

MRT der Prostata: Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung

MRI of the Prostate: Recommendations on Patient Preparation and Scanning Protocol

Autoren

Tobias Franiel¹, Michael Quentin², Ullrich Gerd Mueller-Lisse³,
Lars Schimmoeller², Patrick Asbach⁴, Stefan Rödel⁵, Winfried Willinek⁶,
Katja Hueper⁷, Dirk Beyersdorff⁸, Matthias Röthke⁹

Tel.: ++ 49/36 41/9 32 48 31
Fax: ++ 49/36 41/9 32 48 32
tobias.franiel@med.uni-jena.de

Institute

- 1 Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Jena, Germany
- 2 Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Duesseldorf, Duesseldorf, Germany
- 3 Department of Radiology, University of Munich, München, Germany
- 4 Department of Radiology, Charité Campus Mitte, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany
- 5 Radiology, Städtisches Klinikum Dresden Friedrichstadt, Dresden, Germany
- 6 Radiology, University of Bonn, Germany
- 7 Institute for Diagnostic and Interventional Radiology, Hannover Medical School, Hannover, Germany
- 8 Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Hamburg Eppendorf, Hamburg, Germany
- 9 Radiology, Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Germany

Key words

prostate, MRI, guideline

eingereicht 14.4.2016

akzeptiert 21.9.2016

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-119451>

Online-Publikation: 2016 | Fortschr Röntgenstr 2017; 189: 21–28

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

ISSN 1438-9029

Korrespondenzadresse

Priv.-Doz. Dr. Tobias Franiel

Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Jena

Erlanger Alle 101

07747 Jena

Germany

ZUSAMMENFASSUNG

Die AG Uroradiologie und Urogenitaldiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft hat im Konsensusverfahren einheitliche Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der MRT der Prostata erarbeitet. In tabellarischer Form werden im ersten Teil detailliert Empfehlungen zu 1. Anamnestische Angaben vor einer MRT der Prostata, 2. Untersuchungsterminierung und -vorbereitung, 3. Untersuchungsprotokoll und 4. MRT gestützte In-bore-Biopsie gegeben. Im zweiten Teil werden die Empfehlungen ausführlich besprochen und die jeweiligen Hintergrundinformationen bereitgestellt.

Kernaussagen:

- Zur Vereinheitlichung der MRT der Prostata wurden von der AG Uroradiologie und Urogenitaldiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft Empfehlungen erarbeitet.
- Notwendige Angaben zu Anamnese, Empfehlungen zur Patienten-vorbereitung, zum Untersuchungsprotokoll und zur MRT gestützten In-bore Biopsie werden detailliert formuliert und ausführlich begründet.

Zitierweise

- Franiel T, Quentin M, Mueller-Lisse UG et al. MRI of the Prostate: Recommendations on Patient Preparation and Scanning Protocol. Fortschr Röntgenstr 2017; 189: 21–28

ABSTRACT

The Working Group Uroradiology and Urogenital Diagnosis of the German Roentgen Society has developed uniform recommendations for the preparation and implementation of prostate MRI. In the first part detailed recommendations are given in tabular form regarding 1. anamnestic data before prostate MRI, 2. termination of examinations and preparation of examinations, 3. examination protocol and 4. MRI-guided in-bore biopsy. In the second part, the recommendations are discussed in detail and relevant background information is provided.

Einleitung

Die MRT der Prostata ist inzwischen ein fester Bestandteil der radiologischen Routinediagnostik von Krankenhäusern und Praxen in Deutschland. Die schnelle technische und wissenschaftliche Weiterentwicklung auf diesem Gebiet erfordert eine stetige Aktualisierung und Anpassung der radiologischen Vorgehensweise.

Die Arbeitsgemeinschaft Uroradiologie und Urogenitaldiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft hatte sich daher während der Sitzung auf dem Deutschen Röntgenkongress 2015 das Ziel gesetzt, basierend auf den neuesten technischen und wissenschaftlichen Erkenntnissen einheitliche Empfehlungen zur Vorbereitung und technischen Durchführung der MRT der Prostata zu

formulieren. Auf der ordentlichen Mitgliederversammlung wurden alle klinisch und wissenschaftlich aktiven Zentren auf diesem Gebiet öffentlich zur Mitarbeit eingeladen. Der Einladung folgten insgesamt 9 Zentren (in alphabetischer Reihenfolge: Berlin, Düsseldorf, Dresden, Hamburg, Hannover, Heidelberg, Jena, München, Trier).

In einem ersten Schritt wurde ein Fragebogen entworfen, der von den teilnehmenden Zentren bearbeitet wurde und als Diskussionsgrundlage diente. Im Rahmen von insgesamt acht jeweils 90minütigen Telefonkonferenzen und mehreren Diskussionen auf Kongressen und per email wurden die nachfolgenden Empfehlungen im Konsensusverfahren unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur (s. Hintergrundinformationen) formuliert. Bewusst wurde sich bei den Untersuchungsparametern auf die Schichtdicke

(SD), die In-plane-Auflösung und wenige weitere für die Qualität der Untersuchung wichtige Parameter beschränkt.

Grundsätzlich soll an dieser Stelle betont werden, dass es sich bei den Empfehlungen um eine allgemeine Orientierungshilfe handelt, die vom Untersucher in Abhängigkeit von den individuellen Gegebenheiten ggfs. angepasst werden muss (► **Tab. 1**).

Hintergrundinformationen

Anamnestische Angaben vor einer MRT der Prostata

PSA

Die Bestimmung des Prostataspezifischen-Antigen-(PSA)-Wertes im Serum ist eine etablierte Methode zur Früherkennung des

► **Tab. 1** Detaillierte Empfehlungen zu anamnestischen Angaben vor einer MRT der Prostata, zur Untersuchungssterminierung und -vorbereitung, zum Untersuchungsprotokoll und zur MRT gestützten In-bore Biopsie.

