

Frühe Rezidivdiagnostik des Prostatakarzinoms mittels PET/CT und simultaner PET/MRT und dem neuen Radiotracer [⁶⁸Ga]PSMA-Ligand

K. Dickhuth¹, S. Hesse¹, S. Purz¹,
B. Habermann¹, Th. Lincke¹, J. Fahnert²,
P. Stumpp², H. M. Do³, J. U. Stolzenburg³,
Th. Kahn², O. Sabri¹, R. Kluge¹

Zusammenfassung

Bislang waren die Möglichkeiten in der Rezidivdiagnostik des bereits primär kurativ therapierten Prostatakarzinoms begrenzt. Seit einiger Zeit existiert eine neue nuklearmedizinische Untersuchungsmethode, die sich die vermehrte Expression des ProstataSpezifischen MembranAntigens (PSMA) in Prostatakarzinomzellen zunutze macht. Tumorherde können anhand der PositronenEmissionsTomographie (PET) unter Verwendung des Radiotracers [⁶⁸Ga]PSMA-L hochspezifisch schon bei niedrigen PSA-Werten und bereits vor erkennbaren morphologischen Veränderungen dargestellt werden. Die Methode sollte genutzt werden, um eine optimale Therapiestrategie zu wählen und so Prognose und Lebensqualität der betroffenen Patienten zu verbessern und überflüssige Behandlungen zu vermeiden.

Einführung

Das Prostatakarzinom ist mit einem Anteil von ca. 25 Prozent an den jährlichen Krebsneuerkrankungen in Deutschland nach wie vor die häufigste Krebsart des Mannes und stellt mit etwa 13.000 Todesfällen pro Jahr die dritthäufigste Krebstodesursache nach dem Bronchial- und Kolonkarzi-

nom dar [1]. Die Therapie erfolgt gemäß dem Ausbreitungsstadium, wobei für begrenzte Tumorstadien speziell die radikale Prostatektomie und Strahlentherapie als auch das Konzept der „Active Surveillance“ eine wesentliche Rolle spielen. Bei den metastasierten Stadien wird unter anderem eine antihormonelle Therapie bzw. bei hormonresistenten Karzinomen eine Chemotherapie angewendet.

Die Bestimmung des ProstataSpezifischen Antigens (PSA) hat eine herausragende Bedeutung in der Nachsorge primär kurativ behandelter Prostatakarzinome. Ein biochemisches Rezidiv, das heißt ein in mindestens zwei Messungen bestätigter PSA-Anstieg > 0,2 ng/ml nach radikaler Prostatektomie beziehungsweise > 2 ng/ml über dem postinterventionellen PSA-Nadir nach alleiniger Strahlentherapie kann sowohl durch ein lokales, als auch durch ein systemisches Rezidiv verursacht sein. Für ein systemisches Rezidiv sprechen dabei eine kurze PSA-Verdopplungszeit, ein hoher Gleason-Score und ein kurzer Abstand zur primären kurativ intendierten Therapie [2].

Die Lokalisation und Ausdehnung eines Rezidivs voroperierter oder vorbestrahlter Prostatakarzinome als Ursache des PSA-Anstieges sind für die weitere Therapieplanung von äußerster Bedeutung. Allerdings sind die diagnostischen Möglichkeiten begrenzt. Bildgebende Verfahren wie die ComputerTomographie (CT) und der transrektale Ultraschall sind in der posttherapeutischen Situation in ihrer Sensitivität eingeschränkt, sodass sie bei der frühen Rezidivdiagnostik von limitierter Wertigkeit sind. Deutlich mehr Informationen können multiparametrische Untersuchungen mittels MagnetResonanzTomographie (MRT) vor allem in der Detektion eines Lokalrezidivs liefern [3].

Die bei anderen Tumorentitäten (zum Beispiel dem Bronchialkarzinom oder bei Lymphomen) erfolgreich eingesetzte kombinierte PET/CT mit dem Radiotracer [¹⁸F]-Fluor-desoxyglukose ([¹⁸F]FDG-PET/CT), welche Tumorherde anhand ihres gesteig-

erten Glukosestoffwechsels identifizieren kann, zeigte sich in der Primär- oder Rezidivdiagnostik des Prostatakarzinoms nur von eingeschränktem Nutzen [4 – 6]. Ursächlich hierfür ist unter anderem das zum Teil sehr langsame, wenig aggressive Tumorstadium [7]. Seit einiger Zeit sind zur Rezidiv- oder zur Ausbreitungsdiagnostik des Prostatakarzinoms neue nuklearmedizinische Methoden verfügbar, die spezielle molekulare Zielstrukturen an der Zelloberfläche bzw. bestimmte Zelleigenschaften nutzen.

