

Ultraschallassistierte Katheter-Anlage bei der CT-geführten HDR-Brachytherapie zur lokalen Ablation abdomineller Malignome: Erste Erfahrungen.

Ultrasound-assisted catheter placement in CT-guided HDR brachytherapy for the local ablation of abdominal malignancies: Initial experience

Autoren

Robert Damm¹, Shahen El-Sanousy¹, Jazan Omari¹, Romy Damm¹, Peter Hass², Maciej Pech¹, Maciej Powerski¹

Institute

- 1 Department of Radiology and Nuclear Medicine, University of Magdeburg, Germany
- 2 Department of Radiotherapy, University of Magdeburg, Germany

Key words

brachytherapy, interventional procedures, ultrasound computed tomography (US/CT)

eingereicht 20.02.2018

akzeptiert 14.05.2018

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0636-4055>

Online-Publikation: 11.10.2018

Fortschr Röntgenstr 2019; 191: 48–53

© Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York

ISSN 1438-9029

Korrespondenzadresse

Dr. Robert Damm

Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin,
Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R.,
Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg, Germany

Tel.: ++49/3 91/6 71 30 30

Fax: ++49/3 91/6 71 30 29

robert.damm@med.ovgu.de

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel Evaluierung der Sicherheit und Machbarkeit der sonografisch assistierten Katheter-Anlage bei der interstitiellen High-dose-rate-Brachytherapie abdomineller Malignome.

Material und Methoden In einer ersten Kohorte von 12 Patienten mit 16 abdominellen Tumoren (kolorektale Lebertumoren n = 9; Nierenzellkarzinom n = 3; hepatozelluläres Karzinom n = 2; cholangiozelluläres Karzinom n = 2) erfolgte die initiale Punktion und Katheter-Anlage bei der CT-gestützten Brachytherapie soweit möglich unter sonografischer Führung. Die Durchführung des Eingriffs wurde prospektiv erfasst und der klinische Verlauf der Patienten dokumentiert. Die erhobe-

nen Daten wurden deskriptiv ausgewertet und mit dem Mann-Whitney-U-Test analysiert.

Ergebnisse Bei 12 von 16 Läsionen (Diameter 1,5 – 12,9 cm) konnte die initiale Punktion zur Katheter-Platzierung sonografisch erfolgreich ohne Zuhilfenahme der CT-Fluoroskopie vorgenommen werden, wodurch sich die mittlere Fluoroskopiezeit des gesamten Eingriffs signifikant verkürzen ließ (14,5 vs. 105,5; p = 0,006). Bei 8 Läsionen wurde die Sichtbarkeit im Ultraschall insgesamt besser bewertet als in der CT-Fluoroskopie (p = 0,2). Es traten keine Minor- oder Major komplikationen innerhalb von 30 Tagen auf.

Schlussfolgerung Die ultraschallassistierte Katheter-Anlage könnte bei der interstitiellen, CT-gestützten Brachytherapie abdomineller Tumore sowohl zur verbesserten Katheter-Positionierung als auch zur Reduzierung der Strahlenexposition des medizinischen Personals beitragen.

Kernaussagen Die ultraschallassistierte Katheter-Anlage bei der CT-geführten Brachytherapie abdomineller Tumore ist technisch machbar und sicher. Die Ultraschallpunktion könnte die Katheter-Positionierung verbessern. Eine signifikante Reduktion der Fluoroskopiezeit kann bei der Reduktion der Strahlenexposition des medizinischen Personals helfen.

Zitierweise

- Damm R, El-Sanousy S, Omari J et al. Ultrasound-assisted catheter placement in CT-guided HDR brachytherapy for the local ablation of abdominal malignancies: Initial experience. Fortschr Röntgenstr 2019; 191: 48–53

ABSTRACT

Purpose To evaluate the safety and feasibility of sonographically-assisted catheter placement in interstitial high-dose-rate brachytherapy of abdominal malignancies.

Materials and Methods In an initial cohort of 12 patients and 16 abdominal tumors (colorectal liver metastases n = 9; renal cell cancer n = 3; hepatocellular carcinoma n = 2; cholangiocellular carcinoma n = 2), initial puncture and catheter placement for CT-guided brachytherapy were performed under sonographic assistance when possible. The interventional procedure was prospectively recorded and in-patient data were

collected. All data underwent descriptive statistics and comparative analysis by the Mann-Whitney test.

