

# Aktuelle Trends in der flexiblen Ureterorenoskopie – ein Update

## Current trends in flexible ureteroscopy: an update

### Autoren

Simon Hein, Martin Schönthaler, Rodrigo Suárez Ibarrola, Philippe-Fabian Müller, Dominik Schoeb, Arkadiusz Miernik

### Institut

Department of Urology, Medical Center – University of Freiburg, Faculty of Medicine, University of Freiburg, Freiburg

### Schlüsselwörter

flexible Ureterorenoskopie, Urotechnologie, fURS, Einweg-Ureterorenoskop, Urolithiasis

### Keywords

flexible ureteroscopy, urotechnology, disposable ureteroscope, urolithiasis, fURS

### Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0761-3409> |

Online-Publikation: 2018 | Akt Urol

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

ISSN 0001-7868

### Korrespondenzadresse

Dr. Simon Hein, Department of Urology, Medical Center – University of Freiburg, Faculty of Medicine, University of Freiburg, Freiburg, Hugstetter Str. 55, 79106 Freiburg  
Tel.: 0761/270-28930  
Fax: 0761/270-25829  
[simon.hein@uniklinik-freiburg.de](mailto:simon.hein@uniklinik-freiburg.de)

### ZUSAMMENFASSUNG

Die flexible Ureterorenoskopie (fURS) kann als „urotechnologische“ Erfolgsgeschichte bezeichnet werden. Seit der Einführung der fURS in die Harnsteintherapie wurde diese immer weiter technisch verbessert, was zu exzellenten kli-

nischen Ergebnissen bei niedrigen Komplikationsraten führte. In den letzten Jahren prägte insbesondere die Einweg-Ureterorenoskopie die Landschaft der urologischen Endoskopie. Bei genauerer Betrachtung ist diese Entwicklung jedoch keine genuine Innovation, sondern vielmehr eine weiterführende Optimierung, die primär zur Vereinfachung innerbetrieblicher Abläufe (keine Sterilisation, keine Reparaturen) sowie zur Verhinderung der Keimübertragung bei insuffizient aufbereiteten Arbeitskanälen führt. Neue Technologien wie eine automatisierte Laserlithotripsie, intrarenale Temperatur- und Druckmessung warten noch auf ihre Markteinführung und den Einsatz bei der fURS. Diese hätten das Potenzial die endoskopische Steintherapie einen weiteren entscheidenden Schritt voranzubringen.

### ABSTRACT

Flexible ureteroscopy (fURS) has become a success story in urology. Since its implementation into the treatment of urolithiasis, fURS has demonstrated excellent clinical performance and safety. In recent years, the spread of disposable ureteroscopes has shaped the field of endoscopic stone treatment. However, the primary advantage of these devices is that they improve the workflow in urology theatres (no sterilisation, no repair costs) and possibly minimise bacteria transfer in working channels rather than being a real technological “game changer”. Novel disruptive improvements such as automatic laser lithotripsy or intrarenal pressure and temperature control in real time are still waiting to enter the clinical routine. These innovations might take fURS to the next level and disruptively change endoscopic stone treatment.

## Einleitung

Die flexible Ureterorenoskopie (fURS) ist gemeinsam mit der Stoßwellentherapie (ESWL) und der perkutanen Nephrolitholapaxie (PCNL) ein wichtiger Pfeiler aus der Phalanx der minimalinvasiven Behandlungsmodalitäten der Urolithiasis. Ein Blick in den Indikationsalgorithmus der Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Urologie zeigt ein breites Einsatzspektrum der fURS in der Behandlung von Nierensteinen bis zu 20 mm. Gleichermaßen erlaubt die Leitlinie die Therapie größerer Konkreme bei ungünstigen anatomischen Bedingungen oder ande-

ren relevanten Risikofaktoren in Form einer Steinsanierung mittels fURS [1]. Im vorliegenden Artikel präsentieren die Autoren die aktuellen wichtigsten Technologietrends mit dem Fokus auf fURS und vor dem Hintergrund des Leitthemas Urotechnologie.

Die Ureterorenoskopie wurde erstmalig von Marshall im Jahre 1964 als eine endoskopische Untersuchung eines Harnleiters beschrieben [2]. Der erste Bericht über ein flexibles Ureterorenoskop stammt von Takagi et al. aus dem Jahre 1971 [3]. In Deutschland kam die URS dann mit dem Beginn der 1980er Jahre zunehmend zum Einsatz, zunächst bei distalen Harnleiter-

steinen und unter Anwendung semirigider Instrumente. Seit den 2000er Jahren löste sie in den meisten Kliniken die ESWL als führende Behandlungsoption auch bei Nierensteinen ab, was insbesondere durch die Verfügbarkeit immer weiter verbesserter flexibler Instrumente ermöglicht wurde [4].

Heutzutage liefert die fURS im hochspezialisierten Setting exzellente Steinfreiheitsraten bei niedrigen Komplikationsraten [5]. Auch international erfreut sich die fURS höchster Beliebtheit. So konnte gezeigt werden, dass im Rahmen der regelmäßigen Zertifizierungsprüfungen anhand von Fallbeispielen des *American Board of Urology* der Behandlungstrend bei der Steintherapie des oberen Harntrakts eindeutig in Richtung URS geht (zwischen flexibler und semirigider URS wurde nicht spezifiziert) [6]. Insbesondere junge Urologen deklarieren sich hierbei als Befürworter der fURS.

