

Interventionelle Therapieoptionen vaskulärer Komplikationen nach Nierentransplantation

Interventional Management of Vascular Complications after Renal Transplantation

Autorinnen/Autoren

Niklas Verloh¹, Michael Doppler¹, Muhammad Taha Hagar¹, Charlotte Kulka¹, Ricarda von Krüchten¹, Jakob Neubauer¹, Jakob Weiß¹, Elvira Röthele², Johanna Schneider², Bernd Jänigen³, Wibke Uller¹ 

Institute

- 1 Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Medical Center-University of Freiburg, Germany
- 2 Department of Medicine IV, Medical Center-University of Freiburg, Germany
- 3 Department of General and Visceral Surgery, Medical Center-University of Freiburg, Germany

Key words

angiography, interventional procedures, renal angiography, transplantation

eingereicht 19.07.2022

akzeptiert 28.11.2022

online publiziert 02.03.2023

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2023; 195: 495–505

DOI 10.1055/a-2007-9649

ISSN 1438-9029

© 2023, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Niklas Verloh

Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Medical Center-University of Freiburg, Hugstetter Straße 55, 79106 Freiburg, Germany

Tel.: +49/0 17 17 62 33 71

niklas.verloh@uniklinik-freiburg.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Nierentransplantationen nehmen aufgrund des demografischen Wandels zu und sind die Behandlung der Wahl bei Nierenerkrankungen im Endstadium. Dabei kann es in der Frühphase nach Transplantation, aber auch im späteren Verlauf zu Komplikationen im Bereich der Transplantatgefäße sowie des Ureters kommen. Postoperative Komplikationen treten bei etwa 12 % bis 25 % der Patienten mit Nierentransplantation auf. In diesen Fällen sind minimalinvasive therapeutische Maßnahmen entscheidend, um die Transplantatfunktion dauerhaft sicherzustellen. Ungeachtet der nicht vaskulären Komplikationen thematisiert dieser Übersichtsartikel die wichtigsten Komplikatio-

nen des Gefäßsystems nach erfolgter Nierentransplantation und erörtert aktuelle Empfehlungen zur interventionellen Behandlung.

Methode Es wurde eine selektive Literaturrecherche in PubMed mit den Suchbegriffen „kidney transplantation“, „complications“ und „interventional treatment“ durchgeführt. Darüber hinaus wurden der Jahresbericht 2022 der Deutschen Stiftung Organspende sowie die aktuellen Leitlinien der Nierentransplantation der EAU (European Association of Urology) berücksichtigt.

Ergebnisse und Schlussfolgerung Interventionelle Therapieoptionen sind im Vergleich zur operativen Revision minimalinvasiv und sollten für vaskuläre Komplikationen primär angewendet werden. Die häufigsten vaskulären Komplikationen nach Nierentransplantation sind arterielle Stenosen (3 %–12,5 %), gefolgt von arteriellen und venösen Thrombosen (0,1 %–8,2 %) und Dissektionen (0,1 %). Seltener treten arteriovenöse Fisteln oder Pseudoaneurysmen auf. In diesen Fällen weist die minimalinvasive Therapie neben guten technischen und klinischen Ergebnissen auch eine niedrige Komplikationsrate auf. Die Diagnostik, Behandlung und Nachsorge sollten interdisziplinär an hochspezialisierten Zentren erfolgen, um einen Erhalt der Transplantatfunktion zu gewährleisten. Nur bei ausbleibendem Erfolg der minimalinvasiven Therapieverfahren sollte eine chirurgische Revision erwogen werden.

Kernaussagen:

- Vaskuläre Komplikationen nach Nierentransplantation treten bei 3 % bis 15 % der Patienten auf.
- Interventionelle Verfahren sollten primär zur Behandlung von vaskulären Komplikationen bei Nierentransplantationen angewendet werden.
- Die minimalinvasive Therapie zeigt neben guten technischen und klinischen Ergebnissen eine niedrige Komplikationsrate.

Zitierweise

- Verloh N, Doppler M, Hagar MT et al. Interventional Management of Vascular Complications after Renal Transplantation. Fortschr Röntgenstr 2023; 195: 495–505

ABSTRACT

Background Kidney transplantations are increasing due to demographic changes and are the treatment of choice for end-stage renal disease. Non-vascular and vascular complica-

tions may occur in the early phase after transplantation and at later stages. Overall postoperative complications after renal transplantations occur in approximately 12% to 25% of renal transplant patients. In these cases, minimally invasive therapeutic interventions are essential to ensure long-term graft function. This review article focuses on the most critical vascular complications after renal transplantation and highlights current recommendations for interventional treatment.

Method A literature search was performed in PubMed using the search terms “kidney transplantation”, “complications”, and “interventional treatment”. Furthermore, the 2022 annual report of the German Foundation for Organ Donation and the EAU guidelines for kidney transplantation (European Association of Urology) were considered.

Results and Conclusion Image-guided interventional techniques are favorable compared with surgical revision and should be used primarily for the treatment of vascular complications. The most common vascular complications after renal

transplantation are arterial stenoses (3%–12.5%), followed by arterial and venous thromboses (0.1%–8.2%) and dissection (0.1%). Less frequently, arteriovenous fistulas or pseudoaneurysms occur. In these cases, minimally invasive interventions show a low complication rate and good technical and clinical results. Diagnosis, treatment, and follow-up should be performed in an interdisciplinary approach at highly specialized centers to ensure the preservation of graft function. Surgical revision should be considered only after exhausting minimally invasive therapeutic strategies.

Key Points:

- Vascular complications after renal transplantation occur in 3% to 15% of patients.
- Image-guided interventional procedures should be performed primarily to treat vascular complications of renal transplantation.
- Minimally invasive interventions have a low complication rate with good technical and clinical outcomes.