1. Anamnestische Angaben vor einer MRT der Prostata	
1.1. PSA	Der aktuelle Serum-PSA-Wert soll vorhanden sein. Der Verlauf des Serum-PSA-Wertes sollte vorhanden sein. Weitere Angaben wie das Verhältnis freies/gebundenes PSA können mit angegeben werden.
1.2. Vorherige Biopsien	Eine Angabe zur Anzahl der negativen Biopsien soll vorhanden sein.
1.3. Histologische Ergebnisse	Das histologische Ergebnis der vorherigen Stanzbiopsie sollte vorliegen.
1.4. Weitere Angaben	Es sollen die Befunde vorheriger Prostata MR-Tomografien sowie die Kontaktdaten des überweisenden Arztes vorliegen. Des Weiteren sollen Angaben zu bisherigen prostataspezifischen Therapien vorliegen.
1.5. Kreatinin und eGFR	Falls Kontrastmittel mit niedrigstem NSF-Risiko (z. B. Gadobutrol, Gadoterat-Meglumin oder Gadoteridol) und in zugelassenen Dosen eingesetzt werden, kann die Nierenfunktion bestimmt werden. Wenn das Serumkreatinin nicht bestimmt wurde, soll die Nierenfunktion über einen Fragebogen erfasst werden. Kontrastmittel sollten nicht bei Patienten mit eGFR < 30 ml/min eingesetzt werden. Falls Kontrastmittel mit mittlerem und höchstem NSF-Risiko (z. B. Gadodiamid, Gadopentetat-Dimeglumin, Gadoxetamid, Gadobenat-Dimeglumin, Gadofosveset Trisodium, Gadoxetat Dinatriumsalz) eingesetzt werden, soll die Nierenfunktion bestimmt werden. Diese Kontrastmittel sollten nicht für Patienten mit einer eGFR < 60 ml/min verwendet werden.
2. Untersuchungssterminierung und -vorbereitung	
2.1. Untersuchungszeitpunkt	Im Rahmen der Tumorsuche und der aktiven Überwachung sollte eine MRT-Untersuchung frühestens 6 Wochen nach einer Biopsie erfolgen. Eine MRT zur Tumorsuche vor erstmaliger Biopsie kann jederzeit durchgeführt werden. Im Rahmen des Staging sollte das Intervall zwischen Biopsie und prätherapeutischem MRT maximiert werden, ohne eine definitive Therapie zu verzögern. Zu berücksichtigen ist dabei, dass Ödem und Entzündung bei einem zeitlich zu geringem Abstand ein kapselüberschreitendes Tumorwachstum vortäuschen bzw. maskieren können.
2.2. Spasmolytikum	Zur Steigerung der Bildqualität können 1–2 Ampullen Butylscopolamin zur Reduktion der Darmperistaltik fraktioniert i. v. appliziert werden.
2.3. Entleerung Enddarm	Die Patienten sollen vor der Untersuchung aufgefordert werden, den Enddarm und die Blase zu entleeren. Eine Gabe von Klistieren oder Abführmitteln soll nicht erfolgen, da viele Abführmittel die Darmperistaltik erhöhen und daher dem Ziel einer artefaktarmen Aufnahme entgegen wirken.
2.4. Enthaltbarkeit	Zum Vorteil einer Enthaltbarkeit auf die Untersuchungs- und Befundungsqualität ist keine aktuelle Evidenz vorhanden. Daher wird keine Empfehlung erteilt.
3. Untersuchungsprotokoll	
Für die Fragestellungen Detektion, Staging, aktive Überwachung, Rezidivdiagnostik nach Strahlentherapie und nach Prostatektomie sollte ein identisches standardisiertes aktuelles Protokoll, sowohl für 1,5 T als auch für 3 T, verwendet werden. Unterschiede gibt es beim Einsatz einer Endorektalspule. Zur Gewährleistung einer gleichbleibend hohen Bildqualität sollen die Sequenzparameter entsprechend den Ausführungen zur Endorektalspule angepasst werden. Anmerkung: Die Protokolle sind unter Umständen den Anforderungen der Kassenärztlichen Vereinigungen anzupassen.	
3.1. Morphologische T2w TSE/FSE Sequenzen	Die morphologischen T2w-Sequenzen sollen biplanar akquiriert werden, wobei die axiale Ebene obligater Bestandteil sein soll. Eine dritte Ebene erhöht die Lokalisations- und Staginggenauigkeit: <ul style="list-style-type: none"> ▪ axial: SD 3 mm, in-plane Auflösung $\leq 0,5 \times 0,5$ mm ▪ sagittal: SD 3 mm, in-plane Auflösung $\leq 0,7 \times 0,7$ mm ▪ koronar: SD 3 mm, in-plane Auflösung $\leq 0,7 \times 0,7$ mm

► **Tab. 1** (Fortsetzung)

3.2. DWI, DCE-MRT, ¹ H-MRS	<p>Zur Erhöhung der diagnostischen Genauigkeit soll die diffusionsgewichtete Bildgebung (DWI) und mindestens eine weitere funktionelle Sequenz Bestandteil des Protokolls sein. Die derzeit etablierten Methoden sind die dynamische Kontrastmittelunterstützte MRT (DCE-MRT) und die ¹H-MR-Spektroskopie (¹H-MRS).</p> <p>DWI Die DWI soll axial akquiriert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ SD 3 mm, in-plane Auflösung ≤ 2,0 × 2,0 mm <p>Es sollen mindestens 2 verschiedene b-Werte gemessen werden. Ein b-Wert soll zwischen 50 – 200 mm/s² und ein weiterer zwischen 800 – 1000 mm/s² liegen. Zusätzlich kann auch ein höherer b-Wert ≥ 1400 mm/s² gemessen oder kalkuliert werden.</p> <p>DCE-MRT Die DCE-MRT soll axial akquiriert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ SD 3 mm, in-plane Auflösung ≤ 2,0 × 2,0 mm <p>Die zeitliche Auflösung soll mindestens 9 s betragen, bevorzugt ≤ 6 s. Der Flow der Kontrastmittelgabe und des nachfolgenden NaCl Bolus soll ≥ 2,0 ml/s sein.</p> <p>Mit den SI-t Kurven der DCE-MRT berechnete pharmakokinetische Parameterkarten können für die Diagnostik verwendet werden, wenn die technischen Voraussetzungen und die Expertise vorhanden sind.</p> <p>Die DCE-MRT hat einen besonderen Stellenwert für die Rezidivdiagnostik und Kontrolle nach Therapie.</p> <p>¹H-MRS Die ¹H-MRS soll als 3D-Spin-Echo-Sequenz akquiriert werden. Hierbei sollte die periphere Zone vollständig von der Region-of-Interest (ROI) erfasst werden und die Volume-of-Interest (VOI) sollte deutlich größer als die ROI sein. Die 3D-Akquisitionsmatrix sollte mindestens</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 8 × 8 × 8 Voxel umfassen (eine Interpolation auf bis zu 16 × 16 × 16 Voxel sollte angestrebt werden) <p>Der Einfluss von Geweben außerhalb der Prostata sollte durch „Outer-Volume Suppression“ (OVS) minimiert werden. Signalbeiträge von Wasser und Lipiden sollten minimiert werden.</p> <p>Als Repetitionszeiten (TR) und Echozeiten (TE) haben sich abhängig von der Feldstärke besonders bewährt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1,5 T: TR 1000 ms und TE 130 ms ▪ 3,0 T: TR bis 1000 ms und TE 145 ms
3.3. T1w TSE/FSE Sequenz	<p>Für die Beurteilung des Knochens und der Lymphknoten sowie der Prostata hinsichtlich von z. B. vorliegenden Einblutungen soll eine T1w-TSE-Sequenz axial akquiriert werden und das gesamte Becken von der Aortenbifurkation bis zum Beckenboden abbilden.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ SD ≤ 5 mm, in-plane Auflösung ≤ 0,8 × 0,8 mm <p>Zur Erhöhung der Sensitivität kann zusätzlich eine diffusionsgewichtete Sequenz oder eine axiale fettgesättigte T1w-GE-Sequenz nach Kontrastmittelgabe erfolgen.</p>
3.4. Endorektalspule	<p>Bei 1,5 T erhöht die kombinierte Endorektal-Körper-Phased-Array-Spule bei identischer Technik und identischem Sequenzaufbau das Signal-Rausch-Verhältnis. Falls keine Endorektalspule benutzt wird/benutzt werden kann, sollen die Parameter der Sequenz derart angepasst werden, dass die gleiche Bildqualität erreicht wird. Zu beachten ist, dass abhängig vom verwendeten MRT-Gerät und den verwendeten Spulen bei ähnlichen bis identischen Sequenzparametern es Unterschiede in der Bildqualität gibt.</p> <p>Bei 3,0 T kann eine kombinierte Endorektal-Körper-Phased-Array-Spule eingesetzt werden, wenn dies der Verbesserung der Bildqualität für die Beurteilung eines extrakapsulären Wachstums und für die Charakterisierung von Prostatakarzinomen dient.</p> <p>Bei Verwendung der Endorektalspule sollte diese mit Luft gefüllt werden.</p> <p>Für die Rezidivdiagnostik nach Prostatektomie soll keine Endorektalspule verwendet werden, da die Region der Anastomose als Ort häufiger Rezidive nicht zuverlässig aufgrund von Suszeptibilitätsartefakten beurteilt werden kann.</p>
3.5. Weitere Sequenzen	<p>T2w-3D-Multiecho-Sequenzen mit variablen kleinen Refokierungs-Flipwinkeln Die Kontrasteigenschaften dieser Sequenz sind im Vergleich zu den 2D-T2w-TSE-Sequenzen für die Diagnostik nicht ausreichend untersucht. Daher und aufgrund der erhöhten Anfälligkeit gegenüber Bewegungsartefakten sollte diese Sequenz für die Diagnostik nicht eingesetzt werden. Aufgrund der isotropen Voxel kann diese Sequenz jedoch für die Fusionierung mit anderen Bildgebungen (z. B. Ultraschall) von Vorteil sein.</p> <p>Diffusion Tensor Imaging und Diffusional Kurtosis Imaging Die höheren Diffusionsmodelle sind Gegenstand der Forschung und noch nicht ausreichend evaluiert. Die vorliegenden Daten zeigen keinen signifikanten Vorteil dieser Modelle gegenüber den in der Routine eingesetzten Modellen. Daher sollen sie für die Diagnostik nicht eingesetzt werden.</p>
4. MRT gestützte In-bore-Biopsie	
4.1. Labor	<p>Vor einer MRT-(in-bore)-Biopsie soll die Blutungsanamnese standardisiert erfasst werden. Aktuelle Laborparameter (INR, pTT und Thrombozyten pro Volumeneinheit) können bestimmt werden.</p> <p>Vor der Biopsie sollte der Patient nach „Brennen beim Wasserlassen“ befragt werden.</p>
4.2. Gerinnungsmedikation	<p>ASS in der Dosierung 100 mg p. o. pro Tag kann weiter eingenommen werden. Ein Pausieren einer Marcumartherapie ist wünschenswert, jedoch nicht zwingend erforderlich und erfordert eine interdisziplinäre Einschätzung.</p>
4.3. Antibiotika	<p>Die transrektale Biopsie soll unter Antibiotikatherapie erfolgen.</p>
4.4. Sonstiges	<p>Die Biopsie sollte unter Anästhesie (z. B. Lokalanästhesie mit lidocainhaltigem Gel) erfolgen.</p>

