

Staging des multiplen Myeloms mit der MRT: Vergleich zur MSCT und zur konventionellen Röntgendiagnostik

Das multiple Myelom ist eine generalisierte Neoplasie des Knochenmarks, bei der ein monoklonaler Stamm atypischer Plasmazellen proliferiert. Die atypischen Plasmazellen sind im Interstitium des blutbildenden Knochenmarks nestförmig oder diffus verteilt und führen zur Osteodestruktion. Die Knochenmarkbiopsie oder -aspiration ist für die Diagnosestellung unerlässlich. Die Diagnose eines multiplen Myeloms wird gestellt, wenn mehr als 10% atypischer Plasmazellen im Aspirat und gleichzeitig >3 g/dl Paraprotein vorliegen. Ein differenziertes Staging der Patienten ist aufgrund verschiedener Therapiestrategien erforderlich. Patienten im Anfangsstadium ohne nachweisbare Osteolysen können beobachtet werden („watch and wait“), da sich herausgestellt hat, dass eine Chemotherapie in diesem Stadium zu keiner Überlebenszeitverlängerung führt. Bisphosphonate können Studi-

en zufolge zu einer Reduktion der Frakturinzidenz führen und sollten frühzeitig bei Nachweis von Myelominfiltraten eingesetzt werden. Die Hochdosischemotherapie mit anschließender autologer oder allogener Stammzelltransplantation hat erstmals zu einer Überlebenszeitverlängerung bei Patienten mit Befall (Stadien II und III) geführt. Das Staging der Patienten erlaubt zudem eine weitgehend präzise Prognose hinsichtlich der zu erwartenden Überlebenszeit. Die klinische Stadieneinteilung der Patienten beruht auf Laborparametern, wie z. B. dem Hämoglobin und dem Paraproteingehalt einerseits, und bildgebenden Verfahren andererseits.

Zur routinemäßigen bildgebenden Diagnostik des multiplen Myeloms werden in vielen Institutionen noch Röntgenbilder des Skeletts (Skelettstatus) angefertigt. Mit der MRT können Muster und Ausmaß der Infiltration des Knochenmarks

beim multiplen Myelom direkt dargestellt werden. Auch die Computertomographie (CT) erlaubt eine hochauflösende und sensitive Darstellung des Skelettsystems. Mit der Mehrzeilendetektor-CT (MSCT) kann das ganze Stammskelett in sehr kurzer Zeit gescannt und es können aus diesem Datensatz multiplanare Rekonstruktionen mit hoher Bildqualität angefertigt werden. Somit eröffnet sich sowohl mit der MRT als auch MSCT die Möglichkeit, ein Ganzkörperscreening des Skelettsystems durchzuführen, das in „Konkurrenz“ zur konventionellen Röntgendiagnostik tritt.

Infiltrationsmuster und Sequenzwahl in der MRT

Bei Patienten mit multiplem Myelom können in der MRT 5 verschiedene Signalmuster festgestellt werden (■ **Abb. 1**; [1]). Ein

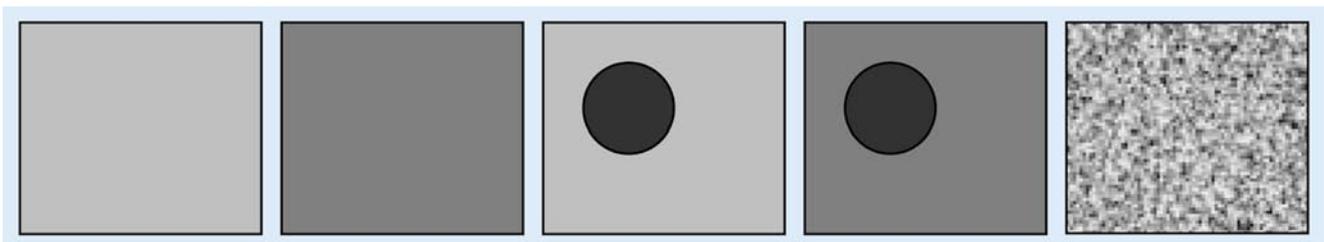


Abb. 1 ▲ Infiltrationsmuster des multiplen Myeloms in der MRT. Ein normales Knochenmarkssignal fand sich in einer eigenen Untersuchung bei 28%, eine homogen diffuse Infiltrationsform mit erniedrigtem Signal auf T1-gewichteten SE-Bildern bei 29%, eine umschriebene fokale Infiltrationsform mit erniedrigtem Signal auf T1w-SE-Aufnahmen und erhöhtem Signal auf STIR-Sequenzen bei 30%, eine kombiniert diffuse und fokale Infiltration bei 11% und eine „Salz-und-Pfeffer-Struktur“ bei 3% der 108 untersuchten Patienten

Radiologe 2004 · 44:874–881
DOI 10.1007/s00117-004-1103-z
© Springer Medizin Verlag 2004

A. Baur-Melnyk · M. Reiser

Staging des multiplen Myeloms mit der MRT: Vergleich zur MSCT und zur konventionellen Röntgendiagnostik