So wird unter anderem die PET/CT mittels an ¹¹C oder ¹⁸F gekoppelter Cholinderivate eingesetzt. Cholin wird vermehrt in Prostatakarzinomzellen aufgenommen [8]. Es zeigen sich vor allem in der Detektion pelviner Lymphknotenmetastasen im Rahmen der Rezidivdiagnostik bessere Ergebnisse gegenüber der konventionellen Bildgebung [9, 10]. Allerdings lässt sich bei niedrigem PSA-Wert in der Rezidivdiagnostik oder zum Primärstaging insbesondere in Bezug auf Lymphknotenmetastasen eine eingeschränkte Sensitivität nachweisen [11 – 15].

Die aktuellen S3-Leitlinien zur Früherkennung, Diagnose und Therapie des Prostatakarzinoms (Stand Oktober 2014) beziehen sich auf die PET-Bildgebung mit Cholinderivaten. Es wird empfohlen, die PET/CT nicht zur Primärdiagnostik, zum Staging und im Rahmen der Rezidivdiagnostik nicht unterhalb bestimmter PSA-Werte einzusetzen. So soll nach radikaler Prostatektomie bei einem PSA Wert < 1 ng/ml, nach Strahlentherapie (perkutane, Low-Dose-Rate- und High-Dose-Rate-Brachytherapie) bei einem PSA-Wert < 2 ng/ml keine PET/CT zur Beurteilung der Tumorausdehnung erfolgen (siehe Empfehlung 6.2) [2].

Der Erfolg einer Salvage-Strahlentherapie hängt aber unter anderem davon ab, dass so früh wie möglich und somit bei möglichst niedrigem PSA-Wert mit der Therapie begonnen wird. So hat annähernd die Hälfte der Patienten mit einem Rezidiv nach Prostatektomie ein progres-

¹ Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Leipzig

² Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Leipzig

³ Klinik und Poliklinik für Urologie des Universitätsklinikums Leipzig

sionsfreies Überleben von sechs Jahren, wenn sie schon bei einem PSA-Wert von $\leq 0,5$ ng/ml eine Salvage-Strahlentherapie erhalten. Bei Patienten, die erst mit einem PSA-Wert von 1,01 bis 1,50 ng/ml behandelt werden, sind es hingegen nur 28 Prozent [16]. In den letzten zwei Jahren wird die Cholin-PET nun zunehmend durch die Bildgebung mit PSMA-Inhibitoren abgelöst, welche eine weitere Steigerung der Sensitivität und Spezifität gerade im Hinblick auf einen sehr frühen Rezidivnachweis versprechen.

Bildgebung mit PSMA-Inhibitoren

Die [^{68}Ga]PSMA-PET/MRT bzw. -PET/CT ist ein neues hybrid-bildgebendes Verfahren zur Darstellung PSMA-positiver Prostatakarzinom-Tumorerde. Das Prostata-spezifische Membranantigen ist ein Typ-II-Transmem-

branprotein, welches unter anderem in geringem Ausmaß von einigen gesunden Geweben wie Gliazellen des zentralen Nervensystems, Zellen des proximalen Nierentubulus und des Dünndarmes exprimiert wird. Auch in Zellen des Nieren- und Blasenkarzinoms sowie in Gefäßneubildungen weiterer solider Tumoren wird PSMA exprimiert [17]. In Prostatakarzinomzellen findet im Vergleich zu benignem Prostatagewebe und in Abhängigkeit von Differenzierungs- und Metastasierungsgrad sowie Androgeninsensitivität eine verstärkte Expression statt [17 – 19].