Prostatakarzinoms. Sie wird in der S3-Leitlinie Männern ab dem 45. Lebensjahr empfohlen. Die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Prostatakarzinoms steigt mit zunehmendem PSA-Wert. Angegeben werden sollte der PSA-Wert bei jeder MRT-Untersuchung, ggf. zusätzlich die Ratio zwischen freiem und gebundenem PSA-Wert und, falls vorhanden, Informationen zum PSA-Verlauf oder PSA-Verdopplungszeit [1].

Vorherige Biopsien

Eine Biopsie führt zu einer Hämorrhagie im Parenchym. Diese stellt sich signalarm im T2w-Bild und signalreich im T1w-Bild dar. Eine Hämorrhagie verändert damit auch die Ausgangsbilder der dynamischen kontrastmittelgestützten MRT (DCE-MRT) und der diffusionsgewichteten Bildgebung (DWI). Die Veränderungen können viele Monate nach der Biopsie nachweisbar sein und die Tumordetektion erschweren. Der Zeitpunkt einer Biopsie sollte daher angegeben werden [2]. Außerdem sollte die Zahl der entnommenen Biopsien und wenn verfügbar der Biopsieort angegeben werden [1].

Histologische Ergebnisse

Mit einer bisherigen negativen Prostatabiopsie sinkt die Wahrscheinlichkeit einer Tumordiagnose in einer erneuten systematischen Biopsie. Eine Prostata-MRT zur Tumordetektion in Kombination mit einer gezielten Biopsie kann in diesen Fällen die Nachweisquote erhöhen. Deshalb ist die Prostata-MRT speziell nach vorangegangener negativer Biopsie sinnvoll. Bei positiver Biopsie sollte neben der Anzahl der positiven Stanzungen auch die Lokalisation der positiven Stanzungen und das Gleason-Grading des Tumors und, wenn vorhanden, die Größe/Infiltrationsanteil des Tumors im Stanzzyylinder angegeben werden. So ist eine Korrelation mit dem MRT-Befund möglich. Einerseits kann das Vorliegen weiterer Tumorherde erkannt werden und andererseits kann abgeschätzt werden, ob die vorliegende Biopsie repräsentativ war.

Weitere Angaben

Hormontherapie: Die Prostata ist ein androgensensitives Organ. Eine Hormontherapie führt zu einer verminderten Aktivität der Drüsenfunktion. Die MRT zeigt eine Volumenabnahme der Prostata und eine Signalmindering der Drüse im T2w-Bild. Die zonale Gliederung ist schlechter abgrenzbar bis aufgehoben. Die Tumordetektion ist unter den Effekten der Hormontherapie im T2w-Bild und in der DWI deutlich erschwert. Tumoren werden typischerweise deutlich kleiner unter einer Hormontherapie. Die Effekte einer Hormontherapie auf die Prostata und auch auf ein Prostatakarzinom sind häufig schon nach 4-wöchiger Behandlung erkennbar [3].

Therapie mit 5-alpha-Reduktasehemmern: Unter der Therapie mit 5-alpha-Reduktasehemmern kommt es zu einer Volumenabnahme der Prostata mit Volumenabnahme der peripheren Zone und der Transitionalzone [4].

Strahlentherapie: Nach erfolgter Strahlentherapie ist die zonale Gliederung aufgehoben und die periphere Zone ist signalgemindert. Häufig findet sich im Verlauf eine Volumenabnahme. Die Kontur und die neurovaskulären Bündel können betont, die Harnblasen- und die Rektumwand können verdickt sein [5, 6].

Hämatospermie: Die Veränderungen entsprechen denen bei Hämorrhagie nach Biopsie, sind jedoch weniger diffus und häufig auch in den Samenblasen erkennbar [7].