Einleitung

Die Nierentransplantation (NTX) ist die Behandlung der Wahl bei Nierenerkrankungen im Endstadium [1]. Die Hauptindikation zur Nierentransplantation im Erwachsenenalter ist die chronische Nierenkrankheit, während bei Kindern die zystische Nierenkrankheit die häufigste Ursache darstellt [1]. In Deutschland warten rund 7.000 Patienten auf eine Nierentransplantation, welche an 38 Transplantationszentren durchgeführt wird [1]. Im Jahr 2021 wurden in Deutschland 1.929 Nieren transplantiert, davon waren 475 Nierenlebenspenden. Die Anzahl an postmortalen Organpenden im Jahr 2020 betrug 1.517 [1].

Patienten, die eine Nierentransplantation erhalten, haben eine signifikant erhöhte Lebensqualität und -erwartung im Vergleich zu Patienten unter dauerhafter Dialysebehandlung [2, 3]. Ein wichtiger Bestandteil des langfristigen Überlebens von Patienten und Transplantaten nach einer Nierentransplantation ist die frühzeitige Diagnosestellung, das Management und vor allem die Prävention von Komplikationen. Nicht nur für die optimale Versorgung frisch transplantierte Patienten, sondern auch für die Nachsorge im Langzeitverlauf ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Radiologen, Transplantationschirurgen und Nephrologen wichtig, um sowohl internistisch-nephrologische, immunologische und chirurgische Komplikationen zu erkennen, zu verstehen und adäquat zu therapieren. Das steigende Alter von Spendern und Empfängern, die zunehmenden Komorbiditäten der Empfänger und immer längeren Dialysezeiten sowie eine wachsende Anzahl von transplantierten Patienten stellen neue Herausforderungen an die behandelten Ärzte [4].

Komplikationen nach einer Nierentransplantation werden in vaskuläre und nicht vaskuläre Komplikationen unterteilt und treten bei 12 bis 20% der Patienten auf [5]. Zu den häufigen nicht vaskulären Komplikationen zählen Harnleiterobstruktion, Harnleiterinsuffizienz, Flüssigkeitsansammlungen am Transplantat, Hämatome, Urinome, Abszesse, Lymphozelen und Transplantatabstoßung.

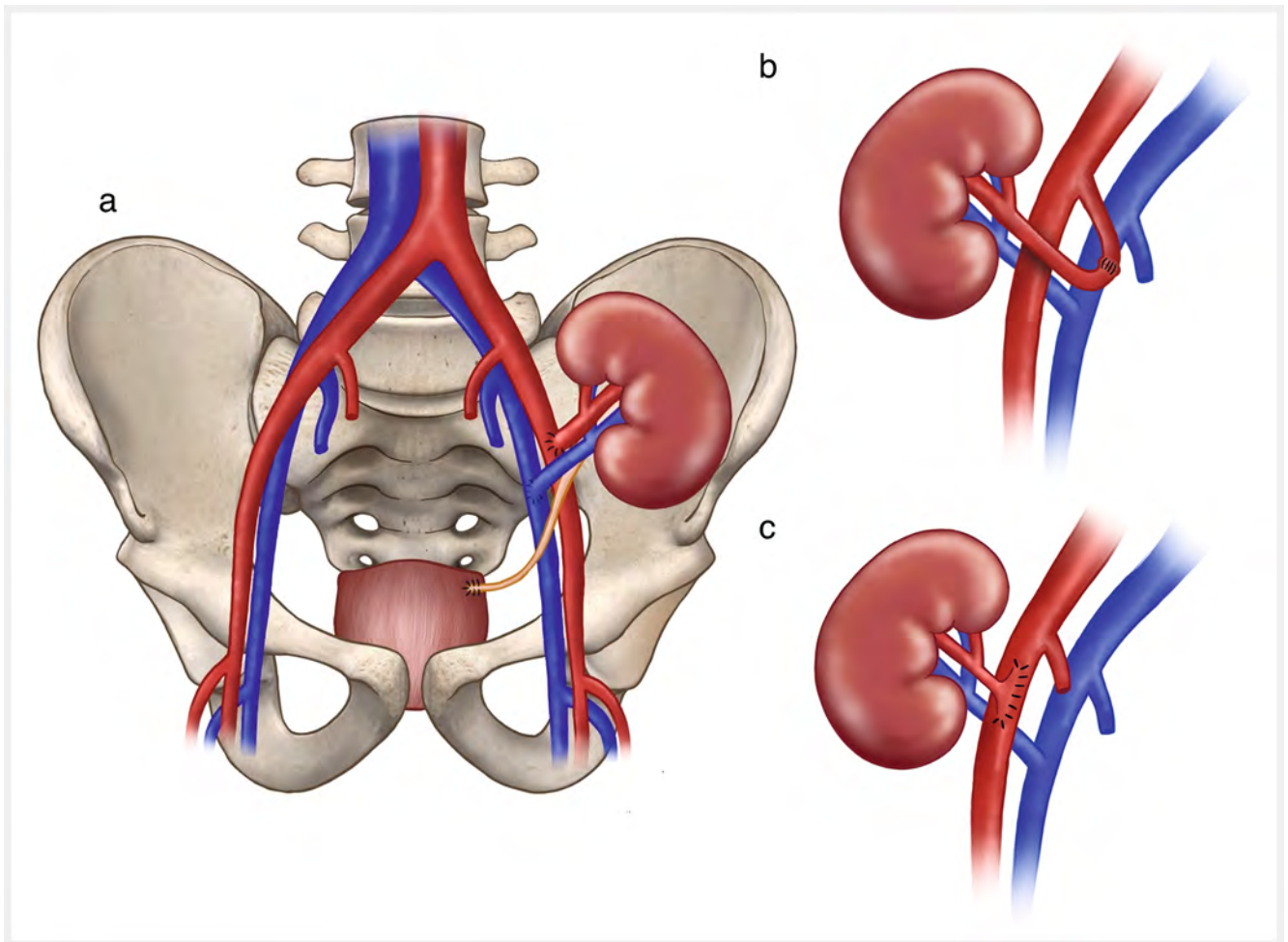
Harnleiterobstruktion oder -stenose werden in Abhängigkeit ihres Auftretens nach Transplantation als früh (<3 Monate) oder spät (>3 Monate) eingestuft und werden mittels Schienung versorgt. Frühe Harnleiterobstruktionen sind in der Regel auf mechanische Ursachen wie Knickbildung, Ödeme, Blutgerinnsel oder Restriktionen in der Submukosa zurückzuführen und treten meist an der uretero-vesikalen Verbindung auf [6]. Eine urethrale Ischämie ist die häufigste Ursache für eine späte Harnwegsobstruktion und tritt häufig im Bereich des distalen Ureters auf.