Zur PET-Bildgebung werden ^{68}Ga -markierte PSMA-Inhibitoren verwendet, die hochspezifisch an das PSMA binden und somit für die Darstellung PSMA-exprimierender Zellen genutzt werden können [20, 21]. Eine wesent-

liche Indikation für die [^{68}Ga]PSMA-PET-Hybrid-Bildgebung stellt das biochemische Rezidiv (PSA-Anstieg) oder der klinische Verdacht auf ein Rezidiv zur Lokalisations- und Ausbreitungsdiagnostik dar. Mit der [^{68}Ga]PSMA-PET steht erstmals eine Methode zur Verfügung, die bereits bei sehr niedrigen PSA-Werten in der überwiegenden Zahl der Fälle eine Detektion des Tumorgewebes ermöglicht und Basis für die Planung der Rezidivtherapie sein kann [22 – 24]. Die ersten Erfahrungen im klinischen Einsatz des [^{68}Ga]PSMA-PET zeigen gegenüber dem [^{18}F]Cholin-PET deutliche Vorteile. Die Arbeitsgruppe um Afshar-Oromieh untersuchte dazu 37 Patienten mit einem biochemischen (PSA-) Rezidiv bei primär therapiertem Prostatakarzinom (Radiatio und Hormontherapie oder Prostatektomie) sowohl mittels

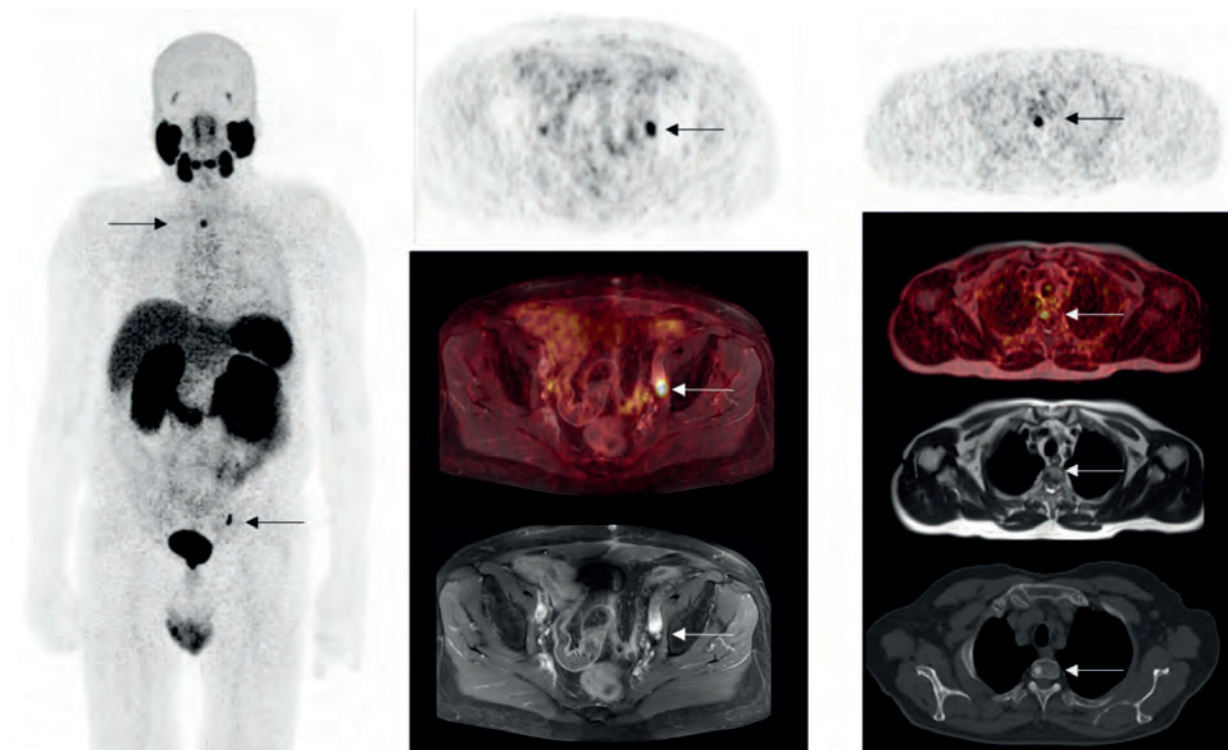
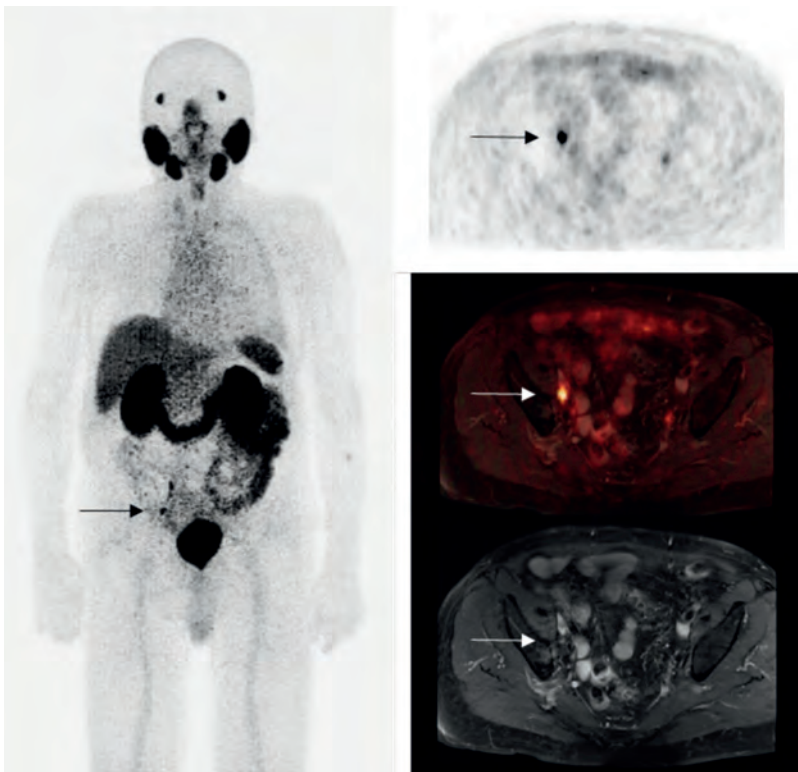