Results In 12 out of 16 lesions (diameter 1.5–12.9 cm), initial puncture was successfully achieved under ultrasound guidance without utilization of CT fluoroscopy, yielding a significantly shorter mean total fluoroscopy time (14.5 vs. 105.5 s; $p = 0.006$). In 8 lesions visibility was rated better in ultrasound

than in CT fluoroscopy ($p = 0.2$). No major or minor complications occurred within 30 days after treatment.

Conclusion Ultrasound-assisted catheter placement during interstitial CT-guided brachytherapy of abdominal tumors could improve catheter positioning and reduce radiation exposure for medical staff.

Einleitung

Die CT-geführte, interstitielle Brachytherapie (HDR-BT) ist ein Katheter-basiertes Verfahren, welches u. a. eine lokal-ablative Strahlenbehandlung thorakaler und abdomineller Malignome erlaubt.

Die Anlage der Bestrahlungskatheter erfolgt perkutan üblicherweise mit Hilfe der CT-Fluoroskopie.

Im Gegensatz zu thermischen Ablationsverfahren, wie der Radiofrequenzablation (RFA) und Mikrowellenablation (MWA), besteht bei dieser Behandlungsmethode keine technische Limitation hinsichtlich der Tumorgöße und Nähe zu hitzevulnerablen Strukturen [1, 2]. Weiterhin unterliegt die interstitielle Bestrahlung keinen thermischen Kühlungseffekten durch benachbarte Gefäße und weist durch die feste Platzierung des Bestrahlungskatheters im Tumor gegenüber der Stereotaxie (SBRT) keine Beeinflussung durch die Atemexkursion auf [3, 4].

Da für multiple und größere Läsionen mehrere Katheter eingebracht werden müssen, entsteht ein komplexer Eingriff, der typischerweise mit einer höheren Strahlenexposition für den Radiologen assoziiert ist [5, 6]. Weiterhin ist die Zugänglichkeit insbesondere kleinerer Läsionen unter der CT-Fluoroskopie häufig erschwert und erfordert Erfahrung, um dosissparend die Zielläsion zu erreichen [7, 8].

Bei thermischen Ablationsverfahren, wie der Radiofrequenzablation, hat sich neben der Computertomografie auch die Sonografie in der Bildführung etabliert und stellt damit eine Alternative ohne ionisierende Strahlung dar [9].

Wir berichten in dieser Arbeit über erste Erfahrungen mit der sonografisch-assistierten Katheter-Anlage bei der interstitiellen Brachytherapie hepatischer und renaler Malignome als Ergänzung zur CT-Fluoroskopie.

Material und Methoden

Patientenkohorte

In einer prospektiven Machbarkeitsstudie wurden seit Juli 2017 Patienten rekrutiert und eingeschlossen. Die Einschlusskriterien umfassen Patienten mit einer geplanten, interstitiellen Brachytherapie zur Ablation von Tumoren in sonografisch gut darstellbaren Organen wie der Leber und den Nieren. Die Studie wurde durch die örtliche Ethikkommission beraten und zustimmend bewertet. Alle Patienten stimmten vor dem Eingriff mit einer informierten Einwilligung den studienspezifischen Maßnahmen zu und genehmigten die Weiterverarbeitung ihrer klinischen und radiologi-

schen Daten zu Studienzwecken nach den Richtlinien des Datenschutzes.

Eingeschlossen wurden 12 Patienten (8 Männer, 4 Frauen; mittleres Alter 70 Jahre) mit insgesamt 16 zu behandelnden Tumoren (kolorektale Lebermetastasen $n = 9$; Nierenzellkarzinome $n = 3$; hepatozelluläre Karzinome $n = 2$ sowie cholangiozelluläre Karzinome $n = 2$).

3 Patienten waren an der Leber voroperiert, hiervon 1 Patient mit einer Trisektorektomie sowie 2 Patienten mit einer atypischen Resektion. Von den 13 behandelten Leberläsionen waren 5 Lokalrezidive nach Radiofrequenzablation oder atypischer Resektion.