Klinische Prostatitis und Informationen zur Behandlung der Prostatitis: Eine Prostatitis kann in der MRT ähnliche Veränderungen zeigen, wie ein Prostatakarzinom. Eine Differenzierung vom Karzinom kann schwierig sein. Eine Prostatitis zeigt häufig flächige Veränderungen ohne Verlagerung von Strukturen oder ist durch eine eher streifige oder flügelartige Form erkennbar. Auch in der Auswertung der DWI und der DCE-MRT sowie der ¹H-MR-Spektroskopie (¹H-MRS) gibt es Überschneidungen. Die Prostatitis zeigt typischerweise eine geringere Diffusionsrestriktion sowie eine geringere Signalamplitude und keinen raschen Abfall des Signalenhancements nach dem Peakenhancement in der DCE-MRT [8].

Voroperationen im kleinen Becken: Die transurethrale Resektion (TUR-P) einer benignen Prostatahyperplasie (BPH) hinterlässt einen typischen Defekt zentral. Die verbliebene periphere Zone ist typischerweise flächig gering signalgemindert. Da sich im Randbereich im Verlauf gelegentlich erneut BPH-Knoten entwickeln, ist der Zeitpunkt der TUR-P und ggf. eine Information zum Behandlungserfolg sinnvoll. Sowohl Rektumresektion und Rektumamputation, als auch die ausgedehnte wiederholte lokale Behandlung von Harnblasentumoren, können die Prostata und die Umgebung der Prostata verändern.

Kreatinin und eGFR

Für den Einsatz gadoliniumhaltiger Kontrastmittel im Rahmen der DCE-MRT müssen Faktoren auf der Seite des Patienten und Eigenschaften des Kontrastmittels berücksichtigt werden. Der Ausschuss für Humanarzneimittel (CHMP) bei der europäischen Arzneimittelbehörde (EMA) hat das Risiko für gadoliniumhaltige Kontrastmittel und das Auftreten einer nephrogenen systemischen Fibrose (NSF) bewertet. Diese Bewertung ist die Grundlage für die Anwendungsempfehlungen durch die „European Society for Urogenital Radiology“ (ESUR). Folgende Risikoklassen für gadoliniumhaltige Kontrastmittel und Patienten wurden festgelegt [9]: hohes Risiko: Gadodiamid, Gadopentetat-Dimeglumin und Generika, Gadoversetamid – mittleres Risiko: Gadobenat-Dimeglumin, Gadofosveset-Trisodium, Gadoxetat-Dinatriumsalz – geringes Risiko: Gadobutrol, Gadoteridol, Gadoterat-Meglumin. Kontrastmittel mit hohem Risiko sind kontraindiziert bei Patienten mit einer GFR <30 ml/min und bei dialysepflichtigen Patienten. Die Bestimmung des Serumkreatinins (eGFR) und die klinische Beurteilung ggf. mittels eines Fragebogens sind zwingend erforderlich [9]. Substanzen mit mittlerem und niedrigem Risiko sollten nur mit Vorsicht eingesetzt werden bei Patienten mit einer eGFR <30 ml/min. Die Bestimmung der Nierenfunktion ist nicht zwingend erforderlich. Wenn das Serumkreatinin nicht bestimmt wurde, sollte die Nierenfunktion auf dem Fragebogen erfasst werden. Die verabreichte Kontrastmitteldosis sollte in allen Fällen pro Untersuchung und Patient nicht höher sein als 0,1 mmol/kg Körpergewicht [9].

Untersuchungsterminierung und -vorbereitung

Untersuchungszeitpunkt

Einblutungen in die Prostata nach einer vorausgegangenen Biopsie können in der MRT-Untersuchung über Monate nachweisbar sein und beeinträchtigen die Beurteilbarkeit der Untersuchung. Bei einer MRT mit der Indikation der Tumordetektion oder aktiver Überwachung sollte daher ein Mindestabstand von 6 Wochen zur Biopsie eingehalten werden. Bei einer MRT zum lokalen Tumorstaging bei histologisch gesichertem Karzinom kann davon abgewichen werden, um den Patienten möglichst zeitnah einer definitiven Therapie zuzuführen. In der Primärindikation kann eine MRT zur Tumorsuche jederzeit durchgeführt werden.

Spasmolytikum

Zur Steigerung der Bildqualität und zur Reduzierung der Artefakte durch die Darmbewegung können, wenn keine Kontraindikationen vorliegen, ein bis zwei Ampullen Butylscopolamin (20 – 40 mg) fraktioniert appliziert werden. Alternativ ist die intravenöse Gabe von einer Ampulle Glukagon (1 mg) unter Beachtung der Kontraindikationen möglich. Richtlinien oder Studien, die eine eindeutige Verbesserung von Bildqualität und diagnostischer Genauigkeit der Prostata-MRT durch die Gabe eines Spasmolytikums belegen, gibt es allerdings nicht [10 – 12].

Entleerung Enddarm

Luft im Rektum kann zu Artefakten führen, insbesondere bei der DWI. Um diese Artefakte zu reduzieren, sollen Patienten vor der Untersuchung aufgefordert werden, den Enddarm und die Blase zu entleeren. Bei Nachweis ausgeprägter Luftansammlung im Rektum in den Planungssequenzen kann eine Dekompression des Rektums mittels Darmrohr von Vorteil sein [12]. Eine Gabe von Klistieren oder Abführmitteln soll nicht erfolgen, da diese die Darmperistaltik erhöhen und die Artefakte verstärken können.

Enthaltbarkeit

Die sexuelle Enthaltbarkeit des Patienten über 3 – 5 Tage kann für eine größere Füllung und daher Abgrenzbarkeit der Samenblasen insbesondere in den T2w Sequenzen sorgen. Ein eindeutiger Vorteil einer definierten Enthaltbarkeitsdauer vor der MRT bezüglich der Detektion, Lokalisation und Staging des Prostatakarzinoms ist bisher nicht gezeigt worden.

Untersuchungsprotokoll

Ziel des Protokolls soll die sichere Detektion und Lokalisation signifikanter Prostatakarzinome mit einem Volumen $\geq 0,5$ ml und die Detektion eines extrakapsulären Wachstums inkl. einer Samenblaseninfiltration sein. Für die Detektion ist die MRT der Prostata sowohl in der Primär- als auch in der Sekundärindikation sinnvoll, da gezeigt werden konnte, dass die gezielte Biopsie von im MRT karzinomsuspekten Arealen zusätzlich zur systematischen TRUS gestützten Biopsie die Detektionsrate maximiert [13 – 15].

Ein standardisiertes Protokoll gewährleistet die Vergleichbarkeit (z. B. im Rahmen einer aktiven Überwachung) und vermeidet unnötige Doppeluntersuchungen. Eine Kombination aus T2w-Bildgebung, DWI und DCE-MRT zeigt die höchste diagnostische Genauigkeit [16]. In jüngster Vergangenheit wurden Studien

veröffentlicht, die für den Einsatz der DCE-MRT im Rahmen der Detektion keinen statistisch signifikanten Vorteil zeigen konnten [17, 18]. Da die Datenlage aus unserer Sicht noch unzureichend ist, sollte aus heutiger Sicht auf die DCE-MRT nicht verzichtet werden. Für die Diagnostik eines Lokalrezidives nach Strahlentherapie erscheint die MRT insbesondere für die Detektion harnblasennaher Rezidive besser als die nuklearmedizinischen Methoden geeignet.