Abb 1: 71-jähriger Patient mit teils azinärem, überwiegend anaplastischem schlecht differenzierten Adenokarzinom mit Infiltration beider Seitenlappen und mikroskopischer Resektionsrandinfiltration links. Z.n. radikaler Prostatektomie 08/15 mit pelviner Lymphadenektomie, TNM: pT3b N1 Mx, L1, V0, Pn1, R1, G3, Gleason-Score 5+4. Z.n. Flutamidtherapie 08-09/15, einmalig Triptorelininjektion 09/15. PSA-Wert initial 7,76 ng/ml, postoperativ 1,2 ng/ml, zum Zeitpunkt der Untersuchung unter antihormoneller Therapie (11/15) 0,08 ng/ml.

Dargestellt sind: a) die MIP (maximum intensity projection) der PET-Daten, b) transversaler Schnitt durch das Becken, von oben nach unten: PET, PET/MRT-Fusion und MRT (T1TSE fs KM), c) transversaler Schnitt durch den Thorax: PET, PET/MRT-Fusion, MRT (T2 HASTE) und CT (nativ).

- MIP: schon in der Übersicht lässt sich thorakal und im kleinen Becken jeweils ein Herd abgrenzen. Ansonsten physiologische Tracerbelegung in den Speicheldrüsen, Nieren und ableitenden Harnwegen sowie Leber, Milz und Darm.
- Zuordnung des gesteigerten PSMA-Besatzes im Becken zu einem links iliakalen, nicht vergrößerten Kontrastmittel-affinen Lymphknoten.
- Nachweis einer PSMA-exprimierenden ossären Metastase im 3. Brustwirbelkörper, die sich auch in der CT darstellen lässt.



a) b) © Universitätsklinikum Leipzig
 Abb. 2: 71-jähriger Patient mit azinärem Adenokarzinom der Prostata, initial pT3a pN0 cM0, Pn1, R1, G2, Gleason-Score 4+3, mit Z.n. radikaler Prostatektomie und pelviner Lymphadenektomie 08/14 sowie Z.n. Radiatio der Prostata- und Samenblasenloge bis 01/15. PSA-Wert initial 5,11 ng/ml, postoperativ 0,1 ng/ml, PSA-Wert circa einen Monat vor PET/MRT-Untersuchung: 0,42 ng/ml (09/15); und etwa zwei Monate nach Untersuchung 0,505 ng/ml (12/15).
 Dargestellt sind: a) die MIP (maximum intensity projection) der PET-Daten und b) transversaler Schnitt durch das Becken, von oben nach unten: PET, PET/MRT-Fusion und MRT (T1TSE fs KM).
 a) MIP: bereits Verdacht auf einen PSMA-positiven Herd im Becken rechts.
 b) Zuordnung des Befundes zu einem MRT-morphologisch nicht pathologisch vergrößerten LK rechts iliakal (5x8 mm).