Zusammenfassung

Das Staging von Patienten mit multiplem Myelom erfordert von der Bildgebung eine sensitive Detektion des Befalls im Skelettsystem. Die MRT erlaubt die direkte Darstellung des Knochenmarks, die beim multiplen Myelom 5 verschiedene Signalmuster aufweisen kann: 1. normal erscheinendes Knochenmark bei geringer interstitieller Infiltration, 2. fokaler Befall, 3. diffuser Befall, 4. kombiniert diffuser und fokaler Befall, 5. Salz- und Pfeffer-Struktur mit fleckig inhomogenem Knochenmark infolge von umschriebenen Fetteinlagerungen. Die Kombination aus einer T1-gewichteten Spinecho- und einer STIR-Sequenz ist am besten geeignet um alle Infiltrationsmuster zu erfassen und Differenzialdiagnosen

wie z. B. Hämangiome zu diagnostizieren. Mit der parallelen Bildgebung können die Messzeiten erheblich reduziert und ein effektives Ganzkörperscreening in ca. 30 min erreicht werden. Die MRT ist im Nachweis sowohl der diffusen als auch der fokalen Infiltration der Projektionsradiographie deutlich überlegen. Die Mehrzeilencomputertomographie (MSCT), insbesondere die 16- und 64-Zeilen-CT erlaubt eine schnelle und dünn-schichtige Abtastung des Skelettsystems, sodass auch hier ein Ganzkörperscreening zum Nachweis von Osteolysen erstmals möglich wird. Multiplanare Rekonstruktionen erleichtern die Erkennung von Frakturen und ermöglichen es, die Befunde übersichtlich und leicht nachvollziehbar

zu präsentieren. Mit Niedrigdosisprotokollen kann die Strahlenbelastung erheblich reduziert werden, sodass die Dosisbelastung nur wenig über der der konventionellen Röntgenaufnahmen liegt. Die Sensitivität der CT ist der des konventionellen Röntgens deutlich überlegen. Durch die direkte Darstellung des Knochenmarks ist die MRT der CT beim Nachweis früher Infiltrate ohne höhergradigem Knochenabbau überlegen. Bei fortgeschrittenem Befall zeigt die CT besser die Osteodestruktion und die Frakturgefährdung.

Schlüsselwörter

MRT · Plasmozytom · Multiples Myelom · Ganzkörperscreening · Knochenmark

Staging of multiple myeloma with MRI: comparison to MSCT and conventional radiography

Abstract

The staging of patients with multiple myeloma demands sensitive imaging methods for the assessment of the skeletal system. MRI allows for direct visualization of the bone marrow which exhibits five different infiltration patterns in multiple myeloma: 1. normal appearance of the bone marrow, 2. focal involvement, 3. homogeneous diffuse infiltration, 4. combined diffuse and focal infiltration, 5. "salt and pepper" pattern with inhomogeneous bone marrow signals due to multiple fat islands. The combination of T1w-SE and STIR sequences is best suited for detecting all infiltration patterns and for the differential diagnoses

e. g. hemangiomas. With parallel imaging in MRI, acquisition times can be markedly reduced and whole-body screening of the bone marrow can be achieved within 30 min. MRI is superior to radiography for the detection of focal as well as diffuse infiltration. Multidetector computed tomography and especially 16- and 64-detector row scanners allow fast imaging with thin slice collimation and multiplanar reconstructions. With low-dose protocols, effective dose reduction can be achieved, so that radiation exposure is only slightly higher than that of a whole-body skeletal x-ray exam. Sensitivity of MSCT is markedly su-

perior to conventional radiography. Due to the direct visualization of the bone marrow with MRI, MRI is superior in detecting early infiltrations with myeloma cells without osteolyses. In advanced multiple myeloma, CT on the other hand, enables for more precise assessment of bony destructions and fracture risk.

Keywords

MRI · Plasmacytoma · Multiple myeloma · Whole-body imaging · Bone marrow



Abb. 2a–c ▲ Diffuser Befall bei multiple Myelom. 68-jähriger männlicher Patient mit IgA-Myelom und mittelgradiger diffuser Infiltration. Auf den T1-gewichteten SE-Aufnahmen (a) zeigt sich ein mäßiggradiges homogen abgeschwächtes Signal bei normaler Signalintensität in der fettgesättigten STIR-Aufnahme (b). Nach Kontrastmittelgabe (c) zeigt sich ein pathologisches Enhancement von 47%, was den Verdacht auf eine diffuse Infiltration bestätigt

normales Signalverhalten des Knochenmarks mit hoher Signalintensität auf T1-gewichteten Aufnahmen und niedrigem Signal auf Sequenzen mit Fettsättigung (z. B. STIR) ist bei Patienten mit multiple Myelom bei histologisch geringer interstitiell verteilter Plasmazellinfiltration zu beobachten (<20% in der Knochenmarkbiopsie). Ein normales Knochenmarksignal in der MRT schließt daher ein multiples Myelom nicht aus, jedoch sind diese Patienten nicht behandlungsbedürftig [1, 2, 3, 4].

Bei fokalen Myelominfiltrationen sind umschriebene Areale mit hoher Signalintensität auf Gradientenecho und STIR-Aufnahmen nachweisbar, die mit Zonen niedriger Signalintensität im nativen T1-gewichteten SE-Bild korrespondieren. In einigen Fällen ist auch ein isointenses Signal auf T1-gewichteten SE- und T2-gewichteten TSE-Aufnahmen zu beobach-

ten [5]. Maßgeblich ist deshalb in diesen Fällen immer die fettgesättigte Sequenz [3, 5, 6]. Hierzu stehen prinzipiell 2 Methoden zur Verfügung, nämlich die frequenzselektive Fettsättigung, z. B. STIR, oder Sequenzen mit spektraler Fettsättigung. STIR-Sequenzen sind mit akzeptablem Zeitaufwand durchzuführen und liefern eine ausreichende Auflösung, z. B. 256×512. Sie stellen die Myelomfoci kontrastreich hyperintens dar [6, 7]. In unseren Untersuchungen haben sich die STIR-Sequenzen gegenüber den Aufnahmen mit spektraler Fettsättigung als vorteilhaft erwiesen, da bei diesen die Fettsättigung in den Randbereichen nur inkonstant ist, wenn die Wirbelsäulenspule und ein großes field of view (250×500 mm) verwendet werden. Auch die Chemical-shift-Bildgebung mit gegenphasierten (opposed phase) Gradientenechosequenzen wurde

von einigen Autoren als vorteilhaft angesehen. Durch die Gegenphasierung von fett- bzw. wasser gebundenen Protonen in normalem Knochenmark werden Plasmazytominfiltrate kontrastreich als hyperintense Bezirke dargestellt [1, 3, 8, 9]. Die Kontrastmittelverstärkten phasenverschobenen Gradientenechosequenzen zeigten gegenüber den nativen Aufnahmen eine höhere Sensitivität [10]. T2-gewichtete Turbo-SE-Sequenzen sind infolge der primär relativ hohen Signalintensität des normalen Knochenmarks (J-coupling) nicht geeignet, um die fokalen Infiltrate kontrastreich und sensitiv darzustellen. Die Myelomherde zeigen meist ein isointenses bis leicht erhöhtes Signal [3, 9, 11]. Eine Kontrastmittelgabe ist bei der fokalen Infiltrationsform nicht erforderlich, da die Herde auf fettgesättigten Aufnahmen kontrastreich hyperintens dargestellt werden.