Morphologische T2w TSE/FSE-Sequenzen

Die T2w-Bildgebung mittels hochauflösenden T2w-Turbo-Spin-Echo-(TSE)- bzw. Fast-Spin-Echo-(FSE)-Sequenzen stellt die Basis der MRT der Prostata dar [19]. Die Sensitivität bzgl. der Detektion des Prostatakarzinoms variiert in der Literatur zwischen 36 und 95 %, was in erster Linie von der untersuchten Kohorte abhängt. Um die diagnostische Güte der T2w-Bildgebung in Abhängigkeit von der Tumorgöße zu evaluieren, wurde in einer Studie mit histologischen Großflächenschnitten gezeigt, dass die alleinige morphologische T2w-Bildgebung nicht in der Lage ist, Karzinomherde kleiner als 10 mm sicher auszuschließen [20]. Deshalb muss die morphologische MRT um funktionelle Techniken ergänzt werden. Karzinome sind in der T2w-Bildgebung hypointens. In der peripheren Zone kann die Differenzierung zwischen Prostatitis und Prostatakarzinom erschwert sein. In der Transitionalzone ist die Differenzierung insbesondere zur ebenfalls hypointensen stromalen Hyperplasie erschwert. Dennoch ist die T2w-Bildgebung die wichtigste Sequenz zur Detektion von Karzinomen in der Transitionalzone. Das Unterscheidungskriterium ist hier in erster Linie die Architekturstörung gefolgt von der Größe [12]. Die morphologischen T2w-Sequenzen sind für die Lokalisation von Herdläsionen entscheidend. Auf dieser Grundlage kann eine gezielte Biopsie im nächsten Schritt erfolgen. Bei nicht kognitiven Fusionstechniken kann der transversale T2w-DICOM-Datensatz zur automatischen Fusion eingesetzt werden [21].

DWI, DCE-MRT, ¹H-MRS

DWI: Prostatakarzinome mit erhöhter Zelldichte verkleinern den interstitiellen Raum und verdrängen, komprimieren oder zerstören ggf. die Drüsengänge. Dadurch wird die freie Teilchenbeweglichkeit eingeschränkt, die mit der DWI nachgewiesen werden kann [22].

Die DWI besteht üblicherweise aus Aufnahmen mit Single-shot-echo-planar-imaging- (SSEPI-)Sequenzen mit einem gering diffusionsgewichteten Gradienten („b-Wert zwischen 0 und 150 s/mm²) und mindestens einem stark diffusionsgewichteten Gradienten (b-Wert zwischen 800 und 1500 s/mm²). Höhere b-Werte sind mit unterschiedlichen Ergebnissen verwendet worden. Durch eine monoexponentielle Funktion kann unter Verwendung der jeweiligen Bilddatensätze mit dem niedrigen und dem hohen b-Wert für jeden Bildpunkt der sogenannte „Apparent Diffusion Coefficient“ (ADC) bestimmt und der Zahlenwert farblich codiert dargestellt werden [22].

Gesundes Prostatagewebe zeigt in der DWI bei niedrigen b-Werten ein hohes Signal und bei hohen b-Werten eine deutliche Signalabnahme. Die ADC-Darstellung zeigt qualitativ den hohen Signalunterschied an. Prostatakarzinome mit geringem Wasseranteil und eingeschränkter Teilchenbeweglichkeit zeigen bei niedrigem

b-Wert ein geringes Signal und bei hohem b-Wert ein gleich bleibendes bis deutlich ansteigendes Signal. Die ADC-Darstellung zeigt qualitativ den geringen Signalunterschied an; quantitativ liegt ein niedriger ADC-Wert vor. Es besteht eine Korrelation zwischen der zunehmenden biologischen Aggressivität von Prostatakarzinomen und dem abnehmenden ADC-Wert in der DWI [23].

Die Sensitivität und Spezifität der DWI allein wird für den Nachweis eines Prostatakarzinoms in einer aktuellen Metaanalyse mit insgesamt 1204 Patienten mit 62 bzw. 90 % angegeben [24]. In einer Metaanalyse mit insgesamt 698 Patienten mit vorangehender negativer Prostatabiopsie beträgt die mittlere Sensitivität der DWI für den Nachweis eines Prostatakarzinoms 38 % und die mittlere Spezifität 95 % [25]. Die Testgütparameter liegen etwas besser für die Kombination von T2w-Aufnahmen mit der DWI als für die T2w-Aufnahmen allein [26].

Unter externer Strahlentherapie der Prostata nimmt der ADC-Wert in Prostatakarzinomen signifikant zu, ändert sich aber in gesundem Prostatagewebe wohl nicht wesentlich [27].

DCE-MRT: Die DCE-MRT beinhaltet die schnelle Akquisition von T1w-Sequenzen nach Bolusapplikation eines gadolinumhaltigen Kontrastmittels und ist in der klinischen Onkologie als Biomarker etabliert [28]. Die DCE-MRT sollte immer in Kombination mit der DWI und der T2w-Bildgebung interpretiert werden, was durch die Verwendung der gleichen Schichtdicken erleichtert wird. Die DCE-MRT erhöht signifikant die Genauigkeit der Tumordetektion und Läsionsbeurteilung und insbesondere in der peripheren Zone erhöht die DCE-MRT die Sensitivität zur Tumordetektion [29, 30]. Eine hohe zeitliche Auflösung (mindestens 9 Sekunden) ist Voraussetzung, um die schnelle Anflutung des Kontrastmittels in der Prostata messen zu können [31]. Die DCE-MRT ist insbesondere essenziell für eine Rezidivdiagnostik nach Prostataektomie oder nach Strahlentherapie [32].

¹H-MRS: Im Rahmen der MRT-Diagnostik kann die dreidimensionale ¹H-MRS Prostatakarzinome lokalisieren [33]. Ein übereinstimmend prostatakarzinomverdächtiges Ergebnis der T1w-/T2w-Bildgebung und der ¹H-MRS weist mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 50 % (positiver Vorhersagewert) auf das Vorliegen von karzinomatös entartetem Prostatagewebe hin mit der wesentlichen Differenzialdiagnose einer herdförmig umschriebenen Prostatitis. Umgekehrt weist ein übereinstimmend negatives Ergebnis der T1w-/T2w-Bildgebung und der ¹H-MRS mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 95 % (negativer Vorhersagewert) auf das Vorliegen von gesundem Prostatagewebe hin mit der Differenzialdiagnose einer diffusen Prostatitis [34]. Die Sensitivität und Spezifität der ¹H-MRS kombiniert mit einzelnen MRT-Sequenzen lagen für den Nachweis eines Prostatakarzinoms in einer aktuellen Metaanalyse von 14 Studien mit insgesamt 698 Patienten mit vorangehender negativer Prostatabiopsie bei 58 bzw. 93 % [25]. Die Unterscheidbarkeit von gesundem und karzinomatös entartetem Prostatagewebe bleibt bei der ¹H-MRS grundsätzlich auch nach Therapie der Prostata (z. B. Hormontherapie, Strahlentherapie, Kryotherapie) erhalten [33].