[¹⁸F]Cholin-PET/CT als auch mit [⁶⁸Ga]PSMA-PET/CT. Dabei zeigte sich insgesamt eine signifikant höhere Detektionsrate für die [⁶⁸Ga]PSMA-PET/CT (86,5 Prozent der Patienten mit mindestens einer Läsion versus 70,3 Prozent in der [¹⁸F]Cholin-PET/CT). Insbesondere bei niedrigen PSA-Werten konnten anhand der [⁶⁸Ga]PSMA-PET/CT mehr Tumorherde lokalisiert werden. Außerdem stellten sich Lymphknoten- und Knochenmetastasen in der [⁶⁸Ga]PSMA-PET deutlich kontrastreicher dar [25]. Auch Eiber et al. wiesen nach radikaler Prostatektomie bei 89,5 Prozent der Patienten PSMA-positive Tumorherde nach. Die Detektionsrate war dabei abhängig vom PSA-Wert und schwankte zwischen 96,8 Prozent bei Patienten mit einem PSA-Wert ≥ 2 ng/ml und 57,9 Prozent bei Patienten mit einem PSA-Wert von 0,2 –

< 0,5 ng/ml auch unter antiandrogener Therapie. Bei Patienten mit schlechter differenzierten Karzinomen (Gleason ≥ 8) zeigte sich mit 96,8 Prozent eine signifikant höhere Detektionsrate im Vergleich zu besser differenzierten Karzinomen (Gleason ≤ 7 , Detektionsrate 86,7 Prozent) [26]. Weitere Studien bestätigen den Zusammenhang zwischen PSMA-positiven Läsionen in der PET-Bildgebung mit dem PSA-Wert, wobei ein höherer PSA-Wert mit einer höheren Detektionsrate assoziiert ist. Bezüglich des Zusammenhangs mit dem Gleason-Score und der PSA-Verdopplungszeit bestehen widersprüchliche Aussagen [22, 24, 27].

Eigene Erfahrungen

Die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums

Leipzig AöR führt seit Juli 2014 [⁶⁸Ga]PSMA-PET/MRT- und -PET/CT-Untersuchungen durch, die laut Literatur bezüglich der Darstellung von Metastasen des Prostatakarzinoms vergleichbare Ergebnisse liefern [28]. Ein wesentlicher Vorteil der simultanen PET/MRT gegenüber der PET/CT liegt in der Kombination der PET mit der diagnostischen MRT, die insbesondere für die Detektion eines Lokalrezidivs eine wesentliche Rolle spielt [3, 9]. Die eigenen Erfahrungen bestätigen, dass schon bei sehr niedrigen PSA-Werten PSMA-positive Tumorherde nachgewiesen werden können. Es sollte mindestens ein PSA-Wert von 0,2 ng/ml vorliegen. In Ausnahmefällen können aber auch Patienten mit niedrigeren PSA-Werten untersucht werden. Abb. 1 zeigt einen Patienten mit Prostatakarzinom nach radikaler Prostatektomie (RPE) und pelviner Lymphadenektomie (LAE) vor geplanter Radiatio der Prostataloge mit einem PSA-Wert von 0,08 ng/ml (unter antihormoneller Therapie, PSA-Wert postoperativ 1,2 ng/ml), bei dem anhand der [⁶⁸Ga]PSMA-PET/MRT eine iliakale Lymphknoten- und eine ossäre Wirbelkörpermetastase identifiziert werden konnte. Zwei Monate nach Radiatio der Prostataloge und ehemaligen Samenblasenregion, der pelvinen Lymphabflusswege und des Brustwirbelkörpers fiel der PSA-Wert auf < 0,01 ng/ml.