Bei aller Begeisterung für die fURS, welche im vergangenen Jahrzehnt nahezu in einen Hype ausuferte, sollte dieser Eingriff hinsichtlich seiner spezifischen Charakteristika und Komplikationsprofile nicht unkritisch zum Einsatz kommen. Es existieren zwar multiple Fallserien, welche von sehr hohen Steinfreiheitsraten berichten [5, 7, 8] – Komplikationen wie Ureterstrikturen, postinterventionelle Niereninsuffizienz, Urosepsis oder gar Tod werden in diesen jedoch weniger thematisiert. Zugegebenermaßen sind deren Pathomechanismen auch heute teilweise nicht vollständig verstanden. Erst neuere Arbeiten, die im vorliegenden Artikel näher besprochen werden, adressieren die risikoreichen Aspekte einer fURS wie bspw. die intrarenale Druck- und Wärmeentwicklung bei der Laserlithotripsie sowie unterschiedliche Irrigationsqualitäten im experimentellen Setting [9 – 12]. Randomisierte Studien oder gar Metaanalysen sind nur in begrenztem Umfang vorhanden [13]. Ebenso fehlt eine einheitliche Definition der *Steinfreiheit* und es gibt keinen wissenschaftlichen Konsens zur Signifikanz und Größe von Restfragmenten – was einen objektiven Vergleich des outcome von Studien erschwert bis unmöglich macht [14].

Die Verbreitung flexibler Einweg-Ureterorenoskope bringt neue Impulse in die Behandlungslandschaft der Urolithiasis. Nach gewisser Skepsis in vielen Kliniken hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit scheint sich die flexible Einweg-Ureterorenoskopie nun doch dynamisch durchzusetzen. V. a. zeigen fehlende Sterilisierung und Reparaturkosten eine ökonomisch potenziell günstige Auswirkung auf die abteilungsinterne Budgetierung der Steintherapie. Dies schlägt sich sowohl in der nachfolgend erläuterten Vielzahl erschienener Publikationen zu diesem Thema nieder, als auch in eigens eingeführten OPS-Ziffern für die Anwendung eines flexiblen Einmal-Ureterorenoskops (bspw. 1-999.20).

## Aktuelle Trends in der flexiblen Ureterorenoskopie

Die Erfolge der Urotechnologie im Sinne der Entwicklung der starren bzw. „semirigiden“ Ureterorenoskopie [2], der flexiblen Ureterorenoskopie [3], der intrakorporalen Laserlithotripsie sowie der Möglichkeit einer effizienten Extraktion desintegrierter Konkremente mithilfe verschiedener Bergeinstrumente unter

Sicht definierten neue Standards in der Steintherapie. In der Ära der ESWL, welche erstrangig auf dem Prinzip eines Spontanabgangs der Fragmente beruht, wurde der Begriff der sog. *clinically insignificant residual fragments (CIRF)* geprägt. Dieser bezieht sich auf „Steingries“  $\leq 4$  mm, der nach ESWL in der Niere ohne weitere klinische Maßnahmen verbleiben darf [15]. Über deren Bedeutung und die Definition einer kompletten Steinfreiheit besteht kein wissenschaftlicher Konsens [14]. Insbesondere wird diskutiert ob, eine komplette Steinfreiheit CIRF subsumiert oder nicht, sowie die Frage, wie CIRF diagnostiziert sein müssen. Diese Diskussion rückte v. a. durch die heutzutage nahezu flächendeckende Verfügbarkeit der fURS und die Überprüfbarkeit durch eine Low-dose-Computertomografie in den Fokus.

## Dusting versus Fragmenting

Bei Durchführung einer Laser basierten Steinertrümmerung im Rahmen der fURS können zwei Modalitäten unterschieden werden; das im Englischen sog. *dusting* und das *fragmenting* [16]. *Dusting*, also das Zerstäuben des Steins in möglichst kleinste Fragmente, hat zum Ziel spontanabgangsfähige Desintegrate (*Steingries*) zu erzeugen, welche postinterventionell – analog zum Funktionsprinzip der ESWL – *via naturalis* ausgeschieden werden. Beim *fragmenting* sollen hingegen Steinteilchen entstehen, welche im selbigen Eingriff mit einem Fanginstrument entfernt werden. Dieses Behandlungskonzept hat also eine sofortige postinterventionelle Steinfreiheit zum Ziel, kann jedoch durch den zusätzlichen Behandlungsschritt und insbesondere bei größeren Steinmassen zeitaufwendig werden. Diverse Lasereinstellungen wurden jeweils diskutiert und untersucht, wobei lediglich Konsens darüber besteht, dass es im Wesentlichen die Positionierung und Bewegung der Laserfaser auf dem Konkrement ist, die über das Desintegrationsprinzip entscheidet [17].

In der Literatur finden wir nur wenige Studien hinsichtlich der Überlegenheit *dusting* versus *fragmenting* [18]. Eine interessante Arbeit wurde beim AUA 2018 von Knoll et al. vorgestellt. In einer prospektiven Studie mit 177 Patienten wurde bei Nieren- und Harnleitersteinen bei standardisierten Lasereinstellungen (vom Operateur wählbar zwischen *dusting* 18–20 Hz, 0.4–0.6 J bzw. *fragmenting* 8–12 Hz, 1.2–1.8 J) *dusting* vs. *fragmenting* einem komparativen Vergleich unterzogen [19]. Knoll und Kollegen kommen nach ihrer Studie zum Ergebnis, dass ein *fragmenting*, wenn technisch möglich, immer einem *dusting* präferiert werden sollte. Bei hoher Steinlast oder anatomisch schwierigen Bedingungen sei jedoch auch ein *dusting* gerechtfertigt. Interessanterweise berichteten die Autoren über vergleichbare Operationszeiten. Diese sind durch längere Laserungszeiten in der *dusting*-Gruppe konfrontiert mit kürzeren Laserungszeiten, aber einem zusätzlichen Schritt der Steinbergung im *fragmenting*-Arm zu erklären. Hinsichtlich der Steinfreiheit gab es aufgrund des noch fehlenden follow-up der *dusting*-Gruppe keine Angaben. Hier müssen die endgültigen Studienergebnisse und die Veröffentlichung abgewartet werden. Eine kürzlich publizierte Studie des EDGE- (Endourology Disease Group for Excellence) Konsortiums zeigte ebenfalls eine

