

Möglichkeiten mit der MRT-gesteuerten Tumorbiopsie am Bewegungsapparat

Zusammenfassung

Die Überprüfung der Genauigkeit, der Durchführbarkeit und die Erfassung eventueller Komplikationen der MRT-gesteuerten Tumorbiopsie am Bewegungsapparat war Ziel dieser prospektiven Studie. Die Genauigkeit der Punktion wurde in einer Ex-vivo-Versuchsreihe überprüft. Anhand von 19 Punktionen an 18 Patienten erfolgte die klinische Evaluation der MRT-gesteuerten Biopsie. Alle Eingriffe wurden ambulant durchgeführt. Hiervon waren 15 Knochen- und 4 Weichteilbiopsien an Becken und Extremitäten. Vor jeder Punktion erfolgte eine konventionelle MRT zur Darstellung der topographischen Lagebeziehung zu benachbarten Strukturen und zur Unterscheidung solider von liquiden Anteilen der zu punktierenden Läsion. Bei soliden Tumoren erfolgte eine Kontrastmittelgabe, um perfundierte vitale Tumoranteile von nekrotischen Arealen unterscheiden zu können.

Für die eigentliche Biopsie wurden zunächst T1-gewichtete Gradientenechos zur Bestimmung der Lokalisation der Biopsiestelle durchgeführt. Die Lagekontrolle der Biopsienadel erfolgte mit T2-gewichteten TurboSpinechos. Bei allen Biopsien konnten ein oder mehrere Gewebezylinder (Durchmesser 4 mm) entnommen werden. Bei 14 von 18 Patienten (78%) war damit eine histologische Diagnose möglich. In 1 Fall einer solitären Knochenzyste erfolgte eine therapeutische intraläsionale Steroidapplikation. Verantwortlich für die 4 negativen Histologien war in erster Linie ein zu geringes Präparatvolumen. Als potentiell lösbarer Nachteil der Methode ist die verhältnismäßig lange Interventionsdauer zu erwähnen. Die einzige Komplikation bestand in einem nicht behandlungsbedürftigen post-interventionellen Hämatom.

Die MRT-gestützte Biopsie bietet potentiell den Vorteil eines minimal-invasiven Verfahrens mit der Möglichkeit einer Darstellung und exakten Punktion eines repräsentativen Tumorareals. Technische Verbesserungen sind jedoch vor der Einführung der MRT-gestützten Biopsie als Routinediagnostik notwendig.

Schlüsselwörter

MRT · Knochentumor · Weichteiltumor · Biopsie

Das weite therapeutische Spektrum in der onkologischen Orthopädie, bedingt durch die Verschiedenheit der Tumorentitäten, Lokalisationen und Prognosen, erfordert eine sichere Tumorklassifikation vor einer definitiven Operation [22]. Klinische Parameter in Kombination mit der apparativen Diagnostik (Sonographie, Röntgen, MRT, CT, Szintigraphie und PET) ermöglichen zwar in vielen Fällen eine Verdachtsdiagnose zu stellen, die endgültige histologische Diagnosesicherung macht jedoch in vielen Fällen eine Biopsie erforderlich. Bei Tumornachweis ist häufig die offene operative Entfernung des Tumors, welche nach onkologischen Gesichtspunkten zu erfolgen hat, notwendig [3].

Präzise histologische, immunhistologische und molekularbiologische Untersuchungsmethoden ermöglichen die Diagnosestellung eines Tumors auch anhand einer geringen Biopsiemasse [6, 13, 23, 26, 27, 28]. Hierdurch besteht die Voraussetzung für die Anwendung mini-

mal-invasiver Verfahren, wie der MRT-gesteuerten Biopsie zur Präparatgewinnung [1, 9, 16, 20, 21]. Bei dieser Methode wird analog zur CT-gesteuerten Punktion anhand von Schnittbildern die Punktionstelle markiert und die Punktion mit einer MR-kompatiblen Kanüle durchgeführt.