Urinleckagen als frühe Komplikation nach einer Nierentransplantation sind auf eine Ischämie, Anastomosendefekte, andere chirurgische Komplikationen oder manchmal auf eine Ruptur des Harnsammelsystems proximal der Ureterobstruktion zurückzuführen [7, 8].

Flüssigkeitsverhalte am Transplantat treten häufig nach einer Nierentransplantation (bis zu 50%) auf. Allerdings werden sie in nur 15 bis 20% klinisch signifikant (Lymphozelen, Hämatome, Abszesse und Urinome) [9]. Während Hämatome, Abszesse und Urinome typischerweise früh in der postoperativen Phase auftreten, dauert es bei Lymphozelen häufig länger, bis sie sichtbar werden [10]. Im Allgemeinen kann sich jede perioperative Flüssigkeitsansammlung, insbesondere große Hämatome, infizieren und zu einem retroperitonealen Abszess mit typischen klinischen Symptomen wie Fieber, Schmerzen und Leukozytose führen. Abszesse sollten umgehend entlastet werden (je nach Lokalisation und Größe minimalinvasiv mittels Drainage oder operativ).

Neben den nicht vaskulären Komplikationen stellen insbesondere die vaskulären Komplikationen, die Gegenstand dieses Artikels sind, mit bis zu 25% eine relativ häufige, aber gut therapierbare Ursache für Transplantatversagen dar [5]. Zu den vaskulären Komplikationen gehören Nierenarterienstenosen, Gefäßthrombosen der Arterien und Venen sowie arterielle Verletzungen wie arteriovenöse Fisteln (AVF), Pseudoaneurysmen oder Dissektionen.

Die interventionelle Radiologie spielt eine Schlüsselrolle bei der minimalinvasiven Behandlung von postoperativen vaskulären



► **Abb. 1** Möglichkeiten der unterschiedlichen NTX-Anastomosen. **a.** Transplantiere in der linken Fossa iliaca mit End-zu-Seit arterieller und venöser Anastomose zwischen den Transplantatgefäßen und der Arteria und Vena iliaca externa. **b.** End-zu-End-Anastomose der Transplantatnierenarterie und der A. iliaca interna. **c.** Carrel-Patch an die A. iliaca externa in einer End-zu-Seit-Anastomose.

Komplikationen nach Nierentransplantationen, um die Morbidität zu senken und die Transplantatfunktion zu schützen [11].

Ziel dieses Artikels ist es, dem Leser einen Überblick über Indikation und Durchführung interventioneller Verfahren und Techniken bei vaskulären Komplikationen nach einer Nierentransplantation zu geben.

Anatomie

Im Hinblick auf die Art und Häufigkeit der auftretenden Komplikationen ist das Verständnis der operativen Details entscheidend. Vor jedem Eingriff an den Gefäßen oder an Strukturen des Harntrakts ist es daher zwingend erforderlich, sich über die Art des Organtransplantats (post-mortem oder Nierenlebendspende) und die verwendete arterielle Anastomose, die Art der venösen Anastomose und die der urologischen Anastomose zu informieren [12, 13].

Die meisten Nieren-Organtransplantate werden in der rechten oder linken Fossa iliaca platziert (► **Abb. 1a**). Die rechte Fossa iliaca wird aufgrund der oberflächlichen Lage der iliakalen Gefäße für die Anastomose bevorzugt. Bei bestehenden Gefäßunregelmäßigkeiten,

wie Stenosen, Verkalkungen oder anderen anatomischen Normvarianten der bilateralen Beckengefäße, kann für die Anastomose das Nierentransplantat auch intraperitoneal platziert werden [14]. Bei der Anastomose der Transplantatnierenarterie handelt es sich in den meisten Fällen um eine End-zu-Seit-Anastomose zwischen der Transplantationsarterie und der Arteria iliaca externa des Empfängers [15]. Seltener wird eine End-zu-End-Anastomose zwischen der Transplantatarterie und der Arteria iliaca interna angelegt (► **Abb. 1b**) [15]. Bei postmortalen Organspenden wird die Nierenarterie des Spenders zusammen mit einem Teil der Aorta (Carrel-Patch) i. d. R. an die A. iliaca externa des Empfängers in einer End-zu-Seit-Anastomose angeschlossen (► **Abb. 1c**) [15]. Ein Abweichen von den klassischen Anastomosenarten ist natürlich möglich (beispielsweise bei dominanten Polararterien des Spenders) und muss zum Zeitpunkt der Behandlungsplanung beachtet werden.

Allogene Transplantate, Venen-Interponate oder synthetische Bypässe werden verwendet, um kurzstreckige oder geschädigte Nierengefäße anzuschließen. Bei einer intraperitonealen Transplantation werden arterielle und venöse Anastomosen End-zu-Seit mit der Aorta bzw. der Vena cava inferior angelegt.

Die Venenanastomose wird meist als End-zu-Seit-Anastomose zwischen der Transplantatnierenvene und der Vena iliaca externa des Empfängers angelegt.

Die Harnleiteranastomose wird in der Regel durch Implantation des transplantierten Harnleiters in die Harnblase durch einen Muskelstapel in der Blasenwand (Ureterneozystostomie) geschaffen. Alternativ werden Anastomosen zwischen dem Harnleiter der Spenderniere und dem ipsilateralen Empfängerharnleiter (Ureteroureterostomie) oder zwischen dem Nierenbecken der Spenderniere und dem ipsilateralen Empfängerharnleiter (Ureteropyelostomie) angelegt. Letzteres ist wahrscheinlicher, wenn die Länge des Transplantatsharnleiters nicht ausreicht, um die Harnblase zu erreichen, oder wenn das Nierentransplantat eine Harnleiterobstruktion aufweist.