Tendenz zum *fragmenting* hinsichtlich unmittelbarer Steinfreiheit in der univariaten Analyse. In dieser Arbeit war die Operationszeit beim *fragmenting* deutlich länger im Vergleich zur *dusting*-Gruppe [20].

Der Innovationsbedarf beim Fragmentieren der Steine besteht v. a. in einer Effizienzsteigerung und Beschleunigung des Bergevorgangs. Prinzipiell steht dem Urologen ein breites Armamentarium diverser Fanginstrumente zur Verfügung. Dazu zählen vor allen die Steinfangkörbchen unterschiedlicher Form, Funktion und Preisklasse. Hinsichtlich der Formgeometrie bevorzugen viele Chirurgen die offene – meist auch teurere – sog. *tip-less top-open*-Variante [21]. Trotzdem ist der Bergevorgang nach der Fragmentierung oftmals eine „Sisyphusarbeit“, da für jedes einzelne entstandene Desintegrat eine Instrumentenpassage notwendig ist. Es bestehen eine Reihe experimenteller urotechnologischer Forschungsarbeiten mit dem Ziel diesen Prozess effizienter zu gestalten. So publizierten Tan et al. im Jahr 2012 eine *in vitro* Studie, bei welcher Mikropartikel aus Eisenoxid an Calciumoxalasteine gebunden wurden [22]. Die Konkremente wurden in einem Harntraktsimulator platziert und konnten mittels FURS und einem magnetischen Bergewerkzeug extrahiert werden. Bisher ist diese Technologie jedoch nicht zum Einsatz am Patienten gekommen.

Eine bereits zur Verfügung stehende Operationstechnik, welche keinerlei Hilfsmittel bedarf, ist die Verwendung von autologem Patientenblut zur Bildung von formbaren Klumpen aus Blutkoageln und Steinkonkrementen, welche mit Fangkörbchen geborgen werden können. Diese sog. *glue-clot technique* wurde detailliert von Cloutier et al. beschrieben [23]. In der Methodenbeschreibung wird ein Blutvolumen von 10 ml mit einer Injektionszeit über 5 Minuten (bei gestoppter Spülung) und einer anschließenden Wartezeit vor Bergung von 5–10 Minuten empfohlen. Jedoch ist diese Methode keine reale Beschleunigung, da sich die Operationszeit im Schnitt um 15 Minuten verlängert. Zusätzlich verursacht eine Blutinjektion ins Hohlsystem der Niere eine oft dramatische Verschlechterung der Sichtverhältnisse am Endoskop. Diese kann sich dann erst langsam mit Wiederaufnahme der Spülung beim Bergen der Desintegratate bessern. Im Vergleich dazu handelt es sich um eine kostengünstige und relativ risikoarme Methode, welche einfach durchführbar ist und bei hohem Aufkommen kleiner nicht greifbarer Fragmente eine verbesserte bis möglicherweise komplette Steinfreiheit ermöglicht. Umfangreiche klinische Daten liegen hierzu jedoch nicht vor.

Basierend auf der *glue-clot technique* wurden in den letzten Jahren klinisch-experimentelle Arbeiten publiziert mit dem Versuch die Schwachpunkte der beschriebenen Methoden zu optimieren. Hierbei wurde ein bioinspirierter Zweikomponentenklebstoff verwendet, welcher bereits nach wenigen Minuten aushärtet, einen formbaren die Steinfragmente umschließenden Gelkörper bildet und dabei die endoskopischen Sichtverhältnisse nicht kompromittiert. Ein standardisierter Vergleich in einem Harntraktsimulator (Schweineniere), welcher mit humanen Konkrementen versehen wurde, konnte zwischen einem *tip-less*-Körbchen allein versus *tip-less*-Körbchen plus Zweikomponentenklebstoff die Überlegenheit des Klebstoffs hinsichtlich Steinfreiheit und Operationszeit nachweisen [24]. Die Bio-

kompatibilität wurde im Tierversuch verifiziert und ein experimenteller Vergleich zur *glue-clot technique* zeigte ebenfalls eine Überlegenheit des Klebstoffsystems [25,26]. Allerdings bestehen bei dieser Technologie noch einige relevante Fragen, die erst in Studien am Patienten beantwortet werden können.

Resümierend bieten sowohl *dusting* als auch *fragmenting* neue Optimierungsansätze hinsichtlich der drei Faktoren Operationszeit, Steinfreiheit und Patientensicherheit.