Eine diffuse Infiltration des Knochenmarks ist durch ein diffus erniedrigtes Signal auf T1-gewichteten SE Bildern und eine verstärkte Kontrastmittelaufnahme gekennzeichnet (■ Abb. 2). Dieses Bild zeigt sich bei mittel- bis hochgradig diffuser Infiltration durch Plasmazellen (20–50 bzw. >50% Plasmazellen in der Knochenmarkbiopsie; [12]). Die diffuse Knochenmarkinfiltration ist ohne Kontrastmittel nur bei ausgesprägter Plasmazellinfiltration sicher zu diagnostizieren, da im T1-gewichteten SE-Bild der gesamte Knochenmarkraum in seiner Signalintensität gemindert ist. Es fehlt der Kontrast zum umliegenden gesunden Knochenmark, wie es bei der nodulären Tumordinfiltration der Fall ist. Anhand eines Kontrollkollektivs konnte das Enhancement im gesunden Knochenmark ermittelt werden. Dieses variiert zwischen 3 und 40% (Mittelwert 21%, Patienten >30 Jahre) und nimmt mit steigendem Alter signifikant ab. Ein Enhancement von mehr als 40% kann somit als pathologisch angesehen werden. In unserem Kollektiv von Patienten mit diffuser Plasmazytominfiltration zeigte sich eine signifikant höhere Kontrastmittelaufnahme von 75% bei mittelgradiger und 88% bei hochgradiger Knochenmarkinfiltration [12].

Bei der kombiniert diffusen und nodulären Form zeigt das T1-gewichtete SE-Bild im diffus signalgeminderten Knochenmark fokale Hypointensitäten, die sich oft nur mit geringem Kontrast demarkieren.



Abb. 3a, b ◀ „Salz-und-Pfeffer-Struktur“ bei multiplem Myelom. Auf T1-gewichteten SE-Aufnahmen (a) ist das Signal des Knochenmarks ausgesprochen inhomogen dargestellt, sodass der Verdacht auf eine kleinherdige diffuse Infiltration geäußert wurde. Auf den fett-gesättigten STIR-Aufnahmen (b) zeigt sich jedoch ein normales Myelomverhalten ohne umschriebene hyperintense Myelomherde. Dieses Muster entspricht einer nicht behandlungsbedürftigen geringgradigen Infiltration mit Plasmazellen neben umschriebenen Fetteinlagerungen, welche den fokalen hyperintensiven Herden auf den T1-gewichteten SE-Aufnahmen entsprechen