Diagnostische Abklärung

Die Duplexsonografie ist das Mittel der Wahl für die Beurteilung von Transplantatgefäßen in der frühen postoperativen Phase. Auch im Langzeitverlauf erfolgen regelmäßige duplexsonografische und laborchemische Kontrollen der Nierenretentionswerte [16]. Folgende Werte werden für eine Beurteilung der Transplantatgefäße ermittelt: Systolische Spitzengeschwindigkeit zur Bestimmung der maximalen Flussbeschleunigung in der Transplantatarterie, intrarenale Flussprofile und Widerstandsindex ($RI = \text{systolische Spitzengeschwindigkeit} - \text{diastolische Spitzengeschwindigkeit} / \text{systolische Spitzengeschwindigkeit}$) der intrarenalen Arterien. Vaskuläre Komplikationen werden mit der Duplexsonografie regelhaft erkannt.

Eine Schnittbilddiagnostik mittels CT oder MRT wird bei auffälliger Duplexsonografie durchgeführt, um auffällige Befunde zu validieren und Therapien zu planen. Eine Schnittbilddiagnostik, insbesondere mittels MRT, kann zu einer Überschätzung des Stenosegrades führen; hier kann eine Angiografie mit Möglichkeit der Druckmessung das diagnostische Spektrum sinnvoll erweitern.

Das Risiko einer kontrastmittelinduzierten Nephropathie (CI-AKI) ist bei Patienten mit verschlechterter Nierenfunktion erhöht [17, 18]. Laut dem Komitee für Kontrastmittelsicherheit der European Society of Urogenital Radiology (ESUR) ist das Risiko einer CI-AKI bei nierentransplantierten Patienten nicht höher als bei nicht transplantierten Patienten, die Gesellschaft rät aber zu besonderer Vorsicht bei diesen Patienten, um das Transplantat bestmöglich zu schützen [19, 20]. In der klinischen Praxis wird jedoch weiterhin davon ausgegangen, dass das Risiko einer Nierenschädigung mit der Dosis des injizierten Kontrastmittels steigt, was insbesondere bei nierentransplantierten Patienten zu berücksichtigen ist [21, 22].

Auf der Grundlage neuerer retrospektiver Studien [23–26] scheint das Risiko einer kontrastmittelinduzierten Nephropathie nach intravenöser und intraarterieller Kontrastmittelgabe mit Second-Pass-Nierenexposition ähnlich hoch zu sein. Die ESUR betrachtet jedoch hohe Kontrastmittelinjektionen, die intraarteriell mit einer First-Pass-Nierenexposition verabreicht werden, als einen Risikofaktor für CI-AKI [19, 20].

Arterielle Stenosen nach Nierentransplantation

Transplantatnierenarterien-Stenose (TRAST)

Eine Nierenarterienstenose nach einer Nierentransplantation ist eine häufige Komplikation mit einer Inzidenz von 3 %–12,5 % (bis zu 25 %) und multifaktorieller Ätiologie [27–32]. Patienten mit einer Stenose der Transplantatarterie können asymptomatisch sein oder eine therapieresistente Hypertonie mit oder ohne Transplantatdysfunktion aufweisen. Die häufigste Ursache für eine Nierenarterienstenose sind chirurgische Komplikationen der Gefäßanastomosen, aber auch Gefäßverletzungen oder Intimadissektionen durch Gefäßklemmen [33, 34]. Eine höhere Inzidenz besteht bei End-zu-End-Anastomosen und bei postmortalen Organspenden. Eine Intimahyperplasie, eine extrinsische Kompression aufgrund fibrotischer Gewebsvermehrung oder eine mechanische Knickbildung der Nierenarterie können ebenfalls die arterielle Durchblutung der Transplantatnieren reduzieren. Gefäßverletzungen oder Klemmschäden sowie arterielle Knickbildungen/ Torsionen werden oft früh nach der Transplantation diagnostiziert und stehen dann meist mit der Operationstechnik in Zusammenhang [11]. Atherosklerotische oder immunvermittelte Gefäßveränderungen sowie Intimahyperplasien treten im Verlauf nach Nierentransplantation auf. Die Schwellenwerte für behandlungsbedürftige Stenosen werden von der „Society of Interventional Radiology“ definiert und sind in ► **Tab. 1** aufgeführt [11, 35].

Die primäre Behandlung einer Transplantatarterienstenose besteht in einer perkutanen transluminalen Angioplastie (PTA) [33, 34]. Die berichteten technischen Erfolgsraten für die PTA von Nierenarterienstenosen liegen zwischen 60–94 %, mit einer Komplikationsrate von 0–8,3 % [36]. Die Restenoserate in einem Beobachtungszeitraum von 36 Monaten wird auf 10–12 % der Patienten geschätzt [37, 38]. Die langfristige Überlebensrate von Patienten nach endovaskulärer Behandlung von Nierenarterienstenosen ist ähnlich wie bei Patienten ohne Stenose [38]. In der Studie von Patel et al. [38] konnte in einem mittleren Nachbeobachtungszeitraum von 10,6 Jahren gezeigt werden, dass es nach der Angioplastie einer TRAST mittels Ballon- oder Stent-Angioplastie zu einer langfristigen Senkung sowohl des Blutdrucks als auch der Nierenretentionsparameter sowie zu einer vergleichbaren Transplantatfunktion und Patientenüberleben kommt wie bei Patienten ohne TRAST.

Die aktuelle Literatur deutet darauf hin, dass die primäre Stent-PTA (► **Abb. 2**) im Vergleich zur Ballon-PTA zu niedrigeren Restenoseraten führt [39–44]. Beide Verfahren zeigen hinsichtlich der Komplikationsrate keinen Unterschied. In einer retrospektiven Metaanalyse zu arteriosklerotischen Nierenarterienstenosen war die Senkung des Blutdrucks nach Stent-PTA besser als nach PTA. Die Verbesserung der Nierenfunktion war allerdings schlechter, was aber möglicherweise einem vermehrten Einschluss von Patienten mit Niereninsuffizienz in den Studien mit Stent-PTA in dieser Metaanalyse zugeschrieben werden kann [41].