## Innovationen der Laserlithotripsie

Eine Aufsehen erregende Arbeit wurde vor Kurzem von Schutz et al. veröffentlicht. Die Gruppe konnte zeigen, dass eine Echtzeitdifferenzierung zwischen humanem Steinmaterial, Endoskop und *post mortem*-Schweineniere bei laufendem Holmium-Laser durch die selbe Faser im Parallelbetrieb möglich ist [27]. In diesem Experiment wurde ein zweiter Anregungslaser ins Holmium-System integriert und über eine herkömmlich verwendete Laserfaser (365 µm) im Parallelbetrieb genutzt. Durch dessen Wechselwirkung mit dem Zielobjekt gelang es sicher zwischen 82 humanen Steinproben Endoskopbauteilen (ein Stück des Arbeitskanals) und einer Schweineniere in Echtzeit zu unterscheiden. Die Publikation zielt damit auf ein „intelligentes“ Lasersystem ab, welches automatisiert Laserenergie abgibt, sofern die Laserfaser sicher auf Steinmaterial gerichtet ist. Diese Innovation könnte sowohl bei der *dusting*-Einstellung (bei welcher ein Großteil der Operationszeit für die Laserapplikation verwendet wird) als auch bei *fragmenting* die Laserungszeit verkürzen und simultan die Patientensicherheit erhöhen. In-vivo-Daten wurden bereits auf Kongressen präsentiert, eine Publikation steht noch aus.

Ein weiterer hochinteressanter urotechnologischer Ansatz in der Optimierung verwendeter Lasersysteme zielt auf eine direkte intraoperative Harnsteinanalyse mittels Ramanspektroskopie ab. Im experimentellen Setting konnten Miernik et al. bereits einen Funktionsnachweis liefern – jedoch sind hierbei diverse, zum Teil sehr kostenintensive Modifikationen des Lasersystems sowie der Laserfaser selbst notwendig [28,29]. Diese Technologie hat die Marktreife bislang noch nicht erreicht.

## Temperatureffekte bei der Laserlithotripsie

Ein wichtiger Aspekt der Laserlithotripsie ist unabhängig vom gewählten Desintegrationsweg die Patientensicherheit. Hierbei können direkte und indirekte Risiken bei der Laserlithotripsie unterschieden werden. Innovationen wie ein intelligentes Lasersystem mit Objekterkennung (s. o., [27]) könnten zukünftig direkte Schäden des Harntrakts bei der Laserlithotripsie verhindern. Zusätzlich bestehen zumindest theoretisch auch indirekte Risiken, z. B. durch die Erwärmung der Spülflüssigkeit durch die applizierte Laserenergie oder ein pathologischer intrarenaler Druckanstieg. Einige dieser physikalischen Bedingungen bei einer endoskopischen Steinbehandlung können vielen Urologen möglicherweise nicht bewusst sein.

Das Thema des thermischen Schadens an der Niere hat v. a. durch die Verfügbarkeit und zunehmende Nutzung auch am oberen Harntrakt immer leistungstärker werdender Holmium-Systeme 30–120 W (die auf dem Gebiet der BPH-Therapie zum Einsatz kommen) eine besondere Relevanz.

Der Ho:YAG Laser hat mit einer Wellenlänge von 2100 nm eine Eindringtiefe von ca. 0,5 mm in Wasser [30]. Dies führt zu einer raschen Energieverdichtung im kleinsten Raum. Die daraus resultierende rapid expandierende Wasserdampfblase führt zur Lithotripsie. [31]. Bei der Holmium-Laser basierten Laserlithotripsie kommt es unweigerlich zur Erwärmung der umliegenden Strukturen (in erster Linie der Spülflüssigkeit) im Harntrakt. Bisher kann dieser Prozess nicht in Echtzeit überwacht werden. Tatsächlich finden sich in der Literatur keine klinischen Fallberichte über thermisch induzierte Schäden des Harntrakts bei der Ho:YAG-Lithotripsie. Bereits bei ca. 43 °C besteht jedoch bereits eine potenzielle Proteindenaturierung im Harntrakt [32]. Dagegen wurde die Erwärmung der Umgebungsflüssigkeit bei der Ho:YAG-Laserlithotripsie in einer ganzen Reihe von experimentellen Studien in diversen *in vitro* Modellen untersucht [10, 33–35]. In diesen Publikationen herrscht ein Konsens, dass kritische Temperaturanstiege bei hohen Laserleistungen und geringer bzw. sistierter Spülung schnell erreicht werden können.

Vor diesem Hintergrund untersuchten Hein et al. daher die Temperaturwertveränderungen bei unterschiedlichen Lasereinstellungen und Spülraten. Die Gruppe konnte z. B. bei 100 W Laserleistung und sistierter Spülung einen Temperaturanstieg auf ca. 62 °C innerhalb von 60 Sekunden zeigen, die kritischen 43 °C konnten hingegen bereits nach weniger als 10 Sekunden gemessen werden. Solche physikalische Bedingungen könnten selbstverständlich fatale Folgen auf den oberen Harntrakt haben. [36]. Es bleibt zu hoffen, dass ein unkritischer Einsatz von Hochleistungslasern in der Steintherapie keine Regel ist. In der obigen Arbeit konnte jedoch gezeigt werden, dass bei bereits 15 W Leistung und komplett sistierter Spülung ein Temperaturanstieg bis 43 °C innerhalb von 70 Sekunden zu verzeichnen war.

