

Journal für

Urologie und Urogynäkologie

Zeitschrift für Urologie und Urogynäkologie in Klinik und Praxis

**Signifikanz des biomechanischen
Zustandes der menschlichen
Ureterwände**

Vjaters E, Gardovskis J

Petersons A, Plonis J, Vanags I

Journal für Urologie und

*Urogynäkologie 2001; 8 (2) (Ausgabe
für Schweiz), 24-28*

Journal für Urologie und

*Urogynäkologie 2001; 8 (2) (Ausgabe
für Österreich), 30-35*

Homepage:

www.kup.at/urologie

**Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche**

Indexed in Scopus

Member of the



www.kup.at/urologie

Krause & Pachernegg GmbH · VERLAG für MEDIZIN und WIRTSCHAFT · A-3003 Gablitz

P.b.b. 022031116M, Verlagspostamt: 3002 Purkersdorf, Erscheinungsort: 3003 Gablitz

Erschaffen Sie sich Ihre ertragreiche grüne Oase in Ihrem Zuhause oder in Ihrer Praxis

Mehr als nur eine Dekoration:

- Sie wollen das Besondere?
- Sie möchten Ihre eigenen Salate, Kräuter und auch Ihr Gemüse ernten?
- Frisch, reif, ungespritzt und voller Geschmack?
- Ohne Vorkenntnisse und ganz ohne grünen Daumen?

Dann sind Sie hier richtig



SIGNIFIKANZ DES BIOMECHANISCHEN ZUSTANDES DER MENSCHLICHEN URETERWÄNDE

Summary

During the last decade, the extensive use of endoscopic surgery (laparoscopy and endoscopy) has lead to the increase in the number of iatrogenic ureter damages. For achievement of better results, especially, when conducting reconstructive surgery on ureter and choosing a substitute material, it is relevant to have more information about ureter wall stiffness and deformity.

To investigate topographic, age and gender differences in properties of ureter biomechanics and to test biomechanical investigation methods of ureter we examined ureter wall's biomechanical and structural morphology and its properties applying strain on the isolated samples of ureter. The examined material was obtained during surgeries while resecting ureter's segments, which were subjected to nephrectomy, nephroureterectomy or cystectomy, and

had no signs of ureter pathology. Research of soft tissue biomechanics proved that the most dangerous biological load is strain, which greatly affects structural element interaction of the tissues. The following ureter wall biomechanical parameters were set, which showed tissue stiffness and deformation conditions: ultimate tension level, ultimate specific deformation energy, ultimate specific deformation energy, material elasticity module and tangential elasticity modules.

The highest degree of ureter's wall stiffness and deformity is in its upper anatomical section, and lowest in the lower section. Wall rigidity, on the other hand, is of a higher degree in ureter's lower section. Ureter wall biomechanical conditions are affected by individual's age. As the organism ages, ultimate tensility and ultimate relative deformation decrease, while elasticity modules increase.

Gewebe auswirkt. Die folgenden biomechanischen Ureterwandparameter wurden festgelegt, mit denen die Gewebesteifigkeits- und -deformationswerte angegeben werden: Zerreißspannung, das relative Deformationsmaximum, die höchste spezifische Deformationsenergie, das Elastizitätsmodul und tangentielle Elastizitätsmodule des Materials.

Der höchste Grad der Ureterwandsteifigkeit und -deformität findet sich im oberen und der niedrigste im unteren anatomischen Abschnitt. Die Wandrigidität ist andererseits stärker im unteren Ureterabschnitt ausgeprägt. Der biomechanische Zustand der Ureterwand ist altersabhängig. Mit zunehmender Alterung des Organismus nehmen die Zerreißfestigkeit und das relative Deformationsmaximum ab, während die Elastizitätsmodule zunehmen.

ZUSAMMENFASSUNG

Während der letzten zehn Jahre hat der extensive Einsatz der endoskopischen Chirurgie (Laparoskopie und Endoskopie) zu einem Anstieg der iatrogenen Ureterschädigungen geführt. Zur Erzielung besserer Ergebnisse, besonders bei der Ureterrekonstruktion und Wahl von Ersatzmaterialien, sind bessere Kenntnisse der Harnleiterwandsteifigkeit und -deformität unerlässlich.