Der Einsatz von drug-eluting Stents (DES) in Koronararterien hat die Restenoseraten drastisch gesenkt, insbesondere in kleinen Gefäßen, wo erstmals beobachtet wurde, dass ein kleiner Lumen-durchmesser ein starker Prädiktor für In-Stent-Restenose ist [45]. Erste Arbeiten haben aufgezeigt, dass die primäre Stentimplantation mit DES eine sichere und wirksame Therapie für TRAST dar-

► **Tab. 1** Diagnostische Kriterien therapierelevanter Nierenarterienstenosen (modifiziert nach: Kolli and LaBerge [6]: Imaging Criteria for the Diagnosis of Transplant Renal Artery Stenosis, in Interventional Management of Vascular Renal Transplant Complications, basierend auf Nikolic, Rose, Ortiz, et al. [41].

Modalität	Schwellenwert
Duplexsonografie	<p>Transplantatarterie:</p> <ul style="list-style-type: none"> Systolische Spitzengeschwindigkeit gemessen bei Einschallwinkel < 60°: > 2,5 m/s Verbreiterung des Frequenzbandes mit kompletter Füllung des systolischen Fensters im Spektraldoppler Quotient aus systolischer Spitzengeschwindigkeit in der A. iliaca / systolische Spitzengeschwindigkeit in der Transplantatarterie > 3,5 <p>Intraparenchymale Arterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> Verzögerte Accelerationszeit = Zeit in Sekunden bis zur Erreichung der Spitzengeschwindigkeit (> 0,1 s) Intrarenales Flussprofil: „Parvus et tardus“-Wellenformen Resistance Index RI < 0,55
CT-/MR- Angiografie DSA	<ul style="list-style-type: none"> > 50 %ige Durchmesserreduktion (gemessen als Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Einschnürung und dem Durchmesser proximal der Stenose bzw. distal des Segments der poststenotischen Dilatation)
Invasive Druckmessungen	<ul style="list-style-type: none"> Systolischer Druckgradient > 10 % Druckdifferenz über der Stenose Spitzenwert ≥ 20 mmHg bzw. mittlere Differenz ≥ 10 mmHg (gemessen mit einem 5F-Diagnostik-Katheter oder einer Messsonde) Hyperämischer systolischer Gradient > 21 mmHg, nach selektiver Injektion eines Vasodilatators Druckverhältnis < 0,9 zwischen der Hauptnierenarterie distal der Stenose und der Aorta

stellt [46]. Weitere randomisierte Studien und Langzeitverläufe sind jedoch erforderlich, um festzustellen, ob die Platzierung von DES Vorteile im Vergleich zu den bisherigen Behandlungsstrategien mit sich bringt.

Knickbildung

Ein Transplantatarterienknick ist unter Umständen schwer von einer Stenose zu unterscheiden und kann die Folge einer Gefäßverlagerung oder einer Verlagerung des Transplantats selbst im Laufe der Zeit sein, die zu einer Verdrehung der Gefäße führt. Die Chirurgie ist nach wie vor die Behandlung der Wahl bei Knickbildungen in den Gefäßen. Bei Patienten, die für einen chirurgischen Eingriff nicht infrage kommen, ist die PTA eine Alternative, jedoch mit einer geringen Erfolgsrate und einem Risiko von arteriellen Gefäßspasmen und Dissektionen behaftet. Darüber hinaus kann sowohl der Einsatz eines selbstexpandierbaren als auch eines ballonexpandierbaren Stents in kombinierter Technik erforderlich sein, um die Knickbildung ausreichend zu behandeln. Hierbei wird der ballonexpandierbare Stent mit seiner erhöhten Aufstellkraft dazu verwendet, den Knick aufzulösen und der längere selbstexpandierbare Stent wird im Anschluss platziert, um das Risiko einer Knickverschleppung zu reduzieren.

Pseudo-Transplantatnierenarterien-Stenose (Pseudo-TRAST)

Weitere Risiken eines reduzierten Flusses der Transplantatarterie sind atherosklerotische Veränderungen der Beckenarterien proximal der Anastomose [47]. Ein reduzierter Fluss der Transplantatnierenarterie aufgrund von aortoiliakalen Stenosen ist meist mit dem Fortschreiten einer atherosklerotischen Verschlusskrankheit verbunden und tritt i. d. R. erst später nach erfolgter Transplantation auf.