Die Suszeptibilitätsunterschiede (unterschiedliche Magnetisierbarkeit) zum umliegenden Gewebe ermöglichen die passive Sichtbarmachung der nicht ferromagnetischen 3–6 mm starken Punktionskanülen [19]. Dieses physikalische Prinzip ermöglicht die MRT-kontrollierte Gewebeentnahme zur Diagnosesicherung eines Tumors. Hierbei liegt der spezifische Vorteil der MRT-gestützten Methode neben der fehlenden Strahlenbelastung, in der Sichtbarmachung von vitalem Tumorgewebe durch entsprechende Kontrastmittelaufnahme.

Ziel der Studie war die Überprüfung der Genauigkeit, der Durchführbarkeit und die Erfassung eventueller Komplikationen der MRT-gesteuerten Tumorbiopsie am Bewegungsapparat.

Material und Methodik

Die Genauigkeit der MRT-gesteuerten Punktion wurde in einer ersten Ex-vivo-Versuchsreihe überprüft. Der Länge nach aufgesagte Schafunterschenkel

© Springer-Verlag 2002

Dr. W. Daecke
Stiftung Orthopädische Universitätsklinik,
Schlierbacher Landstraße 200,
69118 Heidelberg
E-Mail: wolfgang.daecke@ok.
uni-heidelberg.de

W. Daecke · M. Libicher · U. Mädler
C. Rumpf · L. Bernd

MRI-guided musculoskeletal biopsy

Abstract

MRI-guided musculoskeletal biopsy has been mentioned to be a minimally invasive method to obtain specimens for diagnostic purposes in bone tumors. To evaluate the viability, to assess the accuracy, and to record possible complications of this method, clinical data of 19 MRI-guided biopsies were analyzed. Interventions were performed on 18 patients (1–78 years) as an outpatient procedure: 15 skeletal and 4 soft tissue biopsies were taken from the pelvis, upper limb, or lower limb. We used T1-weighted gradient echoes (GE) for locating the puncture site and T2-weighted turbo spin echoes (TSE) for visualization of needle position. In 14 of 18 MRI-guided biopsies, a definite histological diagnosis was obtained. According to the pathologist, the inadequate size of the specimen was the main reason for missing the diagnoses in four cases. Long intervention time and inappropriate biopsy tools proved to be the main disadvantages of MRI-guided biopsy, but technical improvement might solve these technical problems in future. A postbiopsy hematoma was the only complication observed. Once technically improved, MRI-guided biopsy could be a precise alternative routine method for musculoskeletal biopsies in future.

Keywords

MRI · Bone tumor · Soft tissue tumor · Biopsy



Abb. 1 ▲ Überprüfung der Punktionsgenauigkeit im Modellversuch (Pfeil Medikamentenkapsel als Marker)

(20 cm Durchmesser) wurden auf dem MRT-Tisch eines 1,0-Tesla-Scanner (Gyrosan NT 10, Fa. Philips, Niederland) fixiert. Eine 5 mm große Medikamentenkapsel (Nitrolingual-Kapseln, Fa. Pohl-Boskamp, Hohenlockstedt) wurde als Tumorerersatz an verschiedenen Stellen sowohl zentral als auch dezentral in den Knochen eingelegt. Nach Darstellung der Ersatzläsion im MRT erfolgte unter Verwendung einer speziell angefertigten MRT-kompatiblen Biopsieeinheit (verschiebbarer Kunststoffbogen mit Bohrungen in unterschiedlichem Winkel, sowie Titanbiopsieinstrumentarium, Fa. Daum medical, Schwerin) die MRT-kontrollierte Punktion. Für diese Versuchsreihe wurde die selbe T2-gewichtete Turbospinechosequenz und die selbe Oberflächenspule wie bei der klinischen Anwendung verwendet. Die Treffgenauigkeit wurde optisch (durch Aufspreizen des längsgespaltenen Präparates) überprüft bzw. der Abstand zwischen Punktionsinstrumentarium und Ersatztumor in Zentimetern gemessen (Abb. 1).

