimalinvasiver Verfahren, die nur durch MR-Kontrolle realisiert werden können, im Vordergrund.

Zusammenfassung



Nachdem sich die Magnetresonanztomografie (MRT) im klinischen Alltag als ein wichtiges diagnostisches Verfahren etabliert hat, zeigte sich in den letzten Jahren, dass die MRT auch ein großes Potenzial zur Steuerung und Kontrolle von Interventionen besitzt. Große Vorteile der MRT sind hierbei der hohe Kontrastumfang, die Möglichkeit der freien Schichtorientierung und das Fehlen von ionisierender Strahlung, welche eine sichere Steuerung der Interventionen ermöglichen.

Das Spektrum der MRT-Interventionen ist in den letzten Jahren immer mehr erweitert worden. Unsere Ergebnisse zeigen, dass MRT-gesteuerte Biopsien verschiedener Körperregionen ein sicheres und potentes Verfahren darstellen.

Literatur

- 1 Lufkin RB. Interventional MR imaging. *Radiology* 1995; 197: 16–18
- 2 Duckwiler G, Lufkin RB, Hanafee WN. MR-directed needle biopsies. *Radiol Clin North Am* 1989; 27: 255–263
- 3 Schenck JF, Jolesz FA, Roemer PB et al. Superconducting open-configuration MR imaging system for image-guided therapy. *Radiology* 1995; 195: 805–814
- 4 Frahm CGH, Weiss HD, Roßberg WA. Technik der MRT-gesteuerten Stanzbiopsie im Abdomen an einem offenen Niederfeldgerät: Durchführbarkeit und erste klinische Ergebnisse. *Fortschr Röntgenstr* 1996; 164: 62–67
- 5 Steiner P, Schoenenberger AW, Penner EA et al. Interaktive, stereotaktische Interventionen im supraleitenden, offenen 0,5-Tesla-MR-Tomographen. *Fortschr Röntgenstr* 1996; 165: 276–280
- 6 Fritz J, Pereira PL. MR-gesteuerte Schmerztherapie: Prinzipien und klinische Applikationen. *Fortschr Röntgenstr* 2007; 179: 914–924
- 7 Adam G, Glowinski A, Neuerburg J et al. Kathetervisualisierung in der MR-Tomographie: erste tierexperimentelle Erfahrungen mit Feldinhomogenitätskathetern. *Fortschr Röntgenstr* 1997; 166: 324–328
- 8 Bucker A, Adam G, Neuerburg JM et al. Interventionelle Magnetresonanztomographie – nichtinvasive Bildgebung für Interventionen. *Fortschr Röntgenstr* 2000; 172: 105–114
- 9 Gehl HB, Frahm C, Schimmelpennig H et al. MRT-gesteuerte abdominelle Drainagen an einem offenen Niederfeldmagneten. Durchführbarkeit und erste Ergebnisse. *Fortschr Röntgenstr* 1996; 165: 70–73
- 10 Vogl TJ, Mack M, Straub R et al. Perkutane interstitielle Thermotherapie maligner Lebertumoren. *Fortschr Röntgenstr* 2000; 172: 12–22
- 11 Wacker FK, Bock M. Magnetresonanztomographie-gestützte endovaskuläre Interventionen. *Fortschr Röntgenstr* 2007; 179: 355–364
- 12 Eickmeyer F, Schwarzaier HJ, Müller FP et al. Langzeitüberleben nach laserinduzierter interstitieller Therapie. *Fortschr Röntgenstr* 2008; 180: 35–41
- 13 Wutke R, Schmid A, Fellner F et al. CT-gesteuerte perkutane Schneidbiopsie: effektive Genauigkeit, diagnostischer Nutzen und effektive Kosten. *Fortschr Röntgenstr* 2001; 173: 1025–1033
- 14 Cardella JF, Bakal CW, Bertino RE et al. Quality improvement guidelines for image-guided percutaneous biopsy in adults. *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14: S227–S230
- 15 Yao L, Nelson SD, Seeger LL et al. Primary musculoskeletal neoplasms: effectiveness of core-needle biopsy. *Radiology* 1999; 212: 682–686
- 16 Duerk JL, Butts K, Hwang KP et al. Pulse sequences for interventional magnetic resonance imaging. *Top Magn Reson Imaging* 2000; 11: 147–162
- 17 van Sonnenberg E, Wittenberg J, Ferrucci JT et al. Triangulation method for percutaneous needle guidance: the angled approach to upper abdominal masses. *Am J Roentgenol* 1981; 137: 757–761
- 18 Zangos S, Eichler K, Wetter A et al. MR-guided biopsies of lesions in the retroperitoneal space: technique and results. *Eur Radiol* 2006; 16: 307–312
- 19 Zangos S, Kiefl D, Eichler K et al. MRT-gezielte perkutane Biopsie bei unklaren fokalen Leberläsionen: Technik und Ergebnisse. *Fortschr Röntgenstr* 2003; 175: 688–694
- 20 Daly B, Krebs TL, Wong-You-Cheong JJ et al. Percutaneous abdominal and pelvic interventional procedures using CT fluoroscopy guidance. *Am J Roentgenol* 1999; 173: 637–644