Wir untersuchten die strukturelle Morphologie der Ureterwand und ihre biomechanischen Eigenschaften

ten durch Aufbringen von Spannung auf isolierte Ureterproben zur Abklärung topographischer, alters- und geschlechtsabhängiger Unterschiede. Das untersuchte Material wurde durch Resektion von Uretersegmenten bei Patienten gewonnen, die sich einer Nephrektomie, Nephroureterektomie oder Cystektomie unterzogen, wobei jedoch keine Anzeichen für eine Ureterpathologie vorlagen. Anhand von Untersuchungen der Weichteilbiomechanik wurde nachgewiesen, daß es sich bei der Spannung aus biomechanischer Sicht um die risikoreichste Belastung handelt, die sich sehr erheblich auf die Strukturelementinteraktion der

EINLEITUNG

Ureteranomalien gehören aufgrund ihrer Auswirkung auf die Nierenfunktion mit zu den relevantesten Ursachen der Pathogenese verschiedener urologischer Erkrankungen. Frühdiagnostik und eine geeignete Behandlung dieser pathologischen Zustände wirken sich erheblich auf das therapeutische Outcome und die Lebensqualität der betroffenen Patienten aus. Die Lebensqualität könnte gewährleistet werden, wenn die Ärzte über genügend Kenntnisse der Anatomie und Biomechanik des Ureters verfügen. Zwei für die urologische Chirurgie relevante Parameter

sind die Wandsteifigkeit und -deformität des Ureters, besonders bei der Rekonstruktionschirurgie des Ureters und der Wahl eines Ersatzmaterials.

Während der letzten zehn Jahre hat der extensive Gebrauch der endoskopischen Chirurgie (Laparoskopie und Endoskopie) zu einem Anstieg der iatrogenen Harnleiterschädigungen geführt. Zu den häufigsten Indikationen für eine Ureterskopie zählen Steinextraktion (67 %), diagnostische Verfahren (28 %) und die Doppel-J-Ureterschienenverfahren (5 %) [1]. 70 % aller Ureterschädigungen sind auf ureterskopische Verfahren und 25 % auf während der Laparoskopie entstandene gynäkologische Schädigungen zurückzuführen [2].

Bei der Durchführung endourologischer und diagnostischer Verfahren im Uretterlumen besteht ein gewisses Risiko für eine iatrogene Harnleiterperforation, Schädigungen der Ureterschleimhaut, Abwanderung von Steinfragmenten in den retroperitonealen Bereich und partielle oder zirkuläre

Schleimhauteinrisse. Dies kann später zur Entwicklung von Ureterstrikturen und Fibrosen im periuretralen Bereich mit einer signifikanten Auswirkung auf die Nierenfunktion führen.

Bei der Behandlung oder bei diagnostischen Verfahren im Uretterlumen sind die Steifigkeit und Deformität der Ureterwand in Betracht zu ziehen. Die Befolgung dieses Hinweises würde erheblich zur Senkung iatrogenen Harnleiterperforationen und -verletzungen sowie zirkulärer Schleimhauteinrisse beitragen. Ärzte stehen oft vor der Wahl, welches Ersatzmaterial für die Ureterrekonstruktion (Ureterabstoßung nach der Transplantation, Uretertumor in der verbleibenden Niere oder Niereninsuffizienz, iatrogene Schädigung eines Uretersegments, retroperitoneale Fibrose und Ureterstriktur) am geeignetsten ist. Zu den uretralen Ersatzmaterialien zählen folgende: Appendix, Eileiter und Dünndarm, wobei der Dünndarm für diesen Zweck als am geeignetsten gehalten wird. Da natürliches urologisches Gewebe nicht verfügbar ist, werden bei der Rekon-

struktionschirurgie im allgemeinen nicht aus dem urologischen Bereich stammende, natürliche Gewebe eingesetzt, die jedoch zu unerwünschten Wirkungen führen können [3].

Würden die biomechanischen Eigenschaften des Ureters besser verstanden, dann wäre auch die Auswahl eines genau angepaßten Ersatzmaterials einfacher. Dieses bessere Verständnis könnte ferner auch bei der Entwicklung und Herstellung künstlicher Ureterersatzmaterialien helfen.