Dissektion

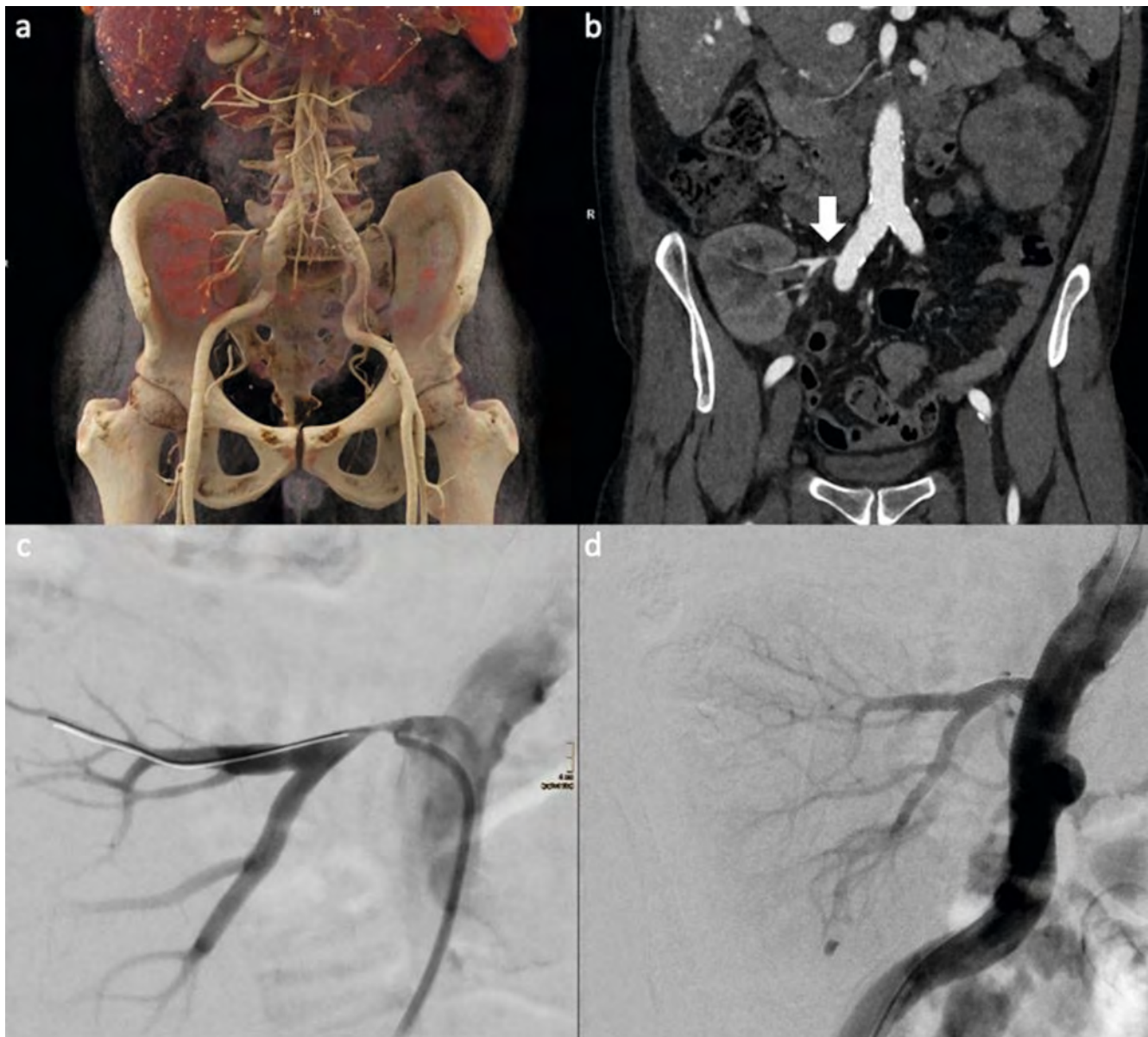
Die Dissektion der Nierenarterie ist eine weitere seltene Komplikation (0,1 %) [48]. In dieser Situation kann eine Stent-PTA eingesetzt werden, um die Intima wieder zu stabilisieren.

Gefäßverletzungen nach Biopsien

Komplikationen nach routinemäßig durchgeführten perkutanen Biopsien treten in bis zu 18 % der Fälle auf [30, 49]. Zu den häufigen Komplikationen gehören arterielle Pseudoaneurysmen oder arteriovenöse Fisteln (AVF). Die primäre Behandlung der AVF besteht, nach initialem Abwarten mit spontaner Heilung, in einer superselektiven Coil-Embolisation (► **Abb. 3**, ► **Abb. 4**, ► **Video 1**). Die Ätiologie der AV-Fistel hängt mit der gleichzeitigen Verletzung von benachbarten arteriellen und venösen Ästen zusammen. Ein Pseudoaneurysma entsteht, wenn nur der arterielle Ast geschädigt ist. Die Behandlung einer AVF ist bei symptomatischen (Verschlechterung der Nierenfunktion) und zunehmenden Gefäßveränderungen angezeigt (70 % der kleineren AVF können sich innerhalb von 2 Jahren spontan zurückbilden). Die Behandlung von Pseudoaneurysmen ist unabhängig von ihrer Größe indiziert. Die technische Erfolgsrate bei der endovaskulären Behandlung von AVF oder Pseudoaneurysmen liegt bei 71 % bis 100 % der Patienten [50]. Die superselektive Platzierung von Coils trägt dazu bei, den Verlust des Transplantatparenchyms möglichst gering zu halten.

Thrombosen

Thrombosen in den arteriellen und venösen Nierengefäßen des Transplantats sind die Hauptursache für einen frühen Transplantatverlust [51]. In der Regel sind sie Folge eines technischen Fehlers an der Anastomose, obwohl andere Ursachen abhängig vom