Auch die MRT-gestützte Gewebeentnahme am Patienten erfolgte in dem 1,0-Tesla-Gerät (Gyrosan NT 10, Fa. Philips). Zu Beginn der Studie wurden nur Läsionen mit einem Mindestdurchmesser des Tumors von 5 cm biopsiert. Im weiteren Verlauf wurde das Verfahren auch bei kleineren Tumoren angewandt. Auf Biopsien im Bereich der Wirbelsäule wurde verzichtet, da hierfür eine hohe Präzision zu fordern ist, die im Rahmen der Studie erst zu bestätigen

war. Vor der Untersuchung wurden die Patienten über die Methode aufgeklärt und willigten in den Eingriff ein. Die Biopsie erfolgte ambulant in Lokalanästhesie mit zusätzlicher i.v.-Analgesiedierung. Für eine höhere bildliche Auflösung der entsprechenden Region wurde eine Oberflächenspule über der Punktionsstelle platziert.

Nach Orientierung anhand der Planungsbilder in 3 Ebenen (survey) wurde auf der Haut über dem Tumor eine Markerreihe (Nitrolingual-Kapseln, Fa. Pohl-Boskamp) befestigt. T1-gewichtete Gradientenechos (FFE, TR/TE: 112/7 ms, Flipwinkel $\alpha=70^\circ$) der PunktionsEbene (in der Regel in transversaler oder multiplanarer Ausrichtung) dienten der Zugangsplanung (Abb. 2). Die Abbildung der oberflächlichen Marker als auch des Tumors ermöglichte die Identifizierung des optimalen Zugangsweges.

Nach Definierung der Schnittebene, des Punktionswinkels und der Punktionsstiefe wurde entsprechend der Planung, ein Trokar (Titanbiopsieinstrumentarium, Durchmesser 4 mm, Fa. Daum medical, Schwerin) nach Stichinzision der Haut bis zum Knochen vorgeschoben und in der Kortikalis verankert. Die exakte Ausrichtung des Zugangsweges wurde mit einer T2-gewichteten Turbospinechosequenz (TR/TE=3000/130 ms) kontrolliert. Anschließend konnte mit der Punktionskanüle das Präparat gewonnen werden. Auch bei diesem Arbeitsschritt wurde die Lage der Kanüle mit der T2-gewichteten Sequenz erneut dokumentiert (s. Abb. 2). Nach Entnahme von 1–3 Biopsiezylindern wurde der Trokar entfernt und die Inzisionswunde steril verbunden.

Ergebnisse

Bei der Überprüfung der Genauigkeit der MRT-gesteuerten Punktion im Modellversuch ($n=10$) betrug die mittlere Abweichung zwischen Kanülenspitze und „Tumorzentrum“ 2 mm. Das 95%-Konfidenzintervall der Trefferwahrscheinlichkeit lag zwischen 72–97%.

Die interdisziplinäre klinische Studie wurde in dem Zeitraum von Juli 1998 bis Oktober 2000 durchgeführt. Es erfolgten 19 MRT-gesteuerte Punktionen an 18 Patienten. Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug 55 (1–78) Jahre. Punktiert wurde bei 12 Männern und 6 Frauen. Die Dauer des Eingriffs lag

zwischen ca. 30 und 90 min. Das durchschnittliche Punktattvolumen betrug 8,5 mm³. Von den insgesamt 15 Knochenbiopsien wurden 6 am Becken, 4 am Femur, 3 am Humerus, sowie jeweils eine an Tibia und Talus durchgeführt. Die 4 Weichteiltumoren wurden im Bereich der Schulter, des Unterschenkels und in 2 Fällen am Oberschenkel biopsiert.