Auch Metastasen, die anhand der konventionellen Diagnostik nicht identifiziert werden konnten, können mittels Darstellung in der PET lokalisiert werden. So stellt Abb. 2 einen Patienten mit Zustand nach radikaler Prostatektomie mit pelviner Lymphadenektomie und Zustand nach Radiatio der Prostata- und Samenblasenloge dar, bei dem ein in der MRT nicht suspekter Lymphknoten eine deutlich gesteigerte PSMA-Expression als Hinweis auf eine Metastase des Prostatakarzinoms aufwies. Direkt im Anschluss an eine Radiatio des pelvinen Lymphabflussgebietes mit Dosisaufsättigung rechts iliakal (letzte Bestrahlungsfraction nicht durchgeführt) und kurzzeitiger Einnahme einer antihor-

Tabelle 1: Mögliche Indikationen für die Durchführung einer ^{68}Ga PSMA-PET-Hybrid-Bildgebung

Primäre Indikation:
Rezidivdiagnostik eines Prostatakarzinoms zur Ausbreitungsdiagnostik und weiteren Therapieplanung <ul style="list-style-type: none"> - Biochemisches Rezidiv bei Zustand nach primärer Prostatektomie oder Strahlentherapie - Dringender klinischer Verdacht auf ein Rezidiv
Weitere mögliche Indikationen (zum Teil Einzelfallentscheidung):
Therapieplanung und Kontrolle des Therapieansprechens bei Patienten mit fortgeschrittenem beziehungsweise metastasiertem Prostatakarzinom <ul style="list-style-type: none"> - zur Planung/Kontrolle einer perkutanen Strahlentherapie - PSA-Anstieg unter antihormoneller Therapie - Patientenselektion zur ^{177}LuPSMA-Therapie beziehungsweise Kontrolle des Therapieansprechens - Zum Ausschluss von Weichteilmetastasen vor geplanter Therapie mit Radium-223-dichlorid (Xofigo)
Primärdiagnostik und Staging <ul style="list-style-type: none"> - zur Therapieplanung bei Hochrisikopatienten (hoher Gleason-Score, kurze PSA-Verdopplungszeit, hoher PSA-Wert) - zur Planung einer Rebiopsie bei Verdacht auf ein Prostatakarzinom nach mehrfacher Biopsie ohne histologischen Tumornachweis

monellen Therapie fiel der PSA-Wert von prätherapeutisch 0,51 ng/ml auf zunächst 0,19 ng/ml.

Praktisches und Patientenvorbereitung

Die Untersuchung wird am Universitätsklinikum Leipzig in Zusammenarbeit mit den Kollegen der Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie am PET/CT und PET/MRT inklusive diagnostischer MRT des Beckens durchgeführt. Die Patienten sollten im Vorhinein über den zeitlichen Aufwand der Untersuchung aufgeklärt werden (insgesamt ca. 2 – 4 h). Die reine PET/MRT-Untersuchungsdauer (im Gerät) beträgt etwa 70 – 90 min (30 – 45 min Becken-MRT, 40 min Ganzkörperaufnahme), die reine PET/CT-Untersuchungsdauer ca. 35 min (Ganzkörper).

Der Patient muss am Untersuchungstag nicht nüchtern sein. Medikamente können eingenommen werden. Zu einer erfolgten Operation oder Radiotherapie sind – auch in Abhängigkeit von der Fragestellung – bestimmte zeitliche Abstände einzuhalten (entsprechende Informationen sind auf den Anmeldebögen einzutragen). Eine laufende antiandrogene Behandlung muss vor der ^{68}Ga PSMA-PET-Untersuchung nicht unterbrochen werden. Bei der Becken-MRT werden Medikamente zur Hemmung der Darmmotilität eingesetzt, die die Fahrtauglichkeit beeinträchtigen können, weshalb

ambulante Patienten auf öffentliche Verkehrsmittel ausweichen sollten.

Aktuelle TSH- und Kreatininwerte sollten spätestens am Untersuchungstag vorliegen. Die ^{68}Ga PSMA-PET-Untersuchung stellt zurzeit keine Regelleistung der gesetzlichen Krankenversicherungen dar. Die Kostenübernahme muss nach Indikationsprüfung durch die untersuchende Einrichtung vorab beantragt werden. Privat krankenversicherte Patienten bekommen in der Regel die Kosten für die Untersuchung erstattet. Anmeldebögen zur Untersuchung und weitere Informationen erhalten Sie auf unserer Homepage (<http://nuklmed.uniklinikum-leipzig.de>).