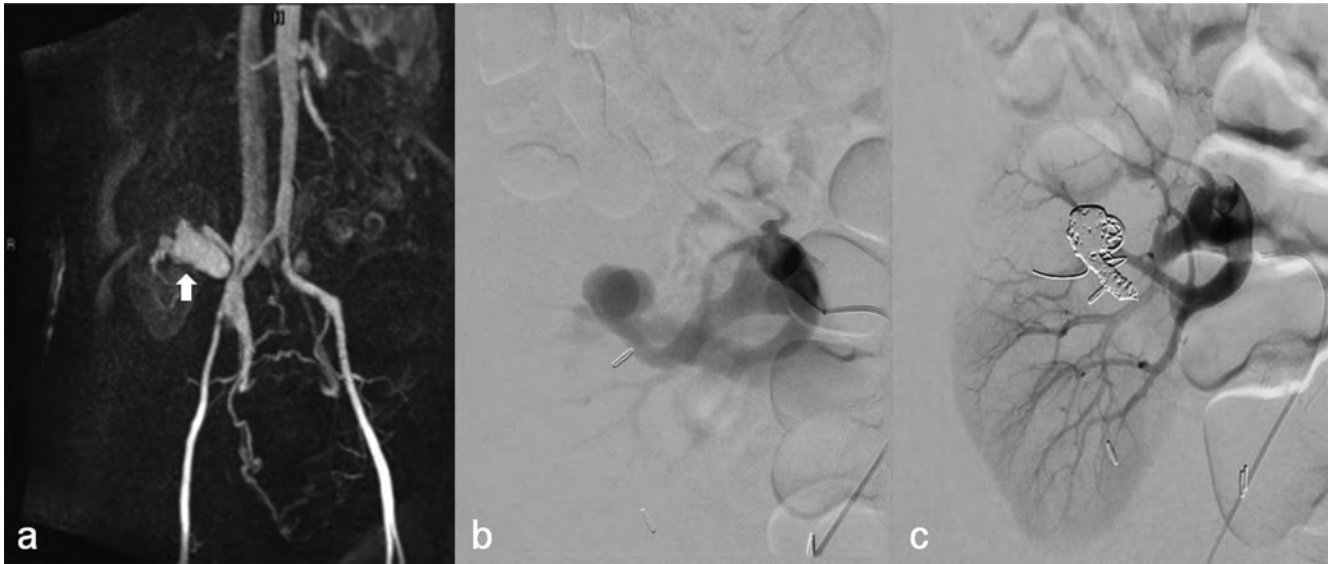


► **Abb. 2 (a–d):** Relevante Stenose der Transplantatnierenarterie bei einem 44-jährigen Patienten nach Nierenlebensspende bei autosomal rezessiver polyzystischer Nierenerkrankung. Bei erhöhtem Serumkreatininwert wurde am gleichen Tag eine Duplexsonografie durchgeführt, in der eine verzögerte Perfusion der transplantierten Niere gesehen wurde. **a.** Cinematic Rendering VRT zeigt die Transplantatniere in der rechten Fossa iliaca **b.** Coronare Reformation einer CT-Angiografie mit Nachweis einer subtotalen Stenose der Transplantatnierenarterie (Pfeil). **c.** Selektive Sondierung der Transplantatnierenarterie und Darstellen der subtotalen Stenose. **d.** Ergebnis nach perkutaner transluminaler Angioplastie und Einlage eines ballonexpandierbaren Stents ohne Nachweis einer relevanten Rest-Stenosierung.

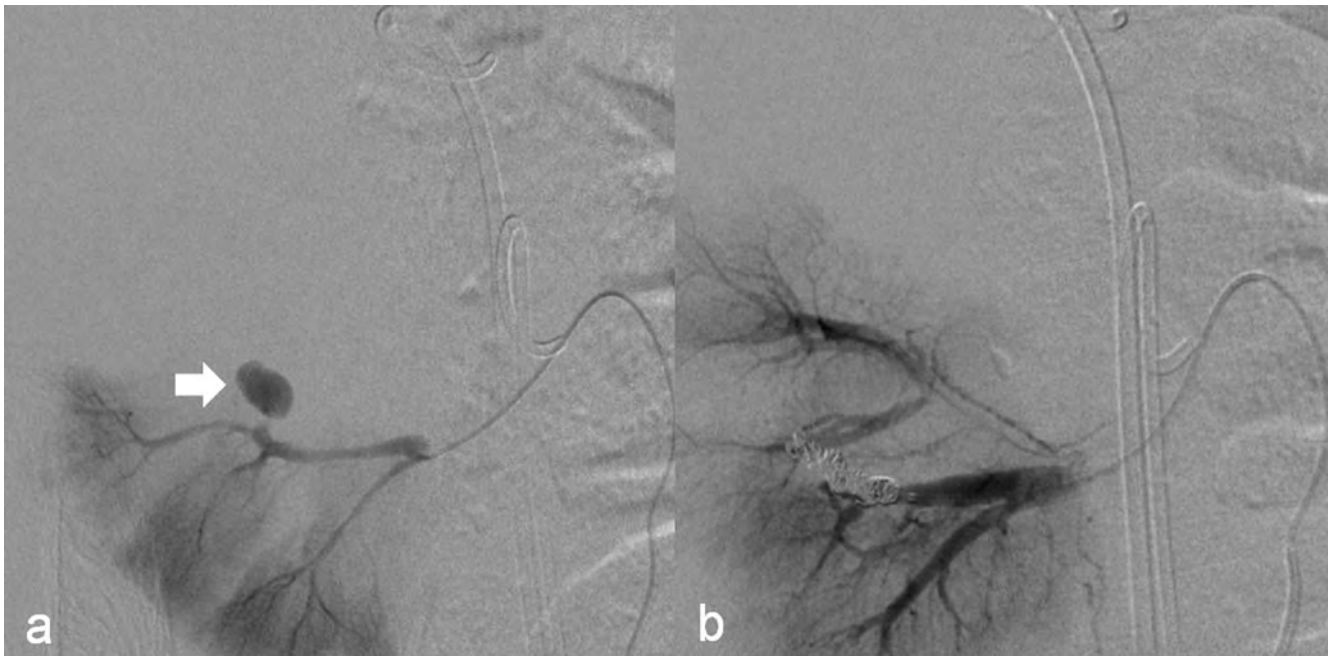
Zustand der Spender- als auch der Empfängerarterie infrage kommen. Eine Intimaverletzung während der Nierenentnahme, eine akute Abstoßungsperiode, eine externe Kompression, ein hyperkoagulativer Zustand oder Toxizität von Immunsuppressiva (Cyclosporin oder Sirolimus) stehen im Zusammenhang mit dem Auftreten einer Thrombose [51–54].

In der Regel machen sich Thrombosen durch plötzliche Oligurie oder Anurie mit Einschränkung der Transplantatfunktion bemerkbar [51]. Die Inzidenzen schwanken zwischen 0,2%–7,5% bzw. 0,1%–8,2% [55–57].

Die traditionelle Behandlung der arteriellen und venösen Thrombose ist die chirurgische Thrombektomie. Die katheterbasierte Thrombolyse kann bei geringer Thromboselast, segmentaler Arterienthrombose oder wenn eine Operation nicht möglich ist, durchgeführt werden. In den ersten 10 bis 14 Tagen nach der Transplantation sollten kathetergestützte Thrombolytika aufgrund der noch vulnerablen Gefäßanastomosen vermieden werden [56]; in Einzelfällen und nach interdisziplinär Absprache kann eine Lysetherapie als individuelles Vorgehen auch frühzeitig eingesetzt werden.