Zur Objektivierung der Patientenselektion wurde auf eine präinterventionelle Evaluierung der sonografischen Zugänglichkeit verzichtet.

Sonografisch-assistierte, CT-gestützte Brachytherapie

Der Eingriff der Katheter-Anlage wurde in einem 80-Zeilen-CT (Aquilion Prime, Canon Medical Systems, Neuss, Deutschland) unter einer begleitenden Analgosedierung des Patienten mit bedarfsadaptierter, intravenöser Applikation von Fentanyl und Midazolam unter pulsoxymetrischer Überwachung durchgeführt. Der interstitielle Zugang zur Zielläsion erfolgte über eine initiale, bildgeführte Punktion (nach Möglichkeit sonografisch geführt, sonst CT-fluoroskopisch) mit einer 18Ga-Coaxialnadel und das anschließende Einwechseln von 25 cm langen 6F-Katheter-Schleusen (Terumo Radifocus® Introducer II, Terumo Europe, Leuven, Belgien) über einen steifen Führungsdraht (Amplatz SuperStiff™, Boston Scientific, Marlborough, USA). Hierüber konnte ein bündig mit dem Innenlumen der Schleuse abschließender 6F-Bestrahlungskatheter (Afterloading-Katheter, Primed® Medizintechnik GmbH, Halberstadt, Deutschland) eingebracht und das System mit einer Hautnaht fixiert werden.

Bei kleinen, rundlichen Läsionen (<4 cm) und zentraler Punktion erfolgte die Anlage eines Bestrahlungskatheters. Im Fall einer größeren oder irregulär geformten Läsion erfolgte die Einbringung mehrerer Katheter zur Anpassung der Form der Ablationszone (in Abhängigkeit des Zugangsweges in einer gefächerten oder überkreuzten Anordnung).

Nach Verbringen in die Strahlentherapie erfolgte dort eine Bestrahlungsplanung auf der Basis eines Planungs-CT (Oncentra® Brachy, Elekta Instrument AB, Stockholm, Schweden) und die Einzelbestrahlung durch eine Iridium-192-Quelle in Afterloading-Technik. Nach Definierung des Tumorumfanges (gross tumor volume, GTV) anhand der verfügbaren Bildinformationen wurde computerassistent ein Sicherheitssaum von 5 mm zur Generierung des klinischen Zielvolumens (clinical target volume, CTV)

hinzugefügt. Aufgrund der stabilen Katheter-Lage im Zielvolumen konnte dann das CTV mit dem letztendlichen Planungszielvolumen (planning target volume, PTV) gleichgesetzt werden. Für das CTV bzw. PTV wurde in Abhängigkeit der Tumorentität eine Zieldosis von 15 Gy (Nierenzellkarzinome, hepatozelluläre Karzinome), 20 Gy (cholangiozelluläre Karzinome) oder 25 Gy (kolorektale Lebermetastasen) verschrieben.

Im Rahmen der Studie wurde nach Möglichkeit die CT-Fluoroskopie (120 kVp / 30 mAs; 0,5 s Rotationszeit; 6 mm Einzelschicht-aquisition; Bildmatrix 512 × 512) bei der initialen Punktion und zwischenzeitlichen Lagekontrolle der Katheter-Schleusen auf dem CT-Tisch durch die seitlich positionierte Sonografie mit niederfrequenten Konvex (1 – 5 MHz)- und Matrix (1 – 6 MHz)-Schallköpfen (EPIQ7, Philips Medical Systems, Amsterdam, Niederlande) ersetzt (siehe ► **Abb. 1**). Bei 8 Läsionen kam die Freihand-Punktionstechnik zum Einsatz, bei 4 Läsionen erfolgte die Punktion über eine koaxiale Führungshilfe am Ultraschallkopf.

Am Ende jeden Eingriffs wurde dann eine bei Bedarf kontrastmittelverstärkte Computertomografie durchgeführt, um anhand dieser die Bestrahlungsplanung durchzuführen.