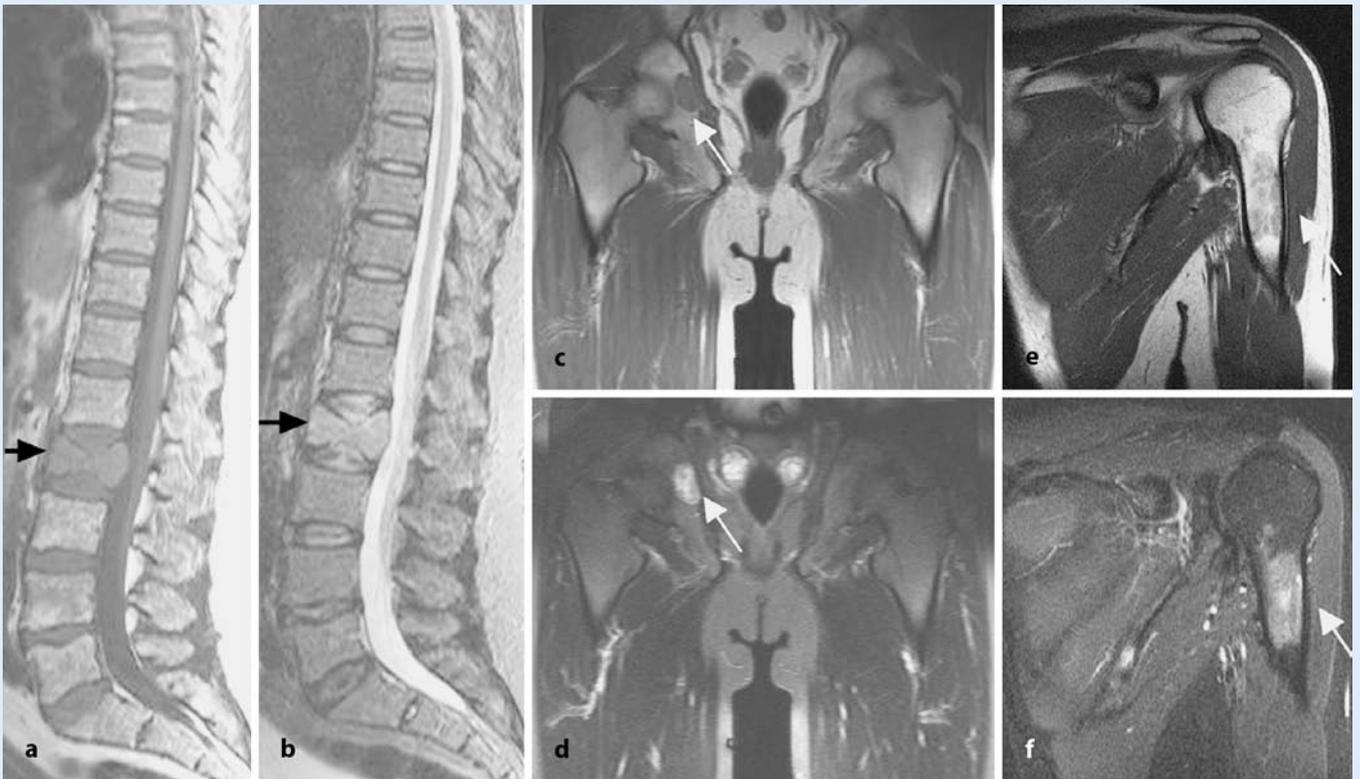


Abb. 4a-f ▲ Ganzkörper-MRTs von 3 Patienten mit multiplem Myelom. T1-gewichtetes SE-Bild (a) einer Lendenwirbelsäule mit Kombination von diffusem und fokalem Befall. Das Knochenmarkssignal ist homogen signalgemindert. Zudem zeigt sich eine fokale Myelommanifestation in LWK2 mit pathologischer Fraktur. Diese ist hyperintens auf STIR Aufnahmen dargestellt (b, Pfeile). Koronare T1-gewichtete SE- (c) und STIR-Aufnahme (d) des Beckens und der proximalen Femura. Im Azetabulum rechts ist eine fokale Myelom-Infiltration erkennbar (Pfeile). Koronare T1-gewichtete SE- (e) und STIR-Aufnahme (f) eines Patienten mit multiplem Myelom und fokalem Befall im proximalen Humerusschaft (Pfeile)

Tabelle 1

Stadiensystem nach Durie u. Salmon [21] inklusive des MRT-Stagings

Stadium	Kriterien
I	<p>Alle Kriterien müssen erfüllt sein</p> <p>Hb >10 g/dl Serum-Ca <12 mg/dl Paraprotein IgG <5 g/dl oder IgA <3 g/dl Unauffälliges Röntgen oder solitäres Plasmozytom MRT der Wirbelsäule: kein Befall</p>
II	<p>Weder Stadium I noch III zuzuordnen</p>
III	<p>Mindestens ein Kriterium muss erfüllt sein</p> <p>Hb <8,5 g/dl Serum-Ca >12 mg/dl Paraprotein IgG >7 g/dl oder IgA >5 g/dl Röntgen: fortgeschrittene lytische Läsionen MRT der Wirbelsäule: >10 fokale Läsionen oder deutlich diffuse Infiltration^a</p>

^a Das Knochenmarksignal ist deutlich abgesenkt und ähnelt dem der Bandscheibe.

Sequenzen mit Fettunterdrückung, besonders mit Kontrastmittelverstärkung, stellen die Herde signalreich dar.

Das „Salz-und-Pfeffer-Muster“ stellt sich auf T1-gewichteten Aufnahmen sehr inhomogen dar (Abb. 3). Es zeigen sich kleine Areale mit hoher und niedriger Signalintensität. Dies gilt auch für Gradientenecho- und T2-gewichtete Turbo-SE-Aufnahmen. Wichtig zur korrekten Diagnosestellung sind Sequenzen mit Fettunterdrückung. Im Unterschied zur kleinherdigen multifokalen Infiltration dürfen hier in den STIR-Aufnahmen keine fokalen hyperintensiven Herde vorliegen. Histologisch entspricht dieses Muster einem Knochenmark mit umschriebenen Fettinseln neben Herden von normalem Knochenmark, wobei nur eine geringe interstitielle Infiltration mit Plasmazellen vorliegt. Dieses Muster kann im Frühstadium eines multiplen Myeloms durch einen Hämatopoese-inhibierenden Faktor verursacht werden.

Zum schnellen Screening des Knochenmarks sind demzufolge eine T1-gewichtete SE-Sequenz vor und nach Kontrastmittelgabe und eine Sequenz mit selektiver Fettunterdrückung am besten geeignet, um alle Infiltrationsformen des multiplen Myeloms darzustellen [6].

Vergleich der Projektionsradiographie mit der MRT und der Computertomographie

Zur routinemäßigen bildgebenden Diagnostik bei Patienten mit multipltem Myelom wird derzeit in den meisten Zentren

noch die Projektionsradiographie des gesamten Skelettsystems durchgeführt. Diese umfasst Aufnahmen von Schädel, Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule, des Rippen thorax beidseits, der Oberarme, des Beckens und der Oberschenkel. Im Röntgenbild finden sich bei einem Myelombefall entweder umschriebene Osteolysen oder bei diffuser Plasmozytom-infiltration eine diffuse Mineralsalzminde-rung, welche von der perimenopausalen und senilen Osteoporose oft nicht abgegrenzt werden kann.

In verschiedenen Studien hat sich gezeigt, dass die MRT weitaus sensitiver im Nachweis eines Myelombefalls des Knochenmarks ist. In einer eigenen Studie waren 55% der fokalen und 59% der diffusen Infiltrationen im konventionellen Röntgenbild nicht nachweisbar [1]. Frühwald et al. [4] und Ludwig et al. [13] konnten sogar nur 27 bzw. 10% der fokalen Myelomherde im Röntgenbild anhand von Form- und Strukturveränderungen nachweisen. Tertti et al. [7] verglichen die MRT der Lendenwirbelsäule mit den konventionellen Übersichtsaufnahmen und fanden bei 13/41 Patienten falsch-negative Befunde im Röntgenbild. Mehrere andere Autoren stellten fest, dass die MRT selbst in frühen Stadien der Erkrankung bei asymptomatischen Patienten (Stadium I nach Durie u. Salmon) schon fokale oder diffuse Infiltrate nachweisen kann. Bei durchschnittlich 40% (29–52%) der Patienten lag in der MRT bereits eine diffuse oder fokale Tumordinfiltration vor [14, 15, 16, 17]. Damit sind diese Patienten dem Stadium II zuzuordnen, sodass sie,

im Gegensatz zu Patienten im Stadium I, von einer Therapie hinsichtlich ihrer Überlebenszeit profitieren. Andererseits kann eine Ganzkörperuntersuchung nicht durch eine MRT der Wirbelsäule ersetzt werden, da ca. 10% der Patienten ausschließlich periphere Herde aufwiesen [18].