T1w TSE/FSE-Sequenz

Die T1w-Sequenz dient der Beurteilung des Knochens und der Lymphknoten. Zur morphologischen Detektion von auffälligen Lymphknoten ist es sinnvoll, das gesamte Becken von der Aorten-

bifurkation bis zum Beckenboden abzubilden. Knochenmarkmetastasen des Prostatakarzinoms stellen sich in T1w hypointens und fokal dar. Es ist wichtig zu beachten, dass Spin-Echo oder schnelle Spin-Echo wie TSE- oder FSE-Sequenzen verwendet werden, da Gradientenechosequenzen das Knochenmarksignal verfälschen und so vorhandene Knochenmetastasen maskieren können. Für die Prostata ist eine T1w-Sequenz darüber hinaus sinnvoll, um postbiopsische oder entzündliche Einblutungen zu detektieren. Diese imponieren T1w hyperintens und können so gut gegenüber dem umgebenden Gewebe abgegrenzt werden [2].

Endorektalspule

Bei MRT-Untersuchungen mit einer Feldstärke von 1,5 T ist die Anwendung einer kombinierten Endorektal-Körper-Phased-Array-Spule hinsichtlich der Bildqualität und dem lokalen Staging im Vergleich zur ausschließlichen Verwendung einer Phased-Array-Spule ohne Endorektalspule überlegen [26]. Durch den Einsatz einer kombinierten Endorektal-Körper-Phased-Array-Spule konnte in einzelnen Studien auch bei 3 T MRT-Untersuchungen die Sensitivität bzw. der positiv prädiktive Wert für die Detektion eines Prostatakarzinoms erhöht werden [27]. Die in der Praxis weit verbreitete alleinige Verwendung einer Körper-Phased-Array-Spule bei 3 T wird mit einer guten Detektion für signifikante Tumoren begründet [28]. Der Einsatz der kombinierten Endorektal-Körper-Phased-Array-Spule bei 3 T kann das lokale Staging, insbesondere die Einschätzung eines extrakapsulären Wachstums verbessern [35]. Bei Verwendung der Endorektalspule sollte diese mit Luft gefüllt werden. Zur Reduktion von Suszeptibilitätsartefakten kann der Ballon für die Spektroskopie ggf. alternativ zu Luft mit destilliertem Wasser oder Fomblin Med 08 (Solvay, Brüssel, Belgien) gefüllt werden. Die Verwendung von Fomblin stellt in Deutschland jedoch ein Off-Label-Use dar.

Weitere Sequenzen

Die Kontrasteigenschaften der T2w-3D-TSE/FSE-Sequenzen (Multiecho Sequenzen mit variablen Flipwinkeln) sind im Vergleich zu den T2w-2D-TSE-Sequenzen für die Detektion des Prostatakarzinoms nicht ausreichend untersucht. Eine Studie mit geringer Fallzahl konnte für die Detektion und das Staging des Prostatakarzinoms der peripheren Zone jedoch keine Unterlegenheit der 3D-Sequenz im Vergleich zur klassischen 2D-Sequenz nachweisen [36]. Daher und aufgrund der erhöhten Anfälligkeit gegenüber Bewegungsartefakten sollte diese Sequenz zur Detektion des Prostatakarzinoms nicht eingesetzt werden. In einer weiteren Studie zum lokalen Staging mit ebenfalls geringer Fallzahl konnte eine höhere diagnostische Genauigkeit der 3D-Sequenz bzgl. der extrakapsulären Ausdehnung gezeigt werden [37]. Aufgrund der isotropen Voxel kann die 3D-Sequenz jedoch für die Fusion mit anderen bildgebenden Verfahren (insbesondere Ultraschall) von Vorteil sein.

Komplexe Techniken der diffusionsgewichteten Bildgebung berücksichtigen die mikrostrukturelle Komplexität des Prostatakarzinoms [38]. Intravoxel Incoherent Motion Imaging (IVIM) berücksichtigt das multiexponentielle Verhalten des Diffusionssignals bei verschiedenen b-Werten und den Einfluss der Perfusionskomponente des Signals bei niedrigen b-Werten. Diffusion Kurtosis Imaging (DKI) berücksichtigt die Kurtosis des Gewebes, womit die

Abweichung von der Gauß'schen Verteilung bezeichnet wird [39]. Diese komplexen Diffusionsmodelle sind aktuell Gegenstand der Forschung. Die derzeit vorliegenden Daten zeigen keinen signifikanten Vorteil dieser Methoden gegenüber der klassischen Diffusionswichtung und sollten daher derzeit nicht in der Diagnostik eingesetzt werden [39].

Weitere Techniken wie Diffusion Tensor Imaging, BOLD Imaging, MR-Elastografie und T2-Mapping sind derzeit ebenfalls noch in der Entwicklung und sollten daher außerhalb von Studien nicht eingesetzt werden.

MRT gestützte In-bore-Biopsie

Das genaueste MR-gestützte Biopsieverfahren zur histologischen Sicherung von MRT-Läsionen stellt die gezielte Biopsie in der MRT-Röhre dar [40]. Mögliche und in der Literatur beschriebene Zugangswege sind transrektal, transperineal und transgluteal. Die MRT-(in-bore)-Biopsie sollte unter Lokalanästhesie erfolgen. Die Verwendung einer Gelanästhesie ging in einem transrektalen Setting mit einem geringen Schmerzlevel (VAS 1 – 2 in 297/297 Patienten) einher [40].

Studien zeigen sowohl für Patienten ohne vorherige Biopsie, als auch mit negativer Vorbiopsie hohe Detektionsraten [14, 41, 42]. Die alleinige MRT-(in-bore)-Biopsie kann alternativ zu einer MRT/US-Fusionsbiopsie in der Sekundärindikation durchgeführt werden [41]. Als alternative MR-gestützte Biopsieverfahren stehen die MR/US-Fusionsbiopsie und die kognitive Ultraschallbiopsie zur Verfügung. Tendenziell zeigen sich MRT-(in-bore)- und fusionsbasierte Biopsieverfahren der einfachen kognitiven Biopsie überlegen [43]. Valide prospektive Vergleichsdaten fehlen jedoch derzeit [44].

Labor

Die konventionelle Gerinnungsdiagnostik mit International Normalized Ratio (INR), aktivierter partieller Thromboplastinzeit (aPTT) und Thrombozytenzahl ist ein schlechter Prädiktor des intraoperativen Blutungsrisikos und nicht in der Lage, die häufigsten Störungen der Blutgerinnung (Von-Willebrand-Faktor-Mangel und Thrombozytenfunktionsstörung) zu erfassen [45]. Ein standardisierter Fragebogen zur Erfassung der Blutungsanamnese, von Voroperation und Traumata, sowie familiärer Blutungsneigung und gerinnungshemmender Medikation ist somit essentiell. Eine Gerinnungsdiagnostik ist obligat bei Verdacht auf eine Gerinnungsstörung bei positiver Blutungsanamnese oder bei der Einnahme von oralen Antikoagulantien.