Zielsetzungen

Ermittlung der Unterschiede von Steifigkeits- und Deformitätseigenschaften der Ureterwand in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht und auch der anatomischen Lokalisierung, wie anhand dieser Untersuchung an einer Gruppe erwachsener Patienten im Alter zwischen 19 und 89 Jahren gezeigt werden konnte.

Ziele insgesamt

1. Prüfung biomechanischer Untersuchungsverfahren am Harnleiter.

Abbildung 1: Biomechanische Parameter in Abhängigkeit von der Lokalisierung

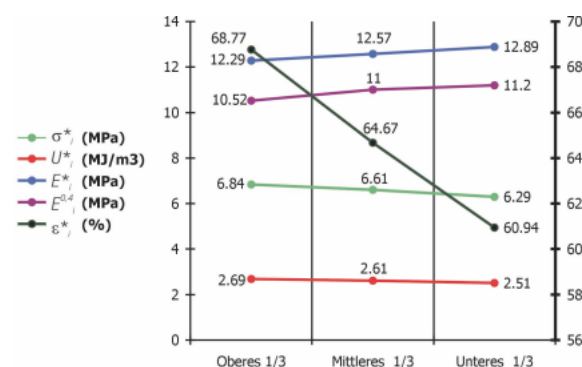
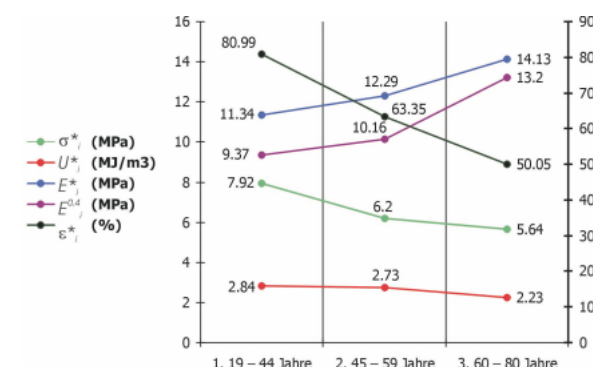


Abbildung 2: Biomechanische Parameter in Abhängigkeit vom Alter



2. Untersuchung von topographischen, Alters- und Geschlechtsunterschieden in bezug auf die Eigenschaften der Ureterbiomechanik.

METHODIK

Zur Untersuchung wurden isolierte Proben verwendet, die während eines chirurgischen Eingriffs von der Ureterwand von männlichen und weiblichen Patienten gewonnen wurden. Die biomechanischen und strukturellen morphologischen Eigenschaften der Ureterwand wurden an Patienten in Lettland in der Altersgruppe zwischen 19 und 89 Jahren *in vitro* untersucht.

Das untersuchte Material wurde durch Resektion von Uretersegmenten bei Patienten gewonnen, die sich einer Nephrektomie, Nephroureterektomie oder Cystektomie unterzogen, bei denen jedoch keine Anzeichen für eine Ureterpathologie vorlagen. Nach der Exstirpation wurden die Ureterproben in Collinz-3-Lösung gegeben, um sie vor Austrocknung zu schützen. Die Proben wurden bis zu Beginn des Experimentes bei $4 \pm 1^\circ\text{C}$ aufbewahrt.

Das gesamte Material wurde dem Alter entsprechend in 3 Gruppen aufgeteilt: erste Gruppe: 19- bis 44-jährige, zweite Gruppe: 45- bis 59-jährige und dritte Gruppe 60- bis 89-jährigen Patienten. Insgesamt wurden 148 Proben untersucht.

Die Proben wurden unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die

Struktur der grundlegenden Ureterelemente nicht homogen ist und sie von der Position der untersuchten Teile abhängt, in einer vertikalen Linie in obere, mittlere und untere Abschnitte angeordnet. Der obere Abschnitt wurde von dem ureteropelvinen Übergang bis zur oberen Kante des Sakrums, der mittlere Abschnitt von der oberen Kante des Sakrums bis zum pelvinen Rand und der untere Abschnitt vom pelvinen Rand bis zur Ureteröffnung definiert.

Während der Präparation wurden die Proben kühl gehalten. Zur Verhinderung von Gewebsschädigung durften vom Zeitpunkt des chirurgischen Eingriffes bis zum Beginn des Experiments nicht mehr als max. 4 Stunden liegen. Fünf Minuten vor Beginn des Experiments wurden die Proben in Collinz-3-Lösung bei $37 \pm 1^\circ\text{C}$ gegeben, um sie auf Körpertemperatur zu bringen.