In einer Studie von Mahnken et al. [19] an 18 Patienten mit multipltem Myelom wurde u. a. die Projektionsradiographie mit der 4-Zeilen-Detektor-CT verglichen. Die MSCT erwies sich als sensitiver im Nachweis des Myelombefalls. Es wurden 24 zusätzliche Läsionen und 15 zusätzliche Frakturen entdeckt. Sechs Wirbelkörper konnten aufgrund einer ossären Destruktion von mehr als 50% als frakturgefährdet eingestuft werden.

Staging von Patienten mit multipltem Myelom

Die Überlebenszeiten von Patienten mit multipltem Myelom können erheblich variieren. Fulminante Verläufe von wenigen Monaten und Verläufe von 10 Jahren oder mehr sind beschrieben [20]. Um die Überlebenszeit der Patienten abzuschätzen und eine adäquate Therapie einleiten zu können, wurden verschiedene klinische Stadiensysteme eingeführt. Das am weitesten verbreitete Stadiensystem ist das von Durie u. Salmon [21]. Dieses Stadiensystem berücksichtigt den Hämoglobinwert, das Paraprotein, den Kalziumwert und das Röntgenbild des Skelettsystems. Hierdurch werden die Patienten in ein Stadium I mit niedriger, in ein Stadium II mit

intermediärer oder in ein Stadium III mit hoher Tumormasse eingeteilt. Bei Patienten im Stadium I hat sich gezeigt, dass eine Chemotherapie keinen klinischen Nutzen hat und zu keiner Verlängerung der Überlebenszeit führt. Patienten der Stadien II und III werden je nach Alter mit einer Kombination aus Alkylanzien und Cortison oder einer Hochdosischemotherapie und anschließender Stammzelltransplantation behandelt.

Verschiedene Studien haben belegt, dass die prognostische Aussagekraft des Stadiensystems nach Durie u. Salmon einige Limitationen aufweist [22]. Dies ist häufig auf falsch-negative Befunde im Röntgen zurückzuführen. Andererseits produzieren stark entartete Zellen häufig nur geringe Mengen an Paraprotein, was ebenfalls zu einem zu niedrigen Staging der Patienten führt.

In einer eigenen Studie [23] konnte nachgewiesen werden, dass die Ergänzung des Stadiensystems nach Durie u. Salmon mit dem MRT-Befund der Wirbelsäule eine verbesserte Aussagekraft hinsichtlich des Überlebens der Patienten erbringt. Entsprechend der Einteilung nach Durie u. Salmon wurde eine 3-rangige Einteilung des MRT-Befallsausmaßes vorgenommen: Stadium I kein Befall, Stadium III >10 fokale Herde oder stark diffuse Infiltration bei deutlicher homogener Signalabsenkung im nativen T1-gewichteten SE-Bild. Das Stadium II liegt vor, wenn die Befunde weder die Kriterien für Stadium I noch für Stadium III erfüllen (■ **Tabelle 1**). In unserer Studie wären 25/77 Patienten zu niedrig eingestuft worden, wenn nur die Projektionsradiographie des Skelettsystems verwendet worden wäre. Durch die Berücksichtigung der MRT-Befunde konnte die prognostische Aussagekraft der Stadieneinteilung nach Durie u. Salmon hochsignifikant verbessert werden ($p < 0,0001$).

Knochenmarkscreening mit der MRT im Vergleich zur MSCT

Die Fortschritte der MRT-Gerätetechnologie der letzten Jahre ergaben nicht nur einen Zugewinn an Bildauflösung, sondern auch an Geschwindigkeit. Mit den Geräten der neuesten Generation (z. B. Siemens Avanto, 1,5 Tesla) sind Ganz-

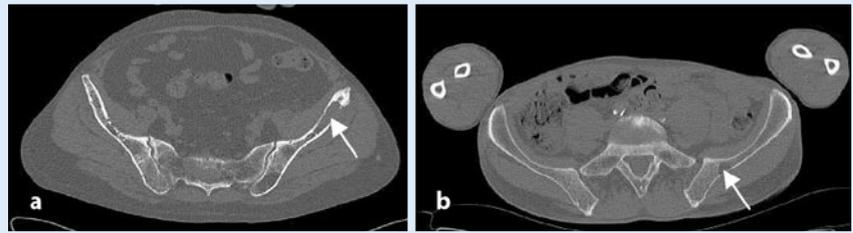


Abb. 5a, b ▲ Becken-CT axial (16-Zeilen-MSCT) von 2 Patienten mit fortgeschrittenem multiplen Myelom. Die Osteolyse sind sowohl bei 100 (a) als auch bei 50 mAs (b) eindeutig abzugrenzen. Hierdurch ergibt sich bei 120 kV eine Dosisersparung von 50%. Die effektive Strahlendosis eines Ganzkörper-CTs liegt damit bei ca. 4 mSv