Für die Durchführung und Beurteilung der Eingriffe waren 2 Fachärzte für Radiologie mit 7 bzw. 4 Jahren Erfahrung in perkutanen Interventionen (mindestens 1000 bzw. 300 dokumentierte, perkutane Eingriffe) verantwortlich.

Datenauswertung und Statistik

Patientencharakteristika, die Anzahl der Katheter je Bildführungsmodalität, Intervention und Läsion, Läsionsdiameter sowie Fluoroskopiezeiten wurden tabellarisch dokumentiert. Die Bilddatensätze wurden für jede durchgeführte Intervention aufgezeichnet und die Sichtbarkeit der Läsionen durch die durchführenden Interventionsradiologen im Konsens mit Schulnoten bewertet. Zusätzlich wurden die Dosisinformationen (CTV, Zieldosis, D100) aller behandelten Läsionen aus dem Bestrahlungsplanungssystem erfasst.

Die Klassifikation der Society for Interventional Radiology (SIR) diente zur Bewertung von Major- und Minorkomplikationen [10].

Die erhobenen Daten wurden zunächst in SPSS 24.0 (IBM® SPSS® Statistics, IBM Deutschland GmbH, Ehningen, Deutschland) deskriptiv mit Ermittlung von Mittelwert und Standardabweichung sowie Median und Spannweite ausgewertet. Die Darstellung erfolgte über Box-Plots. Sofern ein Vergleich von statistischen Variablen zwischen den Bildgebungsmodalitäten CT und Ultraschall in dem kleinen Patientenkollektiv methodisch durchführbar war, erfolgte dieser mittels Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben sowie mittels Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben.

Ergebnisse

Bildgeführte Katheter-Platzierung

Insgesamt wurden 16 Tumoren mit einem mittleren Diameter von $3,9 \pm 2,7$ cm (min. 1,5 cm bis max. 12,9 cm) durch $2,3 \pm 1,5$ Bestrahlungskatheter (1 bis 5 Katheter pro Läsion, insgesamt 28 Katheter) behandelt.



► **Abb. 1** Geräteanordnung im Interventions-CT für die ultraschall-assistierte Punktion.

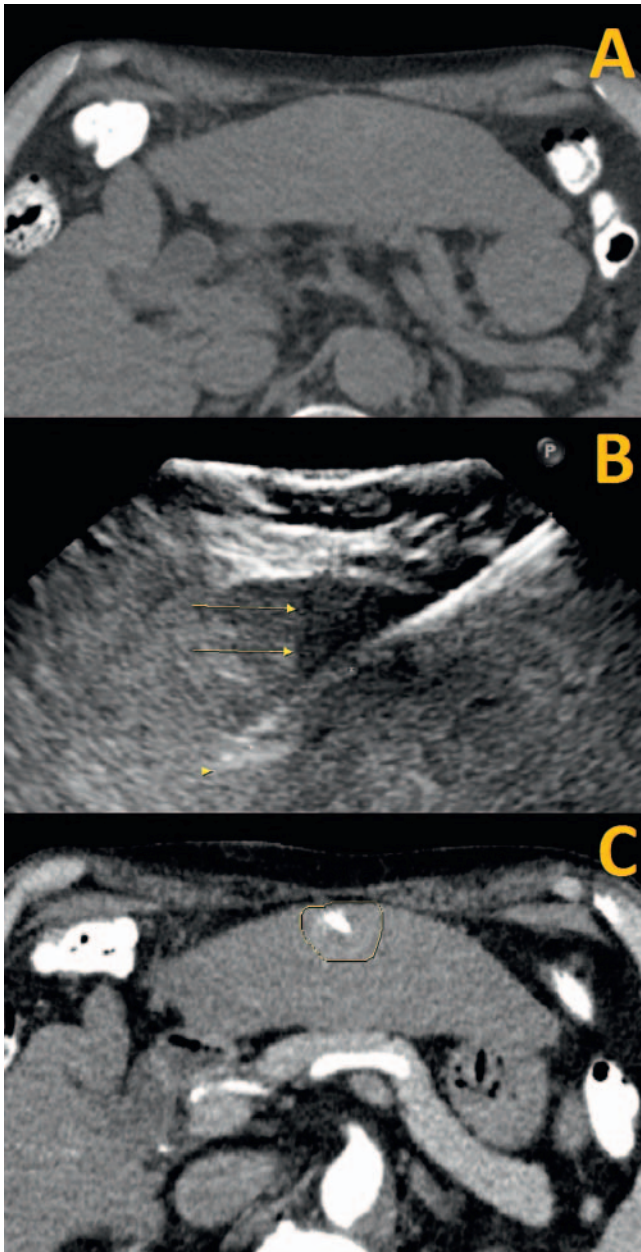
Bei 12 von 16 Läsionen bzw. bei 23 von 28 Kathetern konnte die Katheter-Anlage vollständig mittels Ultraschall erfolgen. Bei 4 Tumoren musste aufgrund unzureichender Schallbedingungen die initiale Punktion unter CT-Fluoroskopie erfolgen; hierbei lag eine Leberläsion direkt unter dem Zwerchfell an einem Resektionsrand nach Trisektorektomie und eine weitere direkt im Leberhilus. Bei 2 weiteren Tumoren wurde die sonografische Sichtbarkeit nicht ausreichend für eine sichere Punktion eingeschätzt.