Bei 14 der MRT-gesteuerten Biopsien konnte anhand des gewonnenen Präparats eine Diagnose gestellt werden (Tabelle 1). Diese umfasste 4 Chondrosarcome, 2 Adenokarzinommetastasen, 2 Non-Hodgkin-Lymphome, ein Synovialzellsarkom und jeweils eine Myositis ossificans, eine solitäre Knochenzyste und eine Osteomyelitis. In 2 Fällen mit radiologisch auffälligem Befund (Verdacht auf Metastase bei Pankreaskarzinom, Verdacht auf metastatische Knochenmarkinfiltration) konnte die histologische Aufarbeitung der Präparate einen pathologischen Prozess ausschließen. Eine offene Biopsie erfolgte bei diesen 2 Patienten nicht und der weitere klinische Verlauf war vereinbar mit dem histologischen Ergebnis. Bei 1 Patient, bei dem die Bildgebung die Charakteristika einer solitären Kochenzyste aufwies, wurde zusätzlich zur MRT-gestützten Biopsie, Steroid intraläsional appliziert.

Vier Patienten mussten offen operativ nachbiopsiert werden, weil eine eindeutige Diagnosestellung des Tumors nicht möglich war. Aufgrund der geringen Gewebemenge konnte bei 2 Fällen keine immunhistochemische Aufarbeitung des Präparats zur Abwägung der Differenzialdiagnosen durchgeführt

werden. Hierbei handelte es sich um ein malignes Schwannom (Nr. 3) und ein Plasmozytom (Nr. 14). Eine besondere Situation bestand bei Patient Nr. 7 mit einer zystischen Läsion im M. psoas.

In der 1. MRT-gestützten Punktion konnte 700 ml blutiges Sekret gewonnen werden, ohne jedoch ausreichend Material der Zystenwand zu erhalten. Die 2. MRT-Biopsie, welche von einem anderen Zugangsweg durchgeführt wurde, konnte ebenfalls keine Diagnose sichern. Bei diesem Patienten erbrachte die offene Präparatgewinnung als endgültige Diagnose eine intramuskuläre Pseudozyste mit Arrosion des Os ilium. Bei einer Patientin mit Leiomyosarkom (Nr. 10) gelang trotz offener Biopsie die endgültige Diagnosestellung erst durch histologische Aufarbeitung des gesamten Resektats. In diesem Fall konnte anhand der sekundär offen durchgeführten Biopsie nur die Malignität der Läsion nachgewiesen werden. Geringfügige vom Peroist stammende und bei der Biopsie verlagerte Knorpelgewebeanteile hatten den Verdacht auf das Vorliegen eines entdifferenzierten Chondrosarkoms gelenkt.

Als einzige Komplikation der MRT-gestützten Biopsie wurde ein nicht behandlungsbedürftiges postinterventionelles Hämatom am Fuß beobachtet.

Diskussion

In dieser Studie konnte bei 14 von 18 Patienten (78%), (14 von 19 Punktionen) eine histologische Diagnose durch die MRT-gesteuerte Biopsie gestellt werden. Verantwortlich für die 22% der Fälle

ohne endgültige Diagnosestellung war in erster Linie ein nicht ausreichendes Biopsievolumen. Zur Überraschung lag das durchschnittliche Volumen der Fälle ohne definitive Diagnose jedoch nicht unter dem Durchschnittsvolumen der erfolgreichen Biopsien. Es ist aber bekannt, dass die Schwierigkeit der histologischen Differenzierung eines Tumors insbesondere von dessen Entität abhängt [6, 13]. Dieses Problem bestand im Fall Nr. 3 und insbesondere bei Patient Nr. 10, bei dem auch die offene Biopsie nicht zu einer endgültigen Diagnose führte. Bei Patient Nr. 7 mit einer Pseudozyste im Psoasmuskel beruhte die Diagnose des Pathologen auf der Einbeziehung der radiologischen Darstellung und war somit ebenfalls trotz offener Biopsie deutlich erschwert.

Neuerburg [21] berichtet über eine ähnliche Quote der Diagnosesicherung durch die MRT-gesteuerte Gewebeentnahme. In seiner Studie konnten 17 von 23 Biopsien (73%) eine positive Histologie erzielen. Aufgrund unzureichender Materialentnahme war in 3 Fällen eine histologische Klassifikation nicht möglich. In 3 weiteren Fällen wurde eine falsche Diagnose gestellt. Das zu geringe Gewebevolumen wird als führendes Problem der minimal-invasiven Biopsie von weiteren Autoren bestätigt [2, 7, 13].