## Druckentwicklung während der fURS

Eine außerdem wichtige Problemstellung, die zunehmend Gegenstand urotechnologischer Forschungsarbeiten ist, ist der intrarenale Druck während einer endoskopischen Behandlung am oberen Harntrakt (einschließlich PCNL). Der physiologische intrarenale Druck beträgt 0 bis wenige cmH<sub>2</sub>O [37]. Während der Diurese kann dieser auf knapp 30 cmH<sub>2</sub>O ansteigen sowie weit aus höher bei einer Obstruktion sein [11]. Bei iatrogen erhöhten intrarenalen Druckverhältnissen kann es unter anderem zu einem Auftreten folgender Komplikationen kommen: Fornixruptur, Einschwemmung der Spülflüssigkeit ins Parenchym oft mit intraoperativen Blutdruckschwankungen und infektiologischen Komplikationen. Im Extremfall kann eine fURS zum septischen Geschehen und zu irreversiblen Nierenfunktionsschädigungen führen [11]. In mehreren zumeist *in vitro* Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Verwendung einer Uretererschleuse signifikant den intrarenalen Druck senkt [12]. Der Innovationsbedarf besteht daher im intrarenalen Echtzeit Druck-

monitoring während einer fURS. Aufgrund der Tatsache, dass eine geeignete Detektionstechnik für die urologische Endoskopie nicht zur Verfügung steht, gibt es wenig belastbare Daten aus der Patientenversorgung. Das Wissen beschränkt sich auf einige wenige ältere Studien, die oft die urodynamische Vorrichtung als Messsystem verwendet haben [12]. Die *in vivo* Studie von Huang et al. ist besonders hervorzuheben, in welcher ein patentiertes Druck- und Spülmonitoring mit einem Sensor an der Spitze einer Uretererschleuse (11.55/15 French) bei 40 Patienten mit Einzelniere erfolgreich angewandt wurde [38]. Das System verfügte zudem über ein integriertes Druck- und Spülwarnsystem. In dieser Studie trat bei keinen der Patienten ein signifikanter Anstieg des postoperativen Serumkreatininlevels oder eine andere potenziell druckassoziierte Komplikation wie Sepsis auf. Bisher ist jedoch unbekannt, ob und wann eine solche Technologie zum routinemäßigen Einsatz am Patienten kommt.

## Flexible Einweg-Ureterorenoskopie

In den letzten Jahren kam es zum Einzug der flexiblen Einweg-Ureterorenoskope ins technische Armamentarium der Endoskopie des oberen Harntraktes. Unterschiedliche Geräte stehen seitdem dem Urologen zur Verfügung [39]. Emiliani et al. haben eine gute Übersichtsarbeit über die vorhandenen Geräte und deren historische Entwicklung veröffentlicht [39]. Der Bedarf an flexiblen Einweg-URS-Geräten entsteht letztlich durch die relativ aufwendige Sterilisation der Mehrweggeräte. Dabei stellt sich sogar die Frage, ob diese überhaupt vollständig (keimfrei) aufbereitet werden können. Dazu kommen allgemein bekannte hohe Kosten der Reparatur und Wartung. Aus diesem Grund können viele Kliniken, die nur geringe fURS-Fallzahlen haben die Einweggeräte als eine willkommene Alternative in Anspruch nehmen. Aus urotechnologischer Sicht stellen die Einweg-Geräte im Vergleich zu den konventionellen Geräten jedoch keine eigentliche Innovation, sondern vielmehr eine zweckbestimmte Verbesserung des Standes der Technik dar. Eine kritische Auseinandersetzung mit diesem Trend darf daher nicht ausbleiben, insbesondere vor dem ökonomischen und ökologischen Hintergrund. Es existieren diverse Publikationen über vergleichende Kostenanalysen vom Einsatz der Mehrweg- und Einweg-fURS-Geräte, die aber in diesem Manuskript nicht weiter thematisiert werden [40].

Abgesehen vom verwendeten Ureterorenoskop (Einweg oder Mehrweg) sollte eine möglichst niedrige Strahlenbelastung für den Patienten und das OP-Personal während einer Steinintervention angestrebt werden. Der Urologe sollte sich in Erinnerung rufen, dass der Patient von Beginn der Diagnostik (i. d. R. CT-grafisch) über Therapie (sowohl bei ESWL/URS/PCNL) bis hin zur postoperativen Verlaufskontrolle einer nicht unerheblichen Exposition ionisierender Strahlung ausgesetzt wird [41]. Neuere Studien zeigen, dass die Strahlendosis bei der fURS im akzeptierbaren unschädlichen Niedrigbereich gehalten werden kann, sofern eine hohe chirurgische Expertise, standardisierte Protokolle, optimierter Workflow im Operationsaal und expositionsreduzierende Einstellungen des Röntengenerators (bspw. gepulste Durchleuchtung) vorge-

nommen werden [42]. Andere Arbeiten zeigen, dass alleine durch Bewusstsein schaffende Maßnahmen bei Operateuren und Hilfspersonal eine signifikante Reduzierung der Durchleuchtungszeit erreicht werden kann [43]. Es bedarf also nicht unbedingt einer komplexen technologischen Innovation um die Strahlenexposition für Patient und OP-Personal zu minimieren.

Die Robotik spielt in der Behandlung der Urolithiasis noch eine untergeordnete Rolle. In einer systematischen Übersichtsarbeit fassten Müller et al. die wenigen Studienergebnisse über die roboterassistierte Steinsanierung zusammen [44]. Desai et al. führten mit dem für die interventionelle Kardiologie entwickelten Sensei® (Hansen Medical, Mountainview, CA, USA)-System eine Pilotstudie mit 18 Patienten durch [45]. Als Hauptlimitation verfügte dieser Ansatz jedoch nur eine passive Ureterorenoskop-Bewegung und der Einsatz des Systems wurde für die robotisch-assistierte fURS daher nicht weiter verfolgt.