Die mechanische Belastungsfähigkeit der Ureterproben, die Deformations- und Steifigkeitsparameter wurden durch Aufbringen von Spannung auf das Gewebe untersucht. Wir zeichneten die aufgetragenen und mit Hilfe eines Tensiodynameters gemessenen Dehnungsraten auf. Anhand der Untersuchungen zur Biomechanik der Weichteilgewebe konnte nachgewiesen werden, daß es sich bei der Spannung um die aus biomechanischer Sicht risikoreichste Belastung handelt, die sich sehr erheblich auf die Strukturelementinteraktion der Gewebe auswirkt. Sie führt zu einem sekundären strukturellen Belastungsmaximum des Weichteilgewebes.

Die folgenden biomechanischen Ureterwandparameter wurden festgelegt und geben die Gewebesteifigkeits- und Deformationswerte an:

1. Zerreißspannung (σ_1^*) – Steifigkeit. Bei Erreichen der Zerreißspannung tritt in dem Material ein Mikroeinriß auf, der eine Kettenreaktion auslöst und zu einer vollkommenen Aufspaltung führt.
2. Das relative Deformationsmaximum (ϵ_1^*) an dem Punkt, an dem das Material seine Unversehrtheit verliert, das heißt, wenn die Zerreißspannung erreicht ist.
3. Die höchste spezifische Deformationsenergie (U_1^*) ist die Energie, die bei dem Vorgang der Deformation des Materials bis zu seiner Zerstörung verbraucht wird.
4. Elastizitätsmodul des Materials: je größer der Wert, desto rigider ist das Material an dem Punkt, an dem die Zerreißspannung erreicht wird (E_1^*).
5. Tangentiale Elastizitätsmodule, die die Steifigkeit des Materials bei 40 % spezifischer Deformation charakterisieren ($E_1^{0,4}$).

Der Index $i = 1$ zeigt, daß die veranschaulichten Tests in einem vertikalen Abschnitt durchgeführt werden, der der anatomischen Achse des Ureters entspricht.

ERGEBNISSE

Anhand experimenteller Studien konnte nachgewiesen werden, daß die Zerreißspannung des Ureters σ_1^* , mit der die Wandsteifigkeit nachgewiesen wird, im oberen Drittel mit $6,84 \pm 1,26$ MPa am größten ist, 33 % mehr als im mittleren Abschnitt und 8,6

% mehr als im unteren Abschnitt. Diese tangentielle Deformation des Gewebes war im oberen Ureterabschnitt am größten. Der höchste relative Deformationswert ϵ_1^* verleiht dieser Tatsache Unterstützung. Der Wert beträgt in diesem anatomischen Abschnitt durchschnittlich $68,8 \pm 8,9$ % und ist 6,3 % größer als im mittleren Abschnitt und 13 % größer als im unteren Abschnitt ($p < 0,05$). Der Elastizitätsmodul des Gewebes ist im unteren Abschnitt des Ureters am Punkt seiner Deformation, E_1^* , mit $12,9 \pm 1,63$ MPa am größten und ist 5 % höher als im oberen Abschnitt und 2,4 % größer als im mittleren Abschnitt. Es stellte sich auch heraus, daß $E_1^{0,4}$ mit $11,2 \pm 1,05$ MPa im unteren Abschnitt des Harnleiters am größten war, das heißt 6,5 % größer als im oberen Abschnitt und 2 % größer als im mittleren Abschnitt ($p > 0,05$). Der größte Wert von U_1^* wurde mit $2,69 \pm 0,42$ MJ/m³ im oberen Abschnitt des Ureters registriert und liegt 3 % über dem im mittlere-

ren Abschnitt und 7 % über dem im unteren Abschnitt ($p > 0,05$) (Abb. 1).