Von einer neuen minimal-invasiven Methode ist aber selbst in Fällen einer erschwerten Differentialdiagnostik eine sichere Diagnosestellung zu fordern. Die Entnahmen größerer Präparatevolumina könnte hierbei hilfreich sein. Auch der biopsierte Tumoranteil ist für die histologische Diagnose von großer Bedeutung. So ist eine Materialgewinnung aus einem repräsentativen proliferativen Tumorbereich notwendig. Die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglicht die Darstellung der stoffwechselaktiven Tumoranteile durch eine vermehrte Kontrastmittelaufnahme. Diese Tumorregionen können daher durch Kontrastmittelgabe vor der Biopsie identifiziert und gezielt punktiert werden. Die gezielte Darstellung und Punktion des proliferativen Tumoranteils ist ein bedeutender Vorteil der MRT-gesteuerten Biopsie gegenüber allen anderen Verfahren. Der Nachweis der Treffsicherheit der MRT-gesteuerten Punktion im Modellversuch konnte eine mangelnde Präzision als Ursache für die 4 Diagnoseversager ausschließen. Dies

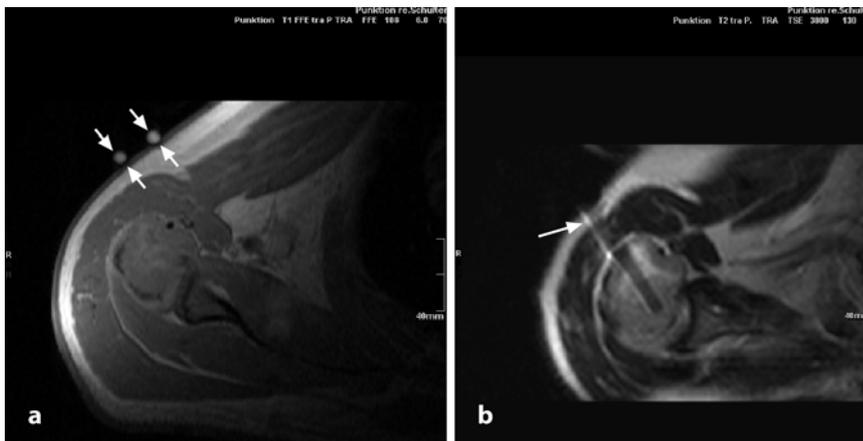


Abb. 2a,b ▲ Bildgebung der Punktion Humerus bei Patient Nr. 5 (a Pfeile Markerreihe, b Pfeil Punktionskanüle)

Tabelle 1

Lokalisation, Diagnose und Biopsiemethode zur Diagnosestellung

Patient Nr.	Lokalisation	Definitive Diagnose	Diagnose durch	
			MRT-gesteuerte Biopsie	Offene Biopsie
1	Femur	Adenokarzinom	Ja	
2	Becken	Chondrosarkom (G1)	Ja	
3	Unterschenkel (WT)	Malignes Schwannom	Nein	Ja
4	Schulter (WT)	Synovialtellsarkom	Ja	
5	Humerus	Non-Hodgkin-Lymphom	Ja	
6	Becken	Chondrosarkom	Ja	
7	Becken	Pseudozyste	Nein	Ja
7	Becken	Pseudozyste	Nein	
8	Tibia	Non-Hodgkin-Lymphom	Ja	
9	Becken	Normalbefund	Ja	
10	Femur	Leiomyosarkom	Nein	Nein
11	Becken	Osteomyelitis	Ja	
12	Oberschenkel (WT)	Chondrosarkom (G1)	Ja	
13	Humerus	Solitäre Knochenzyste	Ja	
14	Humerus	Plasmozytom	Nein	Ja
15	Femur	Chondrosarkom (G1)	Ja	
16	Oberschenkel (WT)	Myositis ossificans	Ja	
17	Femur	Normalbefund	Ja	
18	Talus	Adenokarzinom	Ja	

WT Weichteilbiopsie

entspricht den Erfahrungen anderer Arbeitsgruppen [10].