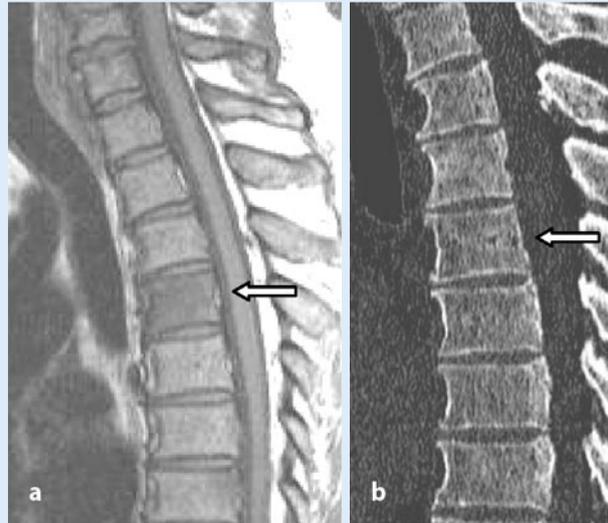


Abb. 6 ◀ a 68-jähriger Patient mit neu diagnostiziertem multiplen Myelom, welcher im Röntgen keine Osteolyse aufwies. Im T1-gewichteten SE-Bild lässt sich eine fokale Signalabsenkung in BWK4 nachweisen, vereinbar mit Befall bei multiplen Myelom. In der MSCT (b) war keine Osteolyse nachzuweisen

körperuntersuchungen ohne aufwändigen Spulenwechsel möglich. Die parallele Bildgebung trägt zur Beschleunigung der Bildakquisition bei. Die Bildmatrix sollte zwischen 256×512 und 512×512 liegen. Eine Akquisition ist in der Regel ausreichend. Die Untersuchungsdauer eines Ganzkörperknochenmarkscreenings kann mit dieser Technik in ca. 30 min erfolgen (■ **Abb. 4**).

Einige Autoren verwenden nur fettgesättigte Sequenzen, HASTE oder GRE-Techniken zur Darstellung des Knochenmarks [24]. Wichtig ist jedoch, dass neben T2-gewichteten Sequenzen auch ein T1-Kontrast generiert wird. Hierdurch werden falsch-positive Herde, wie Hämangiome, als solche erkannt. Sie sind durch hyperintense Fetteinlagerungen auf T1-gewichteten SE-Bildern und fokaler Hyperintensität auf STIR-Aufnahmen charakterisiert. Zum anderen ist die diffuse Infiltration bei multiplen Myelom auf nativen Sequenzen am sensitivsten auf T1-gewichteten SE-Aufnahmen an einer homogenen Signalabsenkung zu erkennen [6].

Die Vorteile der Mehrzeilen-CT-Scanner der neueren Generation (16 oder 64 Zeilen) liegen neben der hohen örtlichen insbesondere auch in der hohen zeitlichen Auflösung und den sich daraus ergebenden kurzen Scanzeiten. Hierdurch ist es möglich, innerhalb von 60 s das gesamte Skelett zu untersuchen. Vorläufige Ergebnisse einer Vergleichsstudie an 10 Patienten aus unserem Institut zeigen, dass die Osteolyse sowohl bei 100 als auch bei 50 mAs (120 kV) kontrastreich dargestellt werden können (■ **Abb. 5**). Die Bildgüte war in beiden Techniken sehr gut bis gut. Das Rauschen lag bei den Patienten mit 50 mAs gering höher als bei den Patienten mit 100 mAs. Das Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis war in beiden Gruppen nicht wesentlich unterschiedlich.

Die Gesamtdosis einer Untersuchung bei 50 mAs ist kaum höher als die des üblichen Röntgenstatus des Skeletts mit einer effektiven Strahlendosis von circa 4 mSv. Die Verwendung von 250 mAs bei der MSCT ist, wie in verschiedenen Studien in der Literatur angegeben wird, nicht

notwendig, da der Knochen im Vergleich zum Weichteilgewebe einen Hochkontrastbereich darstellt. Bei einem 16-Zeilen-CT-Scanner empfiehlt sich eine Akquisition der Bilddaten in 0,75 mm Kollimation. Um die knöchernen Strukturen optimal darzustellen, wird ein harter Faltungskern von 70 f verwendet. Die Quellbilder werden in axiale 3-mm-Schichten rekonstruiert. Aus den Rohdaten wurden mit einer speziellen Software (Siemens Workflow 3D)

1. sagittale Rekonstruktionen der Wirbelsäule,
2. koronare Rekonstruktionen des Schädels,
3. koronare Rekonstruktionen des Thorax zur Beurteilung der Rippen und des Schultergürtels und
4. koronare Rekonstruktionen des Beckens mit Oberschenkeln angefertigt.

Durch einen speziellen Algorithmus des Softwarepakets werden automatisch die besten Einstellungen (overlap etc.) verwendet. Die Bildgüte der Rekonstruktionen ist hierdurch sehr hoch. Bei der Befundung wurden primär die sagittalen und koronaren Rekonstruktionen verwendet. Es lässt sich damit eine Zeiteinsparung bei der Befundung erreichen. Bei unklaren Läsionen müssen jedoch immer die axialen Schichten herangezogen werden.

Bisher existiert in der Literatur nur eine Studie, welche die MSCT mit der MRT bei Patienten mit multiplem Myelom vergleicht [19]. Es wurden prospektiv 18 Patienten mit multiplem Myelom im Stadium III sowohl mit einem 4-Zeilen-CT als auch mit der MRT untersucht. Das Untersuchungsvolumen beinhaltete die Wirbelsäule und das Becken. Als Untersuchungsparameter wurden eine Kollimation von 2,5 mm, 140 kV und 250 mAs gewählt. Die Quellbilder wurden in 3 mm mit einem overlap von 0,8 mm axial rekonstruiert und sagittale und koronare Rekonstruktionen angefertigt. Die Befundausswertung erfolgte ausschließlich anhand der koronaren und sagittalen Rekonstruktionen des Beckens bzw. der Wirbelsäule. 226 von 325 analysierten Wirbelkörpern wiesen übereinstimmende Befunde im Sinne eines Normalbefundes oder im Sinne eines Befalls auf. Im CT wurden 231 Wirbelkörper als befallen eingestuft,