Ausblick

Weitere Indikationen

Noch existieren zu wenige – bislang hauptsächlich retrospektive – Studien, um den Wert der PET-Bildgebung zur Darstellung PSMA-exprimierender Zellen vollständig erfassen zu können. Eine größere prospektive Multicenter-Studie ist beispielsweise innerhalb des Deutschen Konsortiums für Translationale Krebsforschung zur Prüfung der diagnostischen Genauigkeit des Radiotracers ^{68}Ga PSMA-11 für die präoperative PET/CT-Bildgebung bei Hochrisikopatienten in Vorbereitung (siehe entsprechend auch Homepage des Deutschen Krebsforschungszentrums: https://www.dkfz.de/de/dkfk/forschungsaktivitaeten/SI_PSMA.html).

Mögliche weitere Indikationen des Einsatzes der ^{68}Ga PSMA-PET/CT beim Prostatakarzinom sind etwa die Planung der Strahlentherapie, präoperatives Lymphknoten-Staging bzw. der Einsatz im Rahmen der Primärdiagnostik und Therapieplanung nach Erstdiagnose insbesondere bei initialer Risikokonstellation (hoher PSA-Wert, hoher Gleason-Score) sowie Progress der Erkrankung unter Therapie [29 – 34].

Erste Daten zeigen zum Beispiel, dass der Einsatz einer ^{68}Ga PSMA-PET im Rahmen der Planung einer externen Radiotherapie beim primären und rezidivierenden Prostatakarzinom in einem großen Anteil der Fälle einen wesentlichen Einfluss auf die TNM-Zuordnung und somit auch auf die Therapiestrategie bis hin zu einer Umstellung von einer geplanten lokalen auf eine systemische Therapieform hat [33, 34].

Die Salvage-Lymphadenektomie gewinnt als mögliche Therapieoption beim (nodal) rezidivierten Prostatakarzinom zunehmend an Bedeutung. Für eine gezielte operative Entfernung von Lymphknotenmetastasen fehlte bislang eine ausreichend zuverlässige prätherapeutische Bildgebung [35]. Bezüglich der Detektion von Lymphknotenmetastasen vor einer Lymphadenektomie wird für die ^{68}Ga PSMA-PET eine hohe diagnostische Genauigkeit beschrieben (Sensitivität 86,9 bzw. 94 Prozent, Spezifität 93,1 bzw. 99 Prozent, negativ prädiktiver Wert 96,6 bzw. 99,5 Prozent) [36, 19], sodass sie diese diagnostische Lücke womöglich füllen kann.

Wichtig aus unserer Sicht ist eine interdisziplinäre Diskussion der Ergebnisse der ^{68}Ga PSMA-PET/CT bzw. -PET/MRT-Untersuchungen in den entsprechenden (urologischen) Tumorboards. Aus der aktuellen Datenlage heraus ergeben sich die in Tabelle 1 aufgeführten möglichen Indikationen für die Durchführung einer ^{68}Ga PSMA-PET/CT beziehungsweise -PET/MRT.

Therapie

Für Patienten mit einem fortgeschritten metastasierten, kastrationsresistenten Prostatakarzinom existierten

bislang nur wenige Behandlungsalternativen. Spezifisch an das PSMA bindende Substanzen können an ein radioaktives Nuklid mit nur geringer Strahlenreichweite und entsprechend hoher lokaler Strahlendosis gekoppelt werden (zum Beispiel Lutetium-177), um vorhandene Tumorerde lokal zu bestrahlen. Erste klinische Erfahrungen zeigen vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich Sicherheit und Wirksamkeit der Therapie, die sich unter anderem in einem meist deutlich sinkenden PSA-Wert zeigt [37 – 41]. Die

[⁶⁸Ga]PSMA-PET wird sowohl für die Therapieplanung, als auch zur Evaluation des Therapieansprechens eingesetzt. Eine Voraussetzung für die Durchführung einer solchen Therapie ist unter anderem eine in der Bildgebung nachgewiesene deutliche PSMA-Expression der Tumorerde [40, 42].

Über die Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin ist eine multizentrische Studie zur Therapie mit [¹⁷⁷Lu]PSMA-617 bei Patienten mit fortgeschrittenem kastrationsresis-

tenten Prostatakarzinom geplant (siehe auch Homepage der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin: www.nuklearmedizin.de/leistungen/news/newsdetail.php?navId=69&newsId=219)

Literatur bei der Verfasserin

Interessenskonflikt: keine

Korrespondierende Autorin:

Dr. med. Karoline Dickhuth
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des
Universitätsklinikums Leipzig
Liebigstr. 18, 04103 Leipzig
Karoline.Dickhuth@medizin.uni-leipzig.de