Eine Biopsie bei klinischen Zeichen eines akuten Harnwegsinfektes wie neues Brennen beim Wasserlassen sollte vermieden werden.

Gerinnungsmedikation

Die Einnahme von Acetylsalicylsäure (ASS) während eines chirurgischen Eingriffes erhöht das Risiko einer Blutungskomplikation um den Faktor 1,5 ohne Anstieg der Letalität [46]. Die aktuellen Leitlinien der European Society of Cardiology empfehlen die periinterventionelle Weitergabe von ASS in der Dosierung 100 mg p. o. [47]. Bei Patienten mit implantierten Koronarstents sollte eine Prostatabiopsie – als elektive Intervention – erst stattfinden, nachdem die duale Thrombozytenaggregationshemmung (ASS +

ADP-Antagonisten [Clopidogrel]) beendet und in eine Monotherapie mit ASS überführt wurde [48].

Eine Prostatabiopsie unter Vitamin-K-Antagonisten (Marcumar) erfordert eine interdisziplinäre Abwägung. Sollte ein Absetzen der Antikoagulation möglich sein, wird dieses empfohlen. Zwischen vier und sieben Tage nach Absetzen wird eine subtherapeutischer INR erreicht [48]. Prinzipiell kann eine Biopsie der Prostata jedoch auch unter der Einnahme eines Vitamin-K-Antagonisten erfolgen.

Antibiotika

In Anlehnung an die Empfehlungen der S3-Leitlinie Prostatakarzinom zur transrektalen ultraschallgesteuerten Biopsie wird empfohlen die transrektale MR-Biopsie unter Antibiotikaschutz durchzuführen. Es konnte gezeigt werden, dass die Antibiotikumprophylaxe signifikant die Rate an Bakteriurie nach Stanzbiopsie als möglicher Surrogatparameter für eine Infektion senkt [49]. Die üblicherweise geringere Anzahl von Biopsiezylindern bei der MRT-Biopsie mag darüber hinaus zu einer geringeren Infektionsrate beitragen. Chinolone sind die Antibiotika der Wahl bei der transrektalen Biopsie [50]. In den letzten Jahren ist eine Zunahme der infektiösen Komplikation nach Prostatabiopsie beschrieben worden [51].

Literatur

- [1] Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V. Interdisziplinäre Leitlinie der Qualität S3 zur Früherkennung, Diagnose und Therapie der verschiedenen Stadien des Prostatakarzinoms. Version 20 2011. www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/043-022OL.html
- [2] White S, Hricak H, Forstner R et al. Prostate cancer: effect of postbiopsy hemorrhage on interpretation of MR images. *Radiology* 1995; 195: 385 – 390
- [3] Mueller-Lisse UG, Vigneron DB, Hricak H et al. Localized prostate cancer: effect of hormone deprivation therapy measured by using combined three-dimensional 1H MR spectroscopy and MR imaging: clinicopathologic case-controlled study. *Radiology* 2001; 221: 380 – 390
- [4] Truong H, Logan J, Turkbey B et al. MRI characterization of the dynamic effects of 5alpha-reductase inhibitors on prostate zonal volumes. *Can J Urol* 2013; 20: 7002 – 7007
- [5] Beyersdorff D, Taupitz M, Deger S et al. MRI of the prostate after combined radiotherapy (afterloading and percutaneous): histopathologic correlation. *Fortschr Röntgenstr* 2000; 172: 680 – 685
- [6] Franiel T, Lüdemann L, Taupitz M et al. MRI before and after external beam intensity-modulated radiotherapy of patients with prostate cancer: the feasibility of monitoring of radiation-induced tissue changes using a dynamic contrast-enhanced inversion-prepared dual-contrast gradient echo sequence. *Radiother Oncol* 2009; 93: 241 – 245
- [7] Li BJ, Zhang C, Li K et al. Clinical analysis of the characterization of magnetic resonance imaging in 102 cases of refractory haematospermia. *Andrology* 2013; 1: 948 – 956
- [8] Franiel T, Lüdemann L, Rudolph B et al. Evaluation of normal prostate tissue, chronic prostatitis, and prostate cancer by quantitative perfusion analysis using a dynamic contrast-enhanced inversion-prepared dual-contrast gradient echo sequence. *Invest Radiol* 2008; 43: 481 – 487
- [9] Guidelines E. 9.0 Contrast Media Guidelines. In. esur.org; 2016
- [10] Roethke MC, Kuru TH, Radbruch A et al. Prostate magnetic resonance imaging at 3 Tesla: Is administration of hyoscine-N-butyl-bromide mandatory?. *World J Radiol* 2013; 5: 259 – 263
- [11] Wagner M, Rief M, Busch J et al. Effect of butylscopolamine on image quality in MRI of the prostate. *Clin Radiol* 2010; 65: 460 – 464
- [12] Weinreb JC, Barentsz JO, Choyke PL et al. PI-RADS Prostate Imaging – Reporting and Data System: 2015, Version 2. *Eur Urol* 2016; 69: 16 – 40