Weitere Entwicklungsarbeit ist bei dem Biopsieinstrumentarium zu fordern. Dieses war insbesondere an sklerotischem Knochen zu verformbar, eine Erfahrung die auch andere Autoren bestätigten [20]. Auch war eine Alteration des biopsierten Gewebes bei sklerotischen Tumoren zu beobachten. Durch die Verwendung von härteren motorgesteuerten Bohrern ist eine schonendere und leichtere Materialgewinnung zu erwarten.

Die beengten räumlichen Verhältnisse im MRT erschweren die Intervention und erhöhen daher die potentielle Infektionsgefahr. Offensichtlich scheint dieses Problem jedoch nicht von großer Bedeutung zu sein, weil weder in unserer Studie noch von anderen Autoren Infektionen nach Biopsie festgestellt wurden [21].

Die verhältnismäßig lange Eingriffsdauer kann zwar durch zunehmende Erfahrung verkürzt werden, ist aber gegenwärtig noch ein bedeutender Nachteil der Methode. Bei dem von uns verwendeten Scanner handelt es sich um

ein geschlossenes System. Der Patient musste daher für die einzelnen Interventionen aus dem Isozentrum verlagert werden, wodurch sich ein deutlicher Zeitverlust ergibt. Nach Salomonowitz [25] kann jedoch unter gleichen Bedingungen bei entsprechender Erfahrung die durchschnittliche Interventionszeit auf 19 min gesenkt werden. Durch schnellere Sequenzen und offene Geräte [1] wird in Zukunft die Abbildung sich der Echtzeitbildgebung annähern. Modifikationen für schnellere Aquisitionen wurden bereits publiziert [4, 17]. Hierdurch ist eine weitere Verkürzung der Eingriffszeit bei verbesserter bildgebender Kontrolle zu erwarten.

Durch Verwendung von dünnen Punktionskanülen kann bei der MRT-gesteuerten Biopsie Gewebe zur Diagnosestellung gewonnen werden ohne einen größeren operativen Zugangsweg zu verwenden. Während bei der konventionellen offenen Biopsie von malignen Tumoren die aus onkologischen Gesichtspunkten notwendige En-block-Resektion des Biopsiezugangsweges bei der definitiven Tumoroperation teilweise aufwendige plastische Verfahren zur

Rekonstruktion der Weichteile notwendig werden lässt, ist der Weichteilverlust des Biopsiekanals der Punktionskanüle deutlich geringer. Hierdurch kann der Aufwand bei rekonstruktiven Tumoroperationen in einigen Fällen verringert werden. Obwohl die Gefahr von Impfmastasen als gering einzuschätzen ist [5, 8], sollte der Punktionskanal markiert werden, um bei der definitiven Tumoroperation eine vollständige Resektion zu ermöglichen. Ein weiterer Vorteil der in Lokalanästhesie durchführbaren minimal-invasiven Biopsie gegenüber der offenen Probeentnahme ist in der geringeren Invalidisierung und kürzeren Hospitalisierung der Patienten zu sehen.

Die MRT-gesteuerte Biopsie am Bewegungsapparat muss sich jedoch nicht nur mit der offenen operativen Biopsie sondern auch mit anderen minimal-invasiven Verfahren messen. In einer aktuellen Studie von Duda [7] wird die diagnostische Treffsicherheit der CT-gesteuerten Biopsie mit 80% angegeben. Somit bietet die MRT-gesteuerte Biopsie bei fehlender Strahlenbelastung, einen CT-gestützten Verfahren vergleichbare Trefferquote [14, 15, 21]. Die Möglichkeit der multiplanaren Darstellung der Biopsieebene im MRT stellte sich als Vorteil gegenüber dem CT insbesondere am Becken da. Hierdurch kann die Abbildungsebene der optimalen Punktionssebene entsprechen und somit die Punktionskanüle auch bei schrägem Verlauf längs dargestellt werden. Ein zusätzlicher Vorteil der MRT im Vergleich zur CT ist in der besseren Darstellung der Weichteilkomponente eines Tumors zu sehen. Hierdurch ist auch die Voraussetzung einer zuverlässigen Biopsie von Weichteiltumoren gegeben. Gegenüber den bei Weichteiltumoren eingesetzten sonographisch gestützten Verfahren [12, 24] bietet die MRT-gesteuerte Biopsie den Vorteil der Darstellung und gezielten Biopsie der stoffwechselaktiven Tumoreale durch Kontrastmittelgabe vor der Intervention.