Prinzipiell stehen aktuell die roboterassistierte laparoskopische Pyelolithotomie sowie Ureterolithotomie mittels da Vinci® (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA)-System und die roboterassistierte fURS mittels Roboflex Avicenna™ (Elmed Medical Systems, Ankara, Turkey) zur Verfügung. Die Roboflex Avicenna™-Einheit ist ein master-slave System, bei welchem ein konventionelles flexibles Ureterorenoskop in eine Roboter-basierte Steuerungsvorrichtung integriert wird. Dieses wird dann per Konsole fernab des Strahlengangs und mit wesentlich besserer Positionsergonomie für den Operateur) bedient. Die Ergebnisse der zur Verfügung stehenden klinischen Studien wurden ebenfalls von Müller et al. zusammengefasst und zeigen hohe Steinfreiheitsraten der robotergestützten Urolithiasis-Therapie [44]. Die umfangreiche apparative Ausstattung und damit verbundene Kosten lassen jedoch kritische Fragen hinsichtlich des realen Mehrwerts in der Patientenversorgung im Vergleich zur konventionellen fURS aufkommen.

## Diskussion – die flexible Ureterorenoskopie der Zukunft

In den letzten Jahren kam die flexible Einmal-Ureterorenoskopie rasant auf den Markt. Prinzipiell sind diese Instrumente den konventionellen Geräten ebenbürtig und es können vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Steinfreiheit, Komplikationen und Patientenzufriedenheit erzielt werden [39]. Dieser Entwicklung mögen jedoch nicht medizinische, aber betriebswirtschaftliche Faktoren zugrundeliegen (v. a. hohe Reparaturkosten und Wartungskosten der Mehrweggeräte). Für den Patienten bedeutet es zunächst keinen direkten Vorteil durch die Behandlung mit einem Einmalendoskop. Dennoch fallen auch hier signifikante operationsgebundene Kosten an. In Abhängigkeit von individuellen Absatzvolumina stellt die Sicherstellung der Einsatzbereitschaft von endoskopischen Geräten den Hauptkostenfaktor der interventionellen Steintherapie dar. Eine genaue Kostenanalyse ist derzeit noch nicht möglich, da die Entwicklung der Einweggeräte erst in ihren Anfängen begriffen ist [40]. Darüber hinaus halten die Autoren es für angebracht die ökologische Seite dieser Trends kritisch zu diskutieren.

Die oben beschriebenen technologischen Innovationen ermöglichen einen Blick in die Zukunft der urologischen Endoskopie. Die Notwendigkeit eines Temperatur- und Druckmonitorings bei der fURS konnte in mehreren Arbeiten nachgewiesen werden [11, 36]. Es wäre wünschenswert dem Endourologen ein flexibles Ureterorenoskop oder eine Ureterschleuse mit einer integrierten Temperatur- und Druckdetektionssonde zünftig zur Verfügung zu stellen. Es existieren bereits sehr kleine flexible Temperatursensoren, sodass die technischen Anforderungen eigentlich als nicht zu hoch betrachtet werden dürften. Es bedarf jedoch eine Zusammenarbeit mit der medizintechnischen Industrie den aus der Klinik kommenden Wunsch der Temperaturmessung anzuerkennen und diese im Sinne neuer Geräteentwicklung zu realisieren. Zudem benötigen solche Kooperationen oft einer öffentlichen Förderung und einer multidisziplinären Kooperation mit anderen technischen Disziplinen. Das intrarenale Druckmonitoring als ein vielversprechender Ansatz zur weiteren Verbesserung der urologischen Endoskopie konnte bereits in einer ersten klinischen Studie untersucht werden [38]. Ein weiterer hochinnovativer Aspekt um die Patientensicherheit zu erhöhen sind intelligente Lasersysteme. Wie oben geschildert, gelang bereits ein *in vitro* Funktionsnachweis eines solchen Systems, das eine zuverlässige und in Echtzeit erfolgende Differenzierung zwischen Steinmaterial, Niere und Endoskopbauteilen ermöglicht [27]. Ein solches System würde nicht nur die Patientensicherheit erhöhen, sondern würde zugleich zu erheblichen Verkürzungen der Laserungs- und somit der OP-Zeit beitragen und somit zu niedrigeren Komplikationsraten führen. Eine weitere Intensivierung der Zusammenarbeit mit Industriepartnern ist auch hier unabdingbar.

Zusammenfassend ist die flexible Ureterorenoskopie ein wichtiges Feld der urologischen Endoskopie, das durch häufige Innovationen unterschiedlicher Komplexitätsgrade geprägt wird. Durch die Nutzung des Harnleiters als natürlicher Zugang zum oberen Harntrakt positioniert sich die fURS als eine nahezu atraumatische Behandlungsmöglichkeit der Harnsteine. Die künftigen Entwicklungen auf diesem Gebiet werden insbesondere den Sicherheitsaspekt dieser Modalität adressieren um eine physikalisch charakterisierbare und überwachungsfähige Therapie zu ermöglichen. Die verhältnismäßig hohen Kosten der fURS, die bisher nur unzureichend im DRG-Katalog abgebildet werden, müssen im Rahmen einer Allgemeinbetrachtung der Sozioökonomie der Urolithiasis gesehen werden. Durch die technischen Innovationen lassen sich heutzutage exzellente klinische Ergebnisse erreichen, die sogar Einspareffekte im Gesundheitssystem langfristig entfalten können. Die heimische Medizintechnikindustrie, die als eine der Wiegen der modernen Endoskopie gesehen werden kann, sollte die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit der forschenden Klinik zum priorisierten Anliegen machen. Die chirurgische Therapie der Urolithiasis bleibt somit ein spannendes und hochtechnisiertes Feld der Medizin. In der Zukunft ist mit weiteren entscheidenden Innovationssprüngen zu rechnen, die sowohl dem Patienten als auch der gesamten Gesellschaft zu Gute kommen.



## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenskonflikt bez. der Veröffentlichung vorliegt.

Arkadiusz Miernik ist Berater von RichardWolf GmbH (Knittlingen, Deutschland), Lisa laser OHG (Katlenburg-Lindau, Deutschland) sowie Patentinhaber des zitierten bioinspirierten Klebstoffes zur kompletten Entfernung von Steinfragmenten. Darüber hinaus besitzt Arkadiusz Miernik eine Erfindungsmeldung zum Schleusensystem mit integrierter Temperatur- und Druckmessung während endoskopischer Therapie am Harntrakt.

## Literatur

- [1] Türk C, Petrik A, Sarica K et al. EAU Guidelines on Interventional Treatment for Urolithiasis. *Eur Urol.* 2016; doi:10.1016/j.euro.2015.07.041
- [2] Marshall VF. FIBER OPTICS IN UROLOGY. *The Journal of urology* 1964; 91: 110–114
- [3] Takagi T, Go T, Takayasu H et al. Fiberoptic pyeloureteroscope. *Surgery* 1971; 70: 661–663 passim
- [4] Miernik A, Wilhelm K, Ardelt P et al. [Modern urinary stone therapy: is the era of extracorporeal shock wave lithotripsy at an end?] *Der Urologe Ausg A* 2012; 51: 372–378
- [5] Schoenthaler M, Wilhelm K, Katzenwadel A et al. Retrograde intrarenal surgery in treatment of nephrolithiasis: is a 100% stone-free rate achievable? *Journal of endourology / Endourological Society* 2012; 26: 489–493
- [6] Oberlin DT, Flum AS, Bachrach L et al. Contemporary surgical trends in the management of upper tract calculi. *The Journal of urology* 2015; 193: 880–884
- [7] Miernik A, Wilhelm K, Ardelt PU et al. Standardized flexible ureteroscopic technique to improve stone-free rates. *Urology* 2012; 80: 1198–1202
- [8] de la Rosette J, Denstedt J, Geavlete P et al. The clinical research office of the endourological society ureteroscopy global study: indications, complications, and outcomes in 11,885 patients. *Journal of endourology / Endourological Society* 2014; 28: 131–139
- [9] Kallidonis P, Amanatides L, Panagopoulos V et al. Does the Heat Generation by the Thulium:Yttrium Aluminum Garnet Laser in the Irrigation Fluid Allow Its Use on the Upper Urinary Tract? An Experimental Study. *Journal of Endourology* 2015; 30: 422–427
- [10] Buttice S, Sener TE, Proietti S et al. Temperature Changes Inside the Kidney: What Happens During Holmium:Yttrium-Aluminium-Garnet Laser Usage? *Journal of endourology / Endourological Society* 2016; 30: 574–579
- [11] Tokas T, Herrmann TRW, Skolarikos A et al. Pressure matters: intrarenal pressures during normal and pathological conditions, and impact of increased values to renal physiology. *World journal of urology* 2018; doi:10.1007/s00345-018-2378-4
- [12] Tokas T, Skolarikos A, Herrmann TRW et al. Pressure matters 2: intrarenal pressure ranges during upper-tract endourological procedures. *World journal of urology* 2018; doi:10.1007/s00345-018-2379-3
- [13] Srisubat A, Potisat S, Lojanapiwat B et al. Extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL) versus percutaneous nephrolithotomy (PCNL) or retrograde intrarenal surgery (RIRS) for kidney stones. *The Cochrane database of systematic reviews* 2014; doi:10.1002/14651858.CD007044.pub3
- [14] Hein S, Miernik A, Wilhelm K et al. Clinical significance of residual fragments in 2015: impact, detection, and how to avoid them. *World journal of urology* 2015; doi:10.1007/s00345-015-1713-2
- [15] Rassweiler JJ, Renner C, Chaussy C et al. Treatment of renal stones by extracorporeal shockwave lithotripsy: an update. *European urology* 2001; 39: 187–199
- [16] Bader MJ, Pongratz T, Khoder W et al. Impact of pulse duration on Ho:YAG laser lithotripsy: fragmentation and dusting performance. *World journal of urology* 2014; doi:10.1007/s00345-014-1429-8
- [17] Kronenberg P, Traxer O. Update on lasers in urology 2014: current assessment on holmium:yttrium-aluminum-garnet (Ho:YAG) laser lithotripter settings and laser fibers. *World journal of urology* 2014; doi:10.1007/s00345-014-1395-1
- [18] Schatloff O, Lindner U, Ramon J et al. Randomized trial of stone fragment active retrieval versus spontaneous passage during holmium laser lithotripsy for ureteral stones. *The Journal of urology* 2010; 183: 1031–1035
- [19] Knoll T, Sieg M, Jessen J et al. MP55-08 HOLMIUM LASER LITHOTRIPSY FOR URETERAL AND RENAL STONES: IS DUSTING EQUIVALENT TO FRAGMENTING? *The Journal of urology* 2018; 199: e750–e751
- [20] Humphreys MR, Shah OD, Monga M et al. Dusting versus Basking during Ureterscopy-Which Technique is More Efficacious? A Prospective Multicenter Trial from the EDGE Research Consortium *The Journal of urology* 2018; 199: 1272–1276
- [21] Shin RH, Lipkin ME, Preminger GM. Disposable devices for RIRS: where do we stand in 2013? What do we need in the future? *World journal of urology* 2015; 33: 241–246
- [22] Tan YK, McLeroy SL, Faddegon S et al. In vitro comparison of prototype magnetic tool with conventional nitinol basket for ureteroscopic retrieval of stone fragments rendered paramagnetic with iron oxide microparticles. *The Journal of urology* 2012; 188: 648–652
- [23] Cloutier J, Cordeiro ER, Kamphuis GM et al. The glue-clot technique: a new technique description for small calyceal stone fragments removal. *Urolithiasis* 2014; 42: 441–444
- [24] Hein S, Schoenthaler M, Wilhelm K et al. Novel Biocompatible Adhesive for Intrarenal Embedding and Endoscopic Removal of Small Residual Fragments after Minimally Invasive Stone Treatment in an Ex Vivo Porcine Kidney Model: Initial Evaluation of a Prototype. *The Journal of urology* 2016; 196: 1772–1777
- [25] Schoeb DS, Schoenthaler M, Schlager D et al. New for old—Coagulum lithotomy versus a novel bioadhesive for complete removal of stone fragments in a comparative study in an ex vivo porcine model. *Journal of Endourology* 2017; 31: 611–616
- [26] Hein S, Schoenthaler M, Schoeb D et al. Viability and biocompatibility of an adhesive system for intrarenal embedding and endoscopic removal of small residual fragments in minimally-invasive stone treatment in an in vivo pig model. *European Urology Supplements* 2017; 16: e395–e396
- [27] Schutz J, Miernik A, Brandenburg A et al. Experimental evaluation of human renal kidney stone spectra for intraoperative stone-tissue-instrument analysis using autofluorescence. *The Journal of urology* 2018; doi:10.1016/j.juro.2018.07.067
- [28] Miernik A, Eilers Y, Bolwien C et al. Automated analysis of urinary stone composition using Raman spectroscopy: pilot study for the development of a compact portable system for immediate postoperative ex vivo application. *The Journal of urology* 2013; 190: 1895–1900
- [29] Miernik A, Eilers Y, Nuese C et al. Is in vivo analysis of urinary stone composition feasible? Evaluation of an experimental setup of a Raman system coupled to commercial lithotripsy laser fibers *World journal of urology* 2015; 33: 1593–1599
- [30] Teichmann HO, Herrmann TR, Bach T. Technical aspects of lasers in urology. *World journal of urology* 2007; 25: 221–225
- [31] Vassar GJ, Chan KF, Teichman JM et al. Holmium: YAG lithotripsy: photothermal mechanism. *Journal of endourology / Endourological Society* 1999; 13: 181–190