Als wir die erfaßten Daten in altersbezogener Hinsicht untersuchten, kamen wir zu der Schlußfolgerung, daß der höchste Wert, σ_1^* , in der ersten Altersgruppe bei $7,92 \pm 1,26$ MPa lag, was 28 % größer als für die zweite Altersgruppe und 40 % größer als für die dritte Altersgruppe ist ($p < 0,05$). Zudem stellte sich heraus, daß der größte Wert für ϵ_1^* mit 81 ± 9 % unter der ersten Altersgruppe zu finden war und 29 % größer als unter der zweiten Altersgruppe und 62 % größer als unter der dritten Altersgruppe ist ($p < 0,05$). E_1^* ist mit $14,1 \pm 1,6$ MPa hingegen der größte Wert in der dritten Altersgruppe, 25 % mehr als für die erste Altersgruppe und 15 % mehr als für die zweite Altersgruppe. Der höchste Wert für $E_1^{0,4}$ wurde mit $13,2 \pm 1,5$ MPa in der dritten Altersgruppe registriert und ist 41 % größer

als für die erste Altersgruppe und 30 % größer als für die zweite Altersgruppe ($p < 0,05$). Der größte Wert für U_1^* war mit $2,84 \pm 0,42$ MJ/m³ in der ersten Altersgruppe zu finden. Das sind 4 % mehr als für die zweite Altersgruppe ($p > 0,05$) und 27 % mehr als für die dritte Altersgruppe ($p < 0,05$) (Abb. 2).

Nach der Untersuchung der Ureterwand wurden die isolierten Proben elektronenmikroskopisch untersucht (Abb. 3 u. 4).

BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE

Aus den erhaltenen Ergebnissen geht hervor, daß die größte Steifigkeit und Deformität im oberen anatomischen Abschnitt des Harnleiters gefunden werden. Die größere Geweberigidität wurde

Abbildung 3: Leicht gedehnt. Einige interzelluläre Verbindungen (Desmosomen) sind zwischen den Epithelzellen unterbrochen. Unter den Fibroblasten sind strukturelose Aufspaltungen sichtbar, die wahrscheinlich durch die aufgebrachte Spannung verursacht wurden.

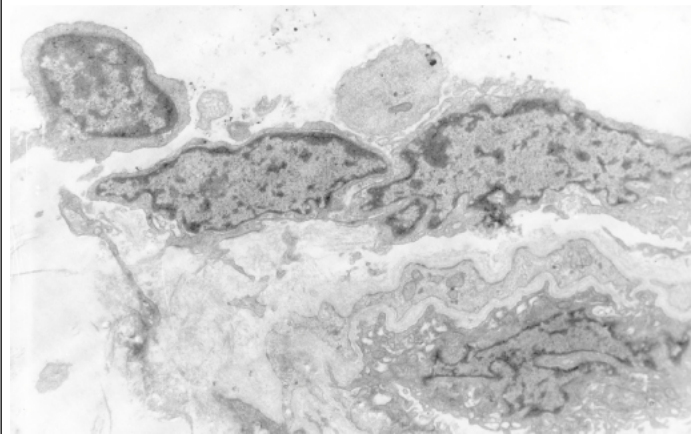
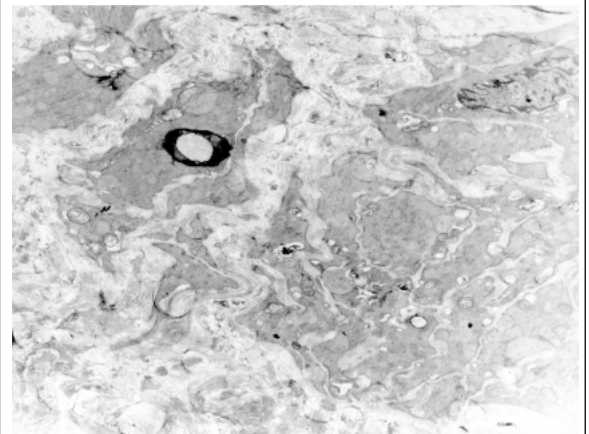


Abbildung 4: Zerstörte Zellen: Deformierte Fibroblasten, viele Kollagenfasern sind zu Protofilamenten abgebaut, die anderen Fasern haben dagegen mehr ihre Form verloren. Auf den Fasern sind pustelartige Gebilde zu sehen, die Kalziumsalze enthalten. Es liegt eine große Anzahl von Phagenlysosomen mit Kalziumsalzsedimenten vor.



dagegen im unteren Abschnitt des Organs ermittelt. Der Grund für diesen Zustand ist offensichtlich eine physiologische Anpassung, weil der obere Harnleiterabschnitt mehr dem Einfluß der umgebenden Gewebe unterliegt. Mit zunehmendem Altern des Organismus nehmen die Wandsteifigkeit und die Deformationsfähigkeit des Ureters signifikant ab, während die Gewebesteifigkeit zunimmt, wie anhand der Elastizitätsmodule in diesem Versuch gezeigt werden konnte.