Wann besteht die Indikation zur Durchführung einer MRT-gesteuerten Tumorbiopsie? Ähnlich unseren Erfahrungen belegen auch die Ergebnisse anderer Studien die Durchführbarkeit und diagnostische Relevanz der MRT-gesteuerten Biopsie am Bewegungsapparat. So wird die diagnostische Trefferquote mit 73,0–92,7% angegeben [21,

25]. Der MRT-gesteuerten Biopsie mit ihren spezifischen oben ausführlich beschriebenen Schwierigkeiten steht die etablierte und schnell durchführbare offene Biopsie gegenüber. Der Vorteil des MRT-gesteuerten Verfahrens liegt zum einen in der zuverlässigen Lokalisation des Herdes bei radiologisch schlecht darstellbaren Läsionen (z. B. Knochenmark, Weichteiltumoren), zum anderen ermöglicht das Verfahren bei schwer zugänglichen Körperregionen (z. B. Becken und Wirbelsäule) die Durchführung einer bildgebend kontrollierten Biopsie. Die Indikation für dieses neue Verfahren stellen somit die zu biopsierenden Läsionen, die entweder radiologisch schlecht lokalisierbar und/oder chirurgisch schwer zugänglich sind, dar. Leicht lokalisierbare Läsionen sollten hingegen weiterhin offen biopsiert werden

Fazit für die Praxis

Die Ergebnisse dieser Untersuchung konnten eine relativ hohe Präzision und die klinische Durchführbarkeit der MRT-gesteuerten Biopsie am Bewegungsapparat nachweisen. Die diagnostische Trefferquote betrug 78%. Schwerwiegende Komplikationen der Methode traten bei unserem Patientenkollektiv nicht auf. Als gegenwärtig bestehende Nachteile des Verfahrens sind die lange Eingriffszeit und Unzulänglichkeit des Biopsieinstrumentariums zu nennen. Diese Probleme erscheinen zwar technisch lösbar, verhindern aber noch den klinischen Routineeinsatz der Methode. Die MRT-gestützte Biopsie bietet somit den Vorteil eines minimal-invasiven Verfahrens mit der Möglichkeit einer Darstellung und exakten Punktion eines repräsentativen stoffwechselaktiven Tumoreals ohne Strahlenbelastung. Eine endgültige Beurteilung der MRT-gesteuerten Biopsie am Bewegungsapparat erfordert noch Studien an größeren Kollektiven.