- [32] Bauer KD, Henle KJ. Arrhenius Analysis of Heat Survival Curves from Normal and Thermotolerant CHO Cells. *Radiation Research* 1979; 78: 251 – 263
- [33] Hardy LA, Wilson CR, Irby PB et al. Kidney stone ablation times and peak saline temperatures during Holmium:YAG and Thulium fiber laser lithotripsy, in vitro, in a ureteral model. *J Biomed Opt.* 2014; doi:10.1117/1.JBO.19.12.128001
- [34] Molina WR, Silva IN, Donalisio da Silva R et al. Influence of saline on temperature profile of laser lithotripsy activation. *Journal of endourology / Endourological Society* 2015; 29: 235 – 239
- [35] Aldoukhi AH, Ghani KR, Hall TL et al. Thermal Response to High-Power Holmium Laser Lithotripsy. *Journal of endourology/Endourological Society* 2017; 31: 1308 – 1312
- [36] Hein S, Petzold R, Schoenthaler M et al. Thermal effects of Ho: YAG laser lithotripsy: real-time evaluation in an in vitro model. *World journal of urology* 2018; doi:10.1007/s00345-018-2303-x
- [37] Kiil F. Pressure Recordings in the Upper Urinary Tract. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 1953; 5: 383 – 384
- [38] Huang J, Xie D, Xiong R et al. The Application of Suctioning Flexible Ureteroscopy With Intelligent Pressure Control in Treating Upper Urinary Tract Calculi on Patients With a Solitary Kidney. *Urology* 2018; 111: 44 – 47
- [39] Emiliani E, Traxer O. Single use and disposable flexible ureteroscopes. *Current opinion in urology* 2017; 27: 176 – 181
- [40] Hennessey DB, Fojecki GL, Papa NP et al. Single-use disposable digital flexible ureteroscopes: an ex vivo assessment and cost analysis. *BJU international* 2018; 121: (Suppl. 03): 55 – 61
- [41] Chen TT, Wang C, Ferrandino MN et al. Radiation Exposure during the Evaluation and Management of Nephrolithiasis. *The Journal of urology* 2015; 194: 878 – 885
- [42] Hein S, Schoenthaler M, Wilhelm K et al. Ultralow Radiation Exposure During Flexible Ureteroscopy in Patients With Nephrolithiasis-How Far Can We Go? *Urology* 2017; 108: 34 – 39
- [43] Weld LR, Nwoye UO, Knight RB et al. Safety, minimization, and awareness radiation training reduces fluoroscopy time during unilateral ureteroscopy. *Urology* 2014; 84: 520 – 525
- [44] Muller PF, Schlager D, Hein S et al. Robotic stone surgery - Current state and future prospects: A systematic review. *Arab journal of urology* 2018; 16: 357 – 364
- [45] Desai MM, Grover R, Aron M et al. Robotic flexible ureteroscopy for renal calculi: initial clinical experience. *The Journal of urology* 2011; 186: 563 – 568