Insgesamt waren alle Punktionen bzw. Katheter-Anlagen bei Nierentumoren sowie bei Lebertumoren in der kaudalen Segmentreihe (Segment 3/4B/5/6) erfolgreich sonografisch durchführbar. Bei 1 Patienten mit einer im CT nicht sichtbaren Läsion konnte durch die sonografisch-assistierte Punktion und Katheter-Anlage vollständig auf die CT-Fluoroskopie verzichtet werden (siehe ► **Abb. 2**). An dieser Stelle war nur noch eine Computertomografie mit Kontrastmittelapplikation für die Bestrahlungsplanung nötig.

Die geplante Dosis für das Zielvolumen (CTV) konnte bei 14 von 16 Läsionen erreicht werden. In 2 Fällen musste aufgrund der Nähe des zu behandelnden Tumors zu Risikoorganen eine Dosisreduktion erfolgen (Gallenblase, Punktdosis maximal 20 Gy; Magen/Duodenum, Punktdosis maximal 14 Gy).

Fluoroskopiezeit und Läsionssichtbarkeit

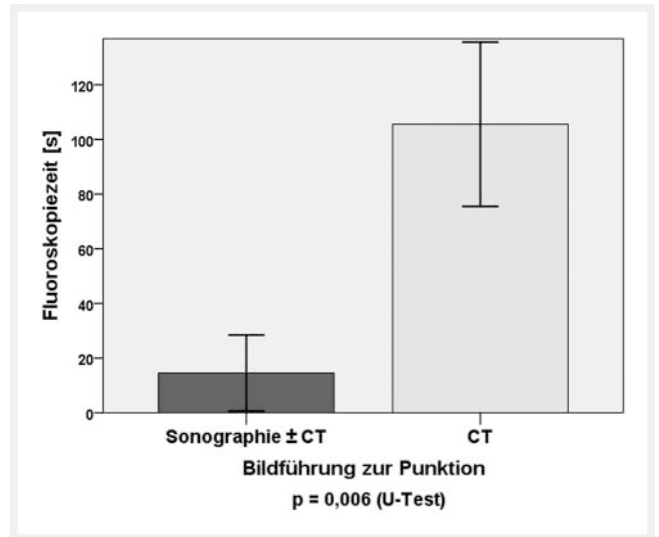
Auch bei der ultraschallassistierten Intervention erfolgten zwischenzeitliche Kontrollen der Katheter-Lage mittels CT-Fluoroskopie (120 kVp / 30 mAs; 0,5 s Rotationszeit; 6 mm Einzelschicht-aquisition; Bildmatrix 512 × 512). Die mittlere Fluoroskopiezeit war bei sonst sonografisch-geführten Eingriffen mit 14,5 s gegen-