Literatur

- Adam G, Bückner A, Glowinski A, Nolte Ernsting C, Neuerburg J, Günther RW (1998) Interventionelle MR-Tomographie: Gerätekonzepte. *Radiologe* 38: 168–172
- Agarwal PK, Wahal KM (1983) Cytopathologic study of primary tumors of bone and joints. *Acta Cytol* 27: 23–27
- Bernd L, Ewerbeck V (2000) Die operative Therapie von malignen Knochentumoren. *Onkologe* 6: 730–737
- Buecker A, Adam G, Neuerburg JM, Glowinski A, van Vaals JJ, Guenther RW (1998) MR-guided biopsy using a T2-weighted single-shot zoom imaging sequence (local look technique). *J Magn Reson Imag* 8: 955–959
- Davies NM, Livesley PJ, Cannon SR (1993) Recurrence of an osteosarcoma in a needle biopsy track. *J Bone Joint Surg Br* 75: 977–978
- Delling G (1998) Diagnosis of bone tumors. *Verh Dtsch Ges Pathol* 82: 121–132
- Duda HS, Johst U, Krahmer K et al. (2001) Technik und Ergebnisse der CT-gesteuerten perkutanen Knochenbiopsie. *Orthopade* 30: 554–550
- Ferruci JL, Wittenberg J, Margolies MN, Carey RW (1979) Malignant seeding of the tract after thin-needle aspiration biopsy. *Radiology* 130: 345–346
- Gehl HB, Frahm C (1998) MRI-controlled biopsies. *Radiologe* 38: 194–199
- Jerosch J, Grönemeyer D, Deli M, Gevargez A, Filler TJJ, Peuker ET, Brandenberg B (2000) Präzision von bildgesteuerten Interventionen am Beispiel der lumbalen Facetteninfiltration. *Orthop Prax* 36: 465–475
- Kaplan GR, Saifuddin A, Pringle JA, Noordeen MH, Mehta MH (1998) Langerhans' cell histiocytosis of the spine: use of MRI in guiding biopsy. *Skeletal Radiol* 27: 673–676
- Konermann W, Wuisman P, Ellermann A, Gruber G (2000) Ultrasonographically guided needle biopsy of benign and malignant soft tissue and bone tumors. *J Ultrasound Med* 19: 465–471
- Kreicbergs A, Bauer HC, Brosjo O, Lindholm J, Skoog L, Soderlund V (1996) Cytological diagnosis of bone tumours. *J Bone Joint Surg Br* 78: 258–263
- Kruyt RH, Oudkerk M, van Sluis D (1998) CT-guided bone biopsy in a cancer center: experience with a new apple corer-shaped device. *J Comput Assist Tomogr* 22: 276–281
- Leffler SG, Chew FS (1999) CT-guided percutaneous biopsy of sclerotic bone lesions: diagnostic yield and accuracy. *Am J Roentgenol* 172: 1389–1392
- Lewin JS, Petersilge CA, Hatem SF et al. (1998) Interactive MR imaging-guided biopsy and aspiration with a modified clinical C-arm system. *Am J Roentgenol* 170: 1593–1601
- Libicher M, Grenacher L, Mädler UM, Daecke W, Bernd L, Kauffmann G. (2000) MR-guided musculoskeletal biopsy: Improved resolution with a surface coil. *Eur Radiol* 102: 1555
- Lufkin RB, Gronemeyer DHW, Seibel RMM (1997) Interventional MRI: update. *Eur Radiol* 7: 187–200
- Merkle EM, Wendt M, Chung YC, Lewin JS, Duerk JL (1998) Pulssequenzen und Visualisierung von Instrumenten. *Radiologe* 38: 185–193
- Neuerburg J, Adam G, Buecker A et al. (1998) A new MR-(and CT-) compatible bone biopsy system: first clinical results. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 169: 515–520
- Neuerburg JM, Adam G, Buecker A et al. (1998) MRI-guided biopsy of bone in a hybrid system. *J Magn Reson Imag* 8: 85–90
- Olskamp A, Rollins J, Tao SS, Ebraheim NA (1997) Complications of CT-guided biopsy of the spine and sacrum. *Orthopedics* 20: 1149–1152
- Sabo D, Bernd L (1998) Operative Therapie von Skelettmetastasen der Extremitäten. *Orthopade* 27: 274–281
- Saifuddin A, Mitchell R, Burnett SJ, Sandison A, Pringle JA (2000) Ultrasound-guided needle biopsy of primary bone tumours. *J Bone Joint Surg Br* 82: 50–54
- Salomonowitz EK, Cejna M, Dewey C (2000) Simple and effective technique of guided biopsy in a closed MRI system. *Abdom Imag* 25: 638–642
- Tikkakoski T, Lahde S, Puranen J, Apaja Sarkkinen M (1992) Combined CT-guided biopsy and cytology in diagnosis of bony lesions. *Acta Radiol* 33: 225–229
- Ward WG, Kilpatrick S (2000) Fine needle aspiration biopsy of primary bone tumors. *Clin Orthop* 373: 80–87
- Wedin R, Bauer HC, Skoog L, Sonderlund V, Tani E (2000) Cytological diagnosis of skeletal lesions. Fine-needle aspiration biopsy in 110 tumors. *J Bone Joint Surg Br* 82: 673–678