- 21 Sherlock FG, Crues JV. MR procedures: biologic effects, safety, and patient care. *Radiology* 2004; 232: 635–652
- 22 Merkle EM, Lewin JS, Liebenthal R et al. The interventional MR imaging suite: magnet designs and equipment requirements. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2005; 13: 401–413
- 23 Reither K, Wacker F, Ritz JP et al. Laserinduzierte Thermotherapie (LITT) von Lebermetastasen in einem offenen 0,2 T MRT. *Fortschr Röntgenstr* 2000; 172: 175–178
- 24 Meister D, Hubner F, Mack M et al. MR-Thermometrie bei 1,5 Tesla zur thermischen Ablation mittels laserinduzierter Thermotherapie. *Fortschr Röntgenstr* 2007; 179: 497–505
- 25 Trapp T, Lufkin R, Abemayor E et al. A new needle and technique for MRI-guided aspiration cytology of the head and neck. *Laryngoscope* 1989; 99: 105–108
- 26 Schmitt R, Helmberger T, Fellner F et al. Markierung nicht-palpabler Mammatumoren in der MRT. *Fortschr Röntgenstr* 1993; 159: 484–486
- 27 Wacker FK, Faiss S, Reither K et al. MR imaging-guided biliary drainage in an open low-field system: first clinical experiences. *Fortschr Röntgenstr* 2000; 172: 744–747
- 28 Derakhshan JJ, Duerk JL. Update to pulse sequences for interventional MR imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2005; 13: 415–429
- 29 Bucker A, Adam G, Neuerburg JM et al. MR-gesteuerte Biopsien mit einer hochauflösenden T2-gewichteten Turbo-Spin-Echo-Sequenz „Lo-Lo“: Erste klinische Erfahrungen. *Fortschr Röntgenstr* 1997; 167: 491–495
- 30 Busch M, Bornstedt A, Wendt M et al. Fast “real time” imaging with different k-space update strategies for interventional procedures. *J Magn Reson Imaging* 1998; 8: 944–954
- 31 Duerk JL, Lewin JS, Wu DH. Application of keyhole imaging to interventional MRI: a simulation study to predict sequence requirements. *J Magn Reson Imaging* 1996; 6: 918–924
- 32 Langen HJ, Kugel H, Ortmann M et al. Funktionsfähigkeit MR-kompatibler Biopsienadeln im Vergleich zu ferromagnetischen Biopsienadeln. In-vitro-Untersuchungen. *Fortschr Röntgenstr* 2001; 173: 658–662
- 33 Lewin JS, Duerk JL, Jain VR et al. Needle localization in MR-guided biopsy and aspiration: effects of field strength, sequence design, and magnetic field orientation. *Am J Roentgenol* 1996; 166: 1337–1345
- 34 Fraser-Hill MA, Renfrew DL. Percutaneous needle biopsy of musculoskeletal lesions. 1. Effective accuracy and diagnostic utility. *Am J Roentgenol* 1992; 158: 809–812
- 35 Marco-Domenech SF, Gil-Sanchez S, Fernandez-Garcia P et al. Sonographically guided percutaneous biopsy of gastrointestinal tract lesions. *Am J Roentgenol* 2001; 176: 147–151
- 36 Yu SC, Liew CT, Lau WY et al. US-guided percutaneous biopsy of small hepatic lesions. *Radiology* 2001; 218: 195–199
- 37 Chojniak R, Isberner RK, Viana LM et al. Computed tomography guided needle biopsy: experience from 1,300 procedures. *Sao Paulo Medical Journal* 2006; 124: 10–14
- 38 Perlet C, Schneider P, Amaya B et al. MRT-geführte Vakuumbiopsie bei 206 kontrastmittelanreichernden Läsionen der Mamma. *Fortschr Röntgenstr* 2002; 174: 88–95
- 39 Obenauer S, Grabbe E, Knollmann F. Stellenwert der MR-gestützten Lokalisation und Biopsie von Brustläsionen. *Fortschr Röntgenstr* 2006; 178: 477–483
- 40 Djavan B, Ravery V, Zlotta A et al. Prospective evaluation of prostate cancer detected on biopsies 1, 2, 3 and 4: when should we stop? *J Urol* 2001; 166: 1679–1683
- 41 Zangos S, Eichler K, Engelmann K et al. MR-guided transgluteal biopsies with an open low-field system in patients with clinically suspected prostate cancer: technique and preliminary results. *Eur Radiol* 2005; 15: 174–182
- 42 Beyersdorff D, Winkel A, Hamm B et al. MR imaging-guided prostate biopsy with a closed MR unit at 1.5 T: initial results. *Radiology* 2005; 234: 576–581
- 43 Adam G, Bucker A, Nolte-Ernsting C et al. Interventional MR imaging: percutaneous abdominal and skeletal biopsies and drainages of the abdomen. *Eur Radiol* 1999; 9: 1471–1478