in der MRT 224. In der MSCT wiesen 7 Wirbelkörper einen Befall auf, welche in der MRT mit normalem Signalverhalten dargestellt waren. Umgekehrt wiesen 5 Wirbelkörper in der MRT ein pathologisches Signal auf, welche in der MSCT als unauffällig bewertet würden. Die falsch-negativen Befunde in der CT lassen sich durch frühe Knochenmarkinfiltrate ohne Osteodestruktion erklären (■ Abb. 6). Die falsch-negativen Befunde in der MRT können möglicherweise darauf zurückzuführen sein, dass die Patienten vortherapiert waren. Ob die Patienten zum Untersuchungszeitpunkt bereits Therapien erhalten hatten, ist im Methodenteil dieser Arbeit nicht angegeben. Knochenmarkinfiltrate können sich einer Studie zufolge nach erfolgreicher Chemotherapie oder Stammzelltransplantation zurückbilden [25]. Die Osteolysen in der CT bestehen jedoch weiterhin. Erste Ergebnisse einer eigenen Studie an 10 Patienten zeigen, dass die MRT deutlich mehr Infiltrate nachweist als die CT. In unserem Patientenkollektiv wiesen 2 Patienten multifokale Infiltrate auf, wobei die CT nur 2 bzw. 3 Osteolysen nachwies. Die Patienten wurden an einem 1,5-Tesla-MRT (Siemens Magnetom Symphony) mit einem Ganzkörperprotokoll und an einem 16-Zeilen-MSCT (Siemens Sensation-16) mit 0,75 mm Kollimation untersucht.

Fazit für die Praxis

Beim multiplen Myelom kommt es zu einer multifokalen Infiltration des Knochenmarks, die zu ossären Destruktionen führen kann. Es ist daher ein Verfahren für die Bildgebung erforderlich, die das gesamte Skelettsystem erfasst. Die Projektionsradiographie des Skelettsystems nimmt erhebliche Zeit in Anspruch und liefert, insbesondere am Stammskelett, häufig falsch-negative Befunde. Die MRT ist derzeit das sensitivste Verfahren, um Tumordinfiltrationen nachzuweisen, welche beim multiplen Myelom fokale oder diffuse auftreten können. Zu empfehlen ist eine Kombination aus T1w-TSE- und STIR-Sequenzen. Wird die Möglichkeit einer diffusen Infiltration des Knochenmarks in Betracht gezogen, sollte Kontrastmittel appliziert und die prozentuale Kontrastmittelzunahme errechnet wer-

den. Neue Gerätetechnologien (z. B. Somatom Avanto, Siemens) und Spulensysteme ermöglichen eine Screeninguntersuchung des gesamten Knochenmarkraumes in ca. 30 min ohne Positionswechsel der Spulen. Die parallele Bildgebung trägt außerdem zu einer Beschleunigung der Akquisitionszeit bei. Alternativ steht die MSCT zur sensitiven Darstellung der ossären Strukturen zur Verfügung. Eine erste Studie hat einen gewissen Vorteil der MSCT gegenüber der MRT, insbesondere hinsichtlich der Beurteilung des Frakturrisikos, erbracht. Die Sensitivität hinsichtlich der Detektion der Myelominfiltrate muss jedoch noch an einem größeren und primär untherapierten Patientenkollektiv evaluiert werden. Für den Patienten ist die MSCT die angenehmste Untersuchung, da sie nur wenige Minuten dauert und eine Klaustrophobie bei der CT sehr selten ist. Eine Reduzierung der Stromstärke auf 50–100 mAs (120 kV) liefert für die Hochkontrastdarstellung des kortikalen und spongiösen Knochens eine ausreichend genaue Detaildarstellung und führt zu einer deutlich niedrigeren effektiven Strahlendosis.

Korrespondierender Autor

PD Dr. A. Baur-Melnyk

Institut für Klinische Radiologie,
Klinikum Großhadern
der Ludwig-Maximilians-Universität,
Marchioninstr. 15, 81377 München
E-Mail: Andrea.Baur@ikra.med.uni-muenchen.de

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

1. Baur A, Stähler A, Bartl R, Lamerz R, Reiser M (1996) Infiltrationsmuster des Plasmozytoms in der Magnetresonanztomographie. Fortschr Röntgenstr 164:457–463
2. Carlsson K, Åström G, Nyman R, Ahlström H, Simonson B (1995) MRI of multiple myeloma in tumor mass measurement at diagnosis and during treatment. Acta Radiol 36:9–14
3. Avrahami E, Tadmor R, Kaplinsky N (1993) The role of T2-weighted gradient echo in MRI demonstration of spinal multiple myeloma. Spine 18:1812–1815
4. Fruehwald F, Tscholakoff D, Schwaighofer B, Wicke L, Neuhold A, Ludwig H, Hajek PC (1988) MRI of the lower vertebral column in patients with multiple myeloma. Invest Radiol 23:193–199