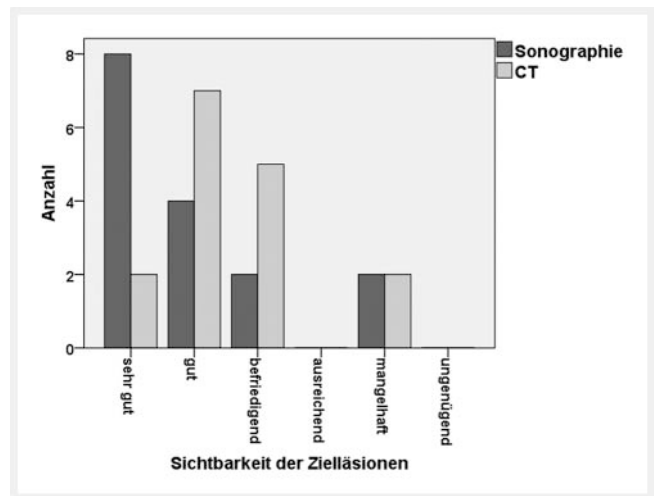
► **Abb. 2** Interstitielle Brachytherapie bei einem subkapsulären HCC im Lebersegment III. Auf der nativen Planungs-CT **A** und in der CT-Fluoroskopie war die zuvor im MRT detektierte Läsion kaum abgrenzbar. In der Sonografie ist das HCC klar als echoarme Raumforderung zu erkennen (Pfeile) und entsprechend zu punktieren (Pfeilspitze) **B**. Anschließend konnte in der CT für die Bestrahlungsplanung nach Kontrastmittelapplikation in der arteriellen Phase eine mittige Lage des Bestrahlungskatheters in der Läsion (Kreis) dokumentiert werden **C**.

über 105,5 s bei Hinzunahme der CT-Fluoroskopie für die initiale Punktion jedoch signifikant kürzer ($p = 0,006$; siehe ► **Abb. 3**).

Die Sichtbarkeit der Zielläsionen wurde durch die 2 durchführenden Radiologen für beide Bildgebungsmodalitäten im Konsens beurteilt. In der Sonografie wurde die Erkennbarkeit bei 8 von 16 Läsionen anhand von Schulnoten als sehr gut bewertet, bei der CT-Fluoroskopie traf dies nur auf 2 Läsionen zu. Bei 4 bzw. 7 Läsio-



► **Abb. 3** Mittlere Fluoroskopiezeit (\pm Standardabweichung) in beiden Gruppen bei sonografisch-assistierter Punktion (Sonografie \pm CT) vs. alleiniger CT-fluoroskopisch geführter Punktion (CT) zur Katheter-Anlage einschließlich zwischenzeitlicher Lagekontrollen.



► **Abb. 4** Sichtbarkeit der Zielläsionen ($n = 16$) nach Bildführungsmodalität (Sonografie vs. CT).

nen erfolgte die Bewertung mit gut, bei 2 bzw. 5 Läsionen mit befriedigend. Bei jeweils 2 Tumoren lag nur eine mangelhafte Erkennbarkeit im Ultraschall (2 cholangiozelluläre Karzinome) oder CT (1 hepatozelluläres Karzinom, 1 kolorektale Lebermetastase) vor. Die übrigen Schulnoten wurden bei der geringen Fallzahl nicht vergeben. ► **Abb. 4** gibt einen Überblick über die Bewertung der Läsionssichtbarkeit. Statistisch bestand zwischen den Modalitäten kein signifikanter Unterschied ($p = 0,27$), obwohl bei insgesamt 6 Läsionen die Sichtbarkeit in der Sonografie besser als im CT bewertet wurde.

Interstitielle Tumorablation

Die tumorumschließende Dosis bei der Einzeitbestrahlung wurde in Abhängigkeit der vorliegenden Tumorentität bei 15 bis 25 Gy festgelegt, die mittlere Zieldosis betrug $20,6 \pm 4,0$ Gy. In Bezug auf das klinische Zielvolumen (CTV) wurde bei der letztendlichen Dosisverteilung (D100) in 14 von 16 Fällen die Zieldosis erreicht und lag im Mittel bei $19,3 \pm 4,8$ Gy. Ursache für eine reduzierte Dosis war bei 2 Patienten die Nähe des Tumors zu strahlensensiblen Nachbarorganen (Magen $n = 1$; Duodenum $n = 1$).