- [13] Siddiqui MM, Rais-Bahrami S, Turkbey B et al. Comparison of MR/ultrasound fusion-guided biopsy with ultrasound-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer. *JAMA* 2015; 313: 390–397
- [14] Quentin M, Blondin D, Arsov C et al. Prospective evaluation of magnetic resonance imaging guided in-bore prostate biopsy versus systematic transrectal ultrasound guided prostate biopsy in biopsy naive men with elevated prostate specific antigen. *J Urol* 2014; 192: 1374–1379
- [15] Radtke JP, Kuru TH, Boxler S et al. Comparative analysis of transperineal template saturation prostate biopsy versus magnetic resonance imaging targeted biopsy with magnetic resonance imaging-ultrasound fusion guidance. *J Urol* 2015; 193: 87–94
- [16] Roethke MC, Kuru TH, Schultze S et al. Evaluation of the ESUR PI-RADS scoring system for multiparametric MRI of the prostate with targeted MR/TRUS fusion-guided biopsy at 3.0 Tesla. *European radiology* 2014; 24: 344–352
- [17] Baur AD, Maxeiner A, Franiel T et al. Evaluation of the prostate imaging reporting and data system for the detection of prostate cancer by the results of targeted biopsy of the prostate. *Invest Radiol* 2014; 49: 411–420
- [18] Bruhn R, Schradling S, Kuhl CK. *Abbreviated Prostate MRI*. RSNA, Chicago, Illinois, 2015
- [19] Rothke M, Blondin D, Schlemmer HP et al. PI-RADS classification: structured reporting for MRI of the prostate. *Fortschr Röntgenstr* 2013; 185: 253–261
- [20] Röthke MC, Lichy MP, Jurgschat L et al. Tumorsize dependent detection rate of endorectal MRI of prostate cancer – a histopathologic correlation with whole-mount sections in 70 patients with prostate cancer. *Eur J Radiol* 2011; 79: 189–195
- [21] Hadaschik BA, Kuru TH, Tulea C et al. A novel stereotactic prostate biopsy system integrating pre-interventional magnetic resonance imaging and live ultrasound fusion. *J Urol* 2011; 186: 2214–2220
- [22] Mueller-Lisse UG, Mueller-Lisse UL, Zamecnik P et al. Diffusion-weighted MRI of the prostate. *Radiologie* 2011; 51: 205–214
- [23] Vargas HA, Akin O, Franiel T et al. Diffusion-weighted endorectal MR imaging at 3 T for prostate cancer: tumor detection and assessment of aggressiveness. *Radiology* 2011; 259: 775–784
- [24] Jie C, Rongbo L, Ping T. The value of diffusion-weighted imaging in the detection of prostate cancer: a meta-analysis. *European radiology* 2014; 24: 1929–1941
- [25] Zhang ZX, Yang J, Zhang CZ et al. The value of magnetic resonance imaging in the detection of prostate cancer in patients with previous negative biopsies and elevated prostate-specific antigen levels: a meta-analysis. *Acad Radiol* 2014; 21: 578–589
- [26] Wu LM, Xu JR, Ye YQ et al. The clinical value of diffusion-weighted imaging in combination with T2-weighted imaging in diagnosing prostate carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Am J Roentgenol* 2012; 199: 103–110
- [27] Decker G, Murtz P, Gieseke J et al. Intensity-modulated radiotherapy of the prostate: dynamic ADC monitoring by DWI at 3.0 T. *Radiother Oncol* 2014; 113: 115–120
- [28] Hylton N. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging as an imaging biomarker. *J Clin Oncol* 2006; 24: 3293–3298
- [29] Puech P, Sufana-Iancu A, Renard B et al. Prostate MRI: can we do without DCE sequences in 2013?. *Diagn Interv Imaging* 2013; 94: 1299–1311
- [30] Rosenkrantz AB, Sabach A, Babb JS et al. Prostate cancer: comparison of dynamic contrast-enhanced MRI techniques for localization of peripheral zone tumor. *Am J Roentgenol* 2013; 201: W471–W478
- [31] Hegde JV, Mulkern RV, Panych LP et al. Multiparametric MRI of prostate cancer: an update on state-of-the-art techniques and their performance in detecting and localizing prostate cancer. *J Magn Reson Imaging* 2013; 37: 1035–1054
- [32] Barentsz JO, Richenberg J, Clements R et al. ESUR prostate MR guidelines 2012. *European radiology* 2012; 22: 746–757
- [33] Mueller-Lisse UG, Scherr MK. Proton MR spectroscopy of the prostate. *Eur J Radiol* 2007; 63: 351–360
- [34] Umbehr M, Bachmann LM, Held U et al. Combined magnetic resonance imaging and magnetic resonance spectroscopy imaging in the diagnosis of prostate cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur Urol* 2009; 55: 575–590
- [35] de Rooij M, Hamoen EH, Witjes JA et al. Accuracy of Magnetic Resonance Imaging for Local Staging of Prostate Cancer: A Diagnostic Meta-analysis. *Eur Urol* 2015. DOI: 10.1016/j.eururo.2015.07.029
- [36] Rosenkrantz AB, Neil J, Kong X et al. Prostate cancer: Comparison of 3D T2-weighted with conventional 2D T2-weighted imaging for image quality and tumor detection. *Am J Roentgenol* 2010; 194: 446–452
- [37] Itatani R, Namimoto T, Takaoka H et al. Extracapsular extension of prostate cancer: diagnostic value of combined multiparametric magnetic resonance imaging and isovoxel 3-dimensional T2-weighted imaging at 1.5 T. *J Comput Assist Tomogr* 2015; 39: 37–43
- [38] Rosenkrantz AB, Sigmund EE, Johnson G et al. Prostate cancer: feasibility and preliminary experience of a diffusional kurtosis model for detection and assessment of aggressiveness of peripheral zone cancer. *Radiology* 2012; 264: 126–135
- [39] Roethke MC, Kuder TA, Kuru TH et al. Evaluation of Diffusion Kurtosis Imaging Versus Standard Diffusion Imaging for Detection and Grading of Peripheral Zone Prostate Cancer. *Invest Radiol* 2015; 50: 483–489
- [40] Schimmoller L, Blondin D, Arsov C et al. MRI-Guided In-Bore Biopsy: Differences Between Prostate Cancer Detection and Localization in Primary and Secondary Biopsy Settings. *Am J Roentgenol* 2016; 206: 92–99
- [41] Arsov C, Rabenalt R, Blondin D et al. Prospective randomized trial comparing magnetic resonance imaging (MRI)-guided in-bore biopsy to MRI-ultrasound fusion and transrectal ultrasound-guided prostate biopsy in patients with prior negative biopsies. *Eur Urol* 2015; 68: 713–720
- [42] Durmus T, Reichelt U, Huppertz A et al. MRI-guided biopsy of the prostate: correlation between the cancer detection rate and the number of previous negative TRUS biopsies. *Diagn Interv Radiol* 2013; 19: 411–417
- [43] Oberlin DT, Casalino DD, Miller FH et al. Diagnostic Value of Guided Biopsies: Fusion and Cognitive-registration Magnetic Resonance Imaging Versus Conventional Ultrasound Biopsy of the Prostate. *Urology* 2016; 92: 75–79
- [44] Rastinehad AR, Durand M. A comparison of magnetic resonance imaging and ultrasonography (MRI/US)-fusion guided prostate biopsy devices: too many uncontrolled variables. *BJU Int* 2016; 117: 548–549
- [45] Chee YL, Crawford JC, Watson HG et al. Guidelines on the assessment of bleeding risk prior to surgery or invasive procedures. British Committee for Standards in Haematology. *Br J Haematol* 2008; 140: 496–504
- [46] Burger W, Chemnitz JM, Kneissl GD et al. Low-dose aspirin for secondary cardiovascular prevention – cardiovascular risks after its perioperative withdrawal versus bleeding risks with its continuation – review and meta-analysis. *J Intern Med* 2005; 257: 399–414
- [47] Poldermans D, Bax JJ, Boersma E et al. Guidelines for pre-operative cardiac risk assessment and perioperative cardiac management in non-cardiac surgery: the Task Force for Preoperative Cardiac Risk Assessment and Perioperative Cardiac Management in Non-cardiac Surgery of the European Society of Cardiology (ESC) and endorsed by the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur J Anaesthesiol* 2010; 27: 92–137
- [48] Schlitt A, Jambor C, Spannagl M et al. The perioperative management of treatment with anticoagulants and platelet aggregation inhibitors. *Dtsch Arztebl Int* 2013; 110: 525–532
- [49] Bootsma AM, Laguna Pes MP, Geerlings SE et al. Antibiotic prophylaxis in urologic procedures: a systematic review. *Eur Urol* 2008; 54: 1270–1286
- [50] Aron M, Rajeev TP, Gupta NP. Antibiotic prophylaxis for transrectal needle biopsy of the prostate: a randomized controlled study. *BJU Int* 2000; 85: 682–685
- [51] Loeb S, Carter HB, Berndt SI et al. Complications after prostate biopsy: data from SEER-Medicare. *J Urol* 2011; 186: 1830–1834