5. Rahmouni A, Divine M, Mathieu D, Golli M, Ha Dao T, Jazaerli N, Anglade Mch, Reyes F, Vasile N (1993) Detection of multiple myeloma involving the spine: efficacy of fat suppression and contrast-enhanced MRI. *Am J Radiol* 160:1049–1052
6. Baur A, Stähler A, Steinborn M, Schnarkowski P, Pitsitsch, Lamerz R, Bartl R, Reiser M (1998) MRT beim Plasmozytom: Wertigkeit verschiedener Sequenzen bei diffuser und fokaler Infiltrationsform. *Fortschr Röntgenstr* 168:323–329
7. Tertti R, Alanen A, Remes K (1995) The value of MRI in screening myeloma lesions of the lumbar spine. *Br J Haematol* 91:658–660
8. Stähler A, Baur A, Bartl R, Munker R, Lamerz R, Reiser M (1996) Contrast enhancement and quantitative signal analysis in MRI of multiple myeloma: assessment of focal and diffuse growth patterns in marrow correlated with biopsies and survival rates. *Am J Radiol* 167:1029–1036
9. Daffner RH, Lupetin AR, Dash N, Deeb ZL, Sefczek RJ, Schapiro RL (1986) MRI in the detection of malignant infiltration of bone marrow. *Am J Radiol* 146:353–358
10. Hosten N, Schörner W, Neumann K, Sander B, Oertel J, Kirsch A, Schubeus P, Cordes M, Felix R, Huhn D (1992) Magnetresonanztomographische Screeninguntersuchungen des Knochenmarks mit Gradientenecho-Sequenzen. *Fortschr Röntgenstr* 157:53–58
11. Döhner H, Gückel F, Knauf W, Semmler W, van Kaick G, Hunstein AD (1998) Magnetic resonance imaging of bone marrow in lymphoproliferative disorders: correlation with bone marrow biopsy. *Br J Haematol* 73:12–17
12. Baur A, Stähler A, Bartl R, Lamerz R, Scheidler J, Reiser M (1997) MRI gadolinium enhancement of bone marrow: age related changes in normals and in diffus neoplastic infiltration. *Skeletal Radiol* 26:414–418
13. Ludwig H, Tscholakoff D, Neuhold A, Frühwald F, Rasoul S, Fritz E (1987) MRI of the spine in multiple myeloma. *Lancet* 15:364–366
14. Mariette X, Zagdanski AM, Guermazi A, Bergot C, Arnould A, Frijia J, Brouet JC, Femand JP (1999) Prognostic value of vertebral lesions detected by MRI in patients with stage I multiple myeloma. *Br J Haematol* 104:723–729
15. Van de Berg B, Lecouvet F, Michaux L, Labaisse M, Malghem J, Jamart J, Maldague BE, Ferrant A, Michaux JL (1996) Stage I multiple myeloma: value of MRI of the bone marrow in the determination of prognosis. *Radiology* 201:243–246
16. Dimopoulos MA, Mouloupoulos A, Smith TL, Delasalle KB, Alexanian R (1993) Risk of disease progression in asymptomatic multiple myeloma. *Am J Med* 94:57–61
17. Mouloupoulos LA, Dimopoulos MA, Smith TL, Weber DM, Delasalle KB, Libshitz HI, Alexanian R (1995) Prognostic significance of magnetic resonance imaging in patients with asymptomatic multiple myeloma. *J Clin Oncol* 13:251–256
18. Lecouvet F, Malghem J, Michaux L, Maldague B, Ferrant A, Michaux JL, Vande Berg BC (1999) Skeletal survey in advanced multiple myeloma: radiographic versus MRI survey. *Br J Haematol* 106:35–39
19. Mahnken AH, Wildberger JE, Gehbauer G (2002) Multidetector CT of the spine in multiple myeloma: comparison with MR imaging and radiography. *Am J Roentgenol* 178:1429–1436
20. Kyle RA (1983) Long-term survival in multiple myeloma. *New Engl J Med* 308:314–316
21. Durie BGM, Salmon SE (1975) A clinical staging system for multiple myeloma: correlation of measured myeloma cell mass with presenting clinical features, response to treatment and survival. *Cancer* 36:842–854
22. Turesson I, Abildgaard N, Ahlgren T, Dahl IM, Holmberg E, Hjorth M, Nielsen JL, Oden A, Seidel C, Waage A, Westin J, Wisloff F (1999) Prognostic evaluation in multiple myeloma: an analysis of the impact of new prognostic factors. *Br J Haematol* 6:1005–1012
23. Baur A, Stähler A, Nagel D, Lamerz R, Bartl R, Hiller E, Bachner F, Reiser M (2002) MRI as a supplement for the clinical staging system of Durie and Salmon? *Cancer* 15:1334–1345
24. Lauenstein T, Freudenberg LS, Goede SC, Ruehm SG, Goyen M, Bosk S, Debatin JF, Barkhausen J (2002) Whole-body MRI using a rolling table platform for the detection of bone metastases. *Eur Radiol* 12:2091–2099
25. Mouloupoulos LA, Dimopoulos MA, Alexanian R (1994) MR patterns of response to treatment. *Radiology* 193:441–446

Der Keim im Mittagessen

Weltweit verzeichnet die WHO jährlich zwei Millionen Todesfälle durch Lebensmittelvergiftungen. Allein 200.000 Erkrankungen werden in Deutschland gemeldet. Sie sind meistens die Folge von Salmonelleninfektionen.

Hohe Hygienestandards bei der Verarbeitung der Lebensmittel sorgen hierzulande für ein niedriges Kontaminationsrisiko. Erregerreservoir und somit Infektionsquelle sind häufig die Tiere selbst. Zeigen sie keine Krankheitssymptome, gelangt das erregerrhaltige Fleisch zum Verbraucher. Insbesondere im Milieu von Vakuum- oder Schutzgasverpackungen können sich Listerien und Salmonellen stark vermehren und krankheitsauslösende Konzentrationen erreichen. Daneben ist das Wiedererwärmen von Speisen – wie in Gemeinschaftseinrichtungen häufig praktiziert – als potenzielle Gefahr anzusehen. Auch harmlos erscheinende Lebensmittel wie Reis, Möhren oder Erbsen können Keime enthalten und durch die Wirkung der Erregertoxine zu Lebensmittelvergiftungen beim Menschen führen.

Lebensmittelimport kann dazu beitragen, dass Krankheitserreger nach Deutschland eingeschleppt werden. Fisch und Meeresfrüchte aus Asien können mit Cholera- und Hepatitis-A-Erregern kontaminiert sein. Schnittsalat, Mandeln und roh zu verzehrender Kichererbsenbrei sind möglicherweise salmonellenhaltig. Auf diese Weise könnten sich auch solche Erreger erneut verbreiten, die bisweilen ausgerottet schienen. Gerade nach der Öffnung des europäischen Binnenmarktes ist zu befürchten, dass hierzulande Wurmerkrankungen wie die Trichinellose der Schweine auftreten.

Quelle: Bundesanstalt für Risikobewertung