Komplikationen

Nach der Entfernung der Katheter-Schleusen wurde jeweils nach ca. 2 Stunden eine Kontrolle mittels Sonografie oder CT durchgeführt. Hierdurch konnte in allen Fällen eine akute Blutungskomplikation ausgeschlossen werden.

Im Nachuntersuchungszeitraum von 30 Tagen wurden keine weiteren Major- oder Minor komplikationen nach sonografisch-assistierter oder direkter CT-fluoroskopischer Katheter-Anlage im Patientenkollektiv beobachtet.

Diskussion

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde nach unserer Kenntnis erstmalig bei der bildgeführten, interstitiellen HDR-Brachytherapie hepatischer und renaler Tumoren die Sonografie als Bildführungsmodalität für die initiale Punktion bzw. Katheter-Einbringung eingesetzt. Bisher kamen an dieser Stelle nur die CT- oder MRT-Fluoroskopie zum Einsatz [11, 12].

In einer ersten, explorativen Analyse konnte hierbei gezeigt werden, dass ein Großteil der Katheter-Anlagen für die CT-gestützte HDR-Brachytherapie bereits mit dem zusätzlich neben dem CT-Tisch positionierten Sonografiegerät durchgeführt werden kann. Als sonografisch zugängliche Region erschienen die Nieren sowie kaudalen Lebersegmente (3/4B/5/6) besonders geeignet, unzugänglich waren im bisherigen Patientenkollektiv lediglich einige Läsionen in einem der kranialen Lebersegmente (2/4A/7/8). Die Ergebnisse sind an dieser Stelle korrespondierend zu Arbeiten, die beispielsweise für die Radiofrequenzablation von hepatozellulären Karzinomen die Wertigkeit der Sonografie und CT evaluiert haben und vergleichbare Ergebnisse dokumentieren konnten [9]. Bekannt sind jedoch auch die Vorteile der CT-Fluoroskopie, wenn ähnlich unserem Kollektiv bestimmte Regionen des Abdomens schwer für den Ultraschall zugänglich sind [13, 14]. Für viele perkutane Eingriffe in der interventionellen Radiologie fehlen jedoch weiterhin vergleichende, randomisierte Studien zwischen Sonografie und CT-Fluoroskopie.

Limitierend für die Aussagekraft der Studie ist vorrangig die kleine Patientenzahl, an der zunächst nur explorativ die Möglichkeiten des Verfahrens festgestellt werden sollten. Es wird nun das Ziel sein, anhand einer größeren Fallzahl die Wertigkeit der ultraschallassistierten Katheter-Anlage für eine praxisnahe Implementierung bei der CT-gestützten HDR-Brachytherapie zu definieren. Als ein geeignetes Vergleichskriterium erscheint die Reduzierung der Fluoroskopiezeit im CT, die proportional zu der Strahlenexposition des beteiligten medizinischen Personals zu

sehen ist und bereits in der vorliegenden Arbeit signifikant durch Zuhilfenahme des Ultraschalls reduziert werden konnte [15]. Ebenso verbessert die unmittelbare Verfügbarkeit einer zweiten Bildgebungsmodalität die Sichtbarkeit und Zugänglichkeit bestimmter Läsionen ähnlich dem Prinzip der CT/Ultraschall-Bildfusion [16]. Letztendlich kann hieraus eine verbesserte Positionierung der Bestrahlungskatheter oder eine Reduktion der benötigten Anzahl für eine suffiziente Bestrahlung resultieren. Für die Bestrahlungsplanung wird jedoch weiterhin eine CT-Bildgebung erforderlich bleiben und das Verfahren damit nicht völlig in den Bereich der Sonografie zu verlegen sein.

Zusammenfassung

Die sonografisch-assistierte Katheter-Anlage bei der interstitiellen HDR-Brachytherapie hat das Potenzial, den Gebrauch der CT-Fluoroskopie und damit die Strahlenexposition des interventionell tätigen Radiologen zu verringern. Die Sichtbarkeit der Zielläsion in der Sonografie ist dabei der CT-Fluoroskopie in einigen Fällen überlegen und erlaubt selbst bei voroperierten Patienten eine exakte Katheter-Anlage.