Die Fähigkeit des Ureters, auf pathologische Einflüsse zu reagieren, ist altersabhängig. Bei Säuglingen und Kindern wird ein höherer Grad der Ureterdilatation als unter Erwachsenen beobachtet [4]. Anhand experimenteller Forschung wurde bestätigt, daß deformationsbedingte Veränderungen des Ureters bei *in-vitro*-Untersuchungen altersabhängig waren. Anhand des bei der *in-vitro*-Untersuchung des Ureters vorliegenden intraluminalen Druckes wurde nachgewiesen, daß die Gewebe neugeborener Kaninchen leichter einer Deformation nachgaben als die erwachsener Kaninchen [5]. Diese Voraussetzungen müssen in der praktischen Urologie Berücksichtigung finden.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Der höchste Grad der Steifigkeit und Deformität der Ureterwand findet sich im oberen anatomischen Abschnitt, der niedrigste hingegen im unteren Abschnitt. Die Wandrigidität ist andererseits im unteren Harn-



Dr. Egils Vjaters

Geboren 1963 in Riga, Lettland. Medizinstudium von 1981 bis 1988 an der Lettischen Medizinischen Akademie. Von 1988 bis dato als Urologe tätig am Lettischen Akademischen Krankenhaus, seit 1991 zusätzlich als Urologe im Unternehmen ARS tätig. Zahlreiche Trainingskurse in der Zeit von 1992 bis 1998, u.a. an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, der Umea-Universität, Schweden, am University College Dublin, am Universitätsspital Bochum, am Rostkilde Hospital, Dänemark sowie in Salzburg. Mitglied in der Lettischen Urologischen Gesellschaft (Generalsekretär seit 1994), der Société Internationale d'Urologie sowie Präsident des Lettischen Prostate Health Councils.

Korrespondenzadresse:

Dr. Egils Vjaters
Urological Center, P. Stradins Clinical University Hospital
Pilsonu Street 13, Riga, LV – 1002, Lettland
E-mail: vjaters@e-apollo.lv

leiterabschnitt ausgeprägter.

2. Der biomechanische Zustand der Ureterwand wird vom Alter der Patienten beeinflusst. Mit zunehmendem Alter des Organismus nehmen auch die Zerreißspannung und das relative Deformationsmaximum ab, während die Elastizitätsmodule zunehmen.

3. Die Steifigkeits- und Deformationsmerkmale der Ureterwand müssen bei der Diagnostik und bei chirurgischen Eingriffen im Ureterlumen berücksichtigt werden.

4. Wenn die biomechanischen Voraussetzungen des Ureters korrekt evaluiert werden und auch das Alter des Patienten und die Lokalisierung der pathologischen Veränderung Berücksichtigung finden, ist es möglich, die Effizienz und das Risiko für Komplikationen aufgrund verschiedener Behandlungsverfahren bereits vor der chirurgischen Intervention zu modulieren.

Literatur:

1. Harmon WJ, Sershon PD, Blute ML, Patterson DE, Segure JW. Ureterscopy: Current practice and long-term complications. J. Urol 1997; 157: 28–32.
2. Assimos DG, Patterson LC, Taylor CL. Changing incidence and etiology of iatrogenic ureteral injuries, J Urol 1994; 152 (6 Pt 2): 2240–6.
3. Atala A. Future perspectives in reconstructive surgery using tissue enduring. Urol Clin 1999; 26: 157–65.
4. Petersons A, Vanags I, Dobelis M, Ozola B. Deformation and failure of esophagus in childhood. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences 1992; 537 (4): 55–59.
5. Akimoto M, Biancani P, Weiss RM. Comparative pressure-length-diameter relationships of neonatal and adult rabbit ureters. Invest Urol 1977; 14: 297.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)