Die anhand dieser Studie gewonnenen Ansätze sollen in folgenden Untersuchungen an einem größeren Patientenkollektiv den konkreten Mehrwert des Verfahrens erarbeiten.

KERNAUSSAGEN/KLINISCHE RELEVANZ

- Die ultraschallassistierte Katheter-Anlage bei der CT-geführten Brachytherapie abdomineller Tumoren ist technisch machbar und sicher.
- Die Ultraschallpunktion kann die Katheterpositionierung verbessern.
- Eine signifikante Reduktion der Fluoroskopiezeit kann bei der Reduktion der Strahlenexposition des medizinischen Personals helfen.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Colletini F, Singh A, Schnapauff D et al. Computed-tomography-guided high-dose-rate brachytherapy (CT-HDRBT) ablation of metastases adjacent to the liver hilum. *Eur J Radiol* 2013; 82: e509–e514
- Yang W, Yan K, Wu GX et al. Radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma in difficult locations: Strategies and long-term outcomes. *World J Gastroenterol* 2015; 21: 1554–1566
- Lin ZY, Li GL, Chen J et al. Effect of heat sink on the recurrence of small malignant hepatic tumors after radiofrequency ablation. *J Cancer Res Ther* 2016; 12: C153–C158
- Van den Begin R, Engels B, Gevaert T et al. Impact of inadequate respiratory motion management in SBRT for oligometastatic colorectal cancer. *Radiother Oncol* 2014; 113: 235–239

- [5] Kloeckner R, dos Santos DP, Schneider J et al. Radiation exposure in CT-guided interventions. *Eur J Radiol* 2013; 82: 2253–2257
- [6] Rogits B, Jungnickel K, Lowenthal D et al. Prospective Evaluation of the radiologist's hand dose in CT-guided interventions. *Rofo* 2013; 185: 1081–1088
- [7] Gianfelice D, Lepanto L, Perreault P et al. Effect of the learning process on procedure times and radiation exposure for CT fluoroscopy-guided percutaneous biopsy procedures. *J Vasc Interv Radiol* 2000; 11: 1217–1221
- [8] Schaefer PJ, Schaefer FKW, Heller M et al. CT fluoroscopy-guided biopsy of small pulmonary and upper abdominal lesions: Efficacy with a modified breathing technique. *J Vasc Interv Radiol* 2007; 18: 1241–1248
- [9] Wu J, Chen P, Xie YG et al. Comparison of the effectiveness and safety of ultrasound- and CT-guided percutaneous radiofrequency ablation of non-operation hepatocellular carcinoma. *Pathol Oncol Res* 2015; 21: 637–642
- [10] Sacks D, McClenny TE, Cardella JF et al. Society of Interventional Radiology clinical practice guidelines. *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14: S199–S202
- [11] Colletini F, Lutter A, Schnapauff D et al. Unresectable colorectal liver metastases: percutaneous ablation using CT-guided high-dose-rate brachytherapy (CT-HDBRT). *Rofo* 2014; 186: 606–612
- [12] Ricke J, Thormann M, Ludewig M et al. MR-guided liver tumor ablation employing open high-field 1.0T MRI for image-guided brachytherapy. *Eur Radiol* 2010; 20: 1985–1993
- [13] Sheafor DH, Paulson EK, Kliewer MA et al. Comparison of sonographic and CT guidance techniques: does CT fluoroscopy decrease procedure time? *Am J Roentgenol* 2000; 174: 939–942
- [14] Mukhtar KN, Mahmood SN, Umair SF. CT guided percutaneous renal biopsy versus ultrasound guided for obtaining adequate tissue. *J Pak Med Assoc* 2012; 62: 880–882
- [15] Rathmann N, Haeusler U, Diezler P et al. Evaluation of radiation exposure of medical staff during CT-guided interventions. *J Am Coll Radiol* 2015; 12: 82–89
- [16] Lee MW, Rhim H, Cha DI et al. Planning US for percutaneous radiofrequency ablation of small hepatocellular carcinomas (1–3 cm): value of fusion imaging with conventional US and CT/MR images. *J Vasc Interv Radiol* 2013; 24: 958–965