► **Abb. 3** AV-Fistel am Oberpol in einer auf die rechte Beckenachse transplantierten Niere bei einem 54-jährigen Patienten mit chronischer Glomerulonephritis. **a.** Darstellung der AV-Fistel in einer hochauflösenden MRT-Twist-Angiografie. Die transplantierte Nierenoberpolarterie kann als antegrader Feeder identifiziert werden (Pfeil). **b.** Darstellung der großen AV-Fistel in der digitalen Subtraktionsangiografie **c.** Erfolgreiche Ausschaltung der AV-Fistel durch superselektive Coil-Embolisation.



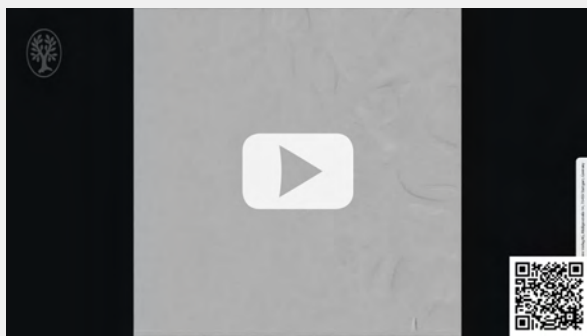
► **Abb. 4** Pseudoaneurysma am rechten Unterpol einer Transplantatniere bei einem 43-jährigen Patienten mit vorheriger terminaler Niereninsuffizienz unklarer Genese. 20 Tage nach der Nierentransplantation weiterhin erhöhtes Serumkreatinin, es erfolgte eine ultraschallgesteuerte Nierenbiopsie zur weiteren Abklärung. In der Duplexsonografie am Folgetag ließ sich ein größeres Pseudoaneurysma am Nierenunterpol abgrenzen. **a.** Pseudoaneurysma ausgehend von der kaudalen Segmentarterie (Pfeil) **b.** Ausschaltung des Pseudoaneurysmas mittels superselektiver Coil-Embolisation in front-door/back-door-Technik.

Technische Besonderheiten

Als interventioneller Zugang zum arteriellen System kann sowohl ein transfemoraler, ipsilateraler oder ein kontralateraler Zugang in Bezug auf das Transplantat gewählt werden. Bei anatomischen Besonderheiten oder individuellen Anastomosen kann ein transbrachialer/

radialer Zugang als alternativer Zugangsweg evaluiert werden. Um den optimalen Zugangsweg zu wählen, sind im Vorfeld genaue Kenntnisse der Anatomie der Transplantatgefäße notwendig. Eine Schnittbilddiagnostik mittels CT oder MRT kann hier den Auswahlprozess deutlich vereinfachen und führt zu einer reduzierten Inter-

▶ OP-VIDEO

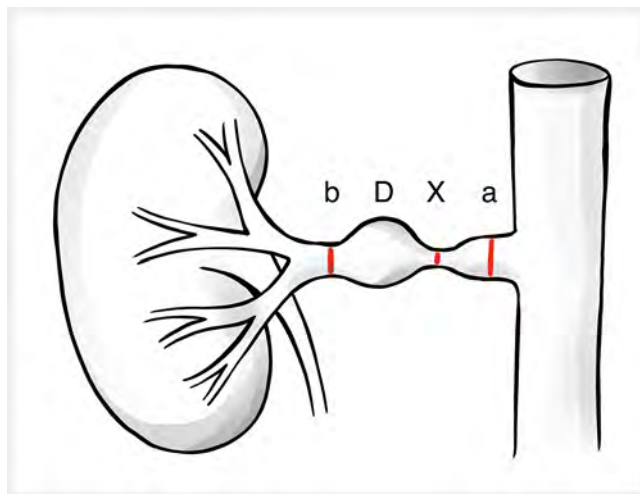


▶ **Video 1** AV-Fistel am Oberpol in einer auf die rechte Beckenachse transplantierten Niere bei einem 54-jährigen Patienten mit chronischer Glomerulonephritis. Darstellung der großen AV-Fistel in der digitalen Subtraktionsangiografie mit 2 Bildern pro Sekunde.

ventionszeit und zu einer geringeren intra-arteriellen Kontrastmittel (KM)-Applikation während der Intervention. Ein ipsilateraler transfemoraler Zugang bietet in der Regel optimale Kraftlinien für endovaskuläre Eingriffe, wenn die transplantierte Nierenarterie an die A. iliaca externa anastomosiert ist. Ein kontralateraler Zugang sollte gewählt werden, wenn die weniger häufig vorkommende Anastomose zwischen der Arteria iliaca interna und der Transplantatnierenarterie behandelt werden soll. Bei einer Anastomose mit der abdominalen Aorta kann sowohl ein ipsilateraler als auch kontralateraler Zugang gewählt werden [11].

Zur besseren Übersicht der Gefäßanastomosen kann zunächst eine nichtselektive Darstellung des aortoiliakalen Stromgebietes mittels Kohlendioxid-Angiografie durchgeführt werden, um das Risiko einer durch jodhaltiges Kontrastmittel induzierten Nephropathie zu minimieren. Die Diagnostik wird meist mittels eines 5-F Pigtail-Katheters durchgeführt, um eine Kontrastmittelgabe mit ausreichend hohem Fluss zu gewährleisten [11]. Angiografien sollten sowohl in frontaler als auch in kontralateraler Schrägprojektion durchgeführt werden, um obstruktive Läsionen des aortoiliakalen Zuflusses auszuschließen [11]. Wird keine zu behandelnde Pathologie identifiziert, kann der Pigtail-Katheter anteilmäßig in die Arteria iliaca externa proximal der Anastomose der transplantierten Nierenarterie (ipsilateraler femoraler Zugang) zurückgezogen oder ein 5-French-Angiografiekatheter in die kontralaterale Arteria iliaca communis (kontralateraler femoraler Zugang) vorgeschoben werden, um ein selektives kontrastverstärktes (oder kohlendioxidverstärktes) digitales Subtraktionsangiogramm der Arteria iliaca interna oder externa bzw. der Transplantatarterie in mehreren Projektionen anzufertigen.

Bei der Behandlung einer TRAST wird zunächst die Schleuse oder der Führungskatheter in die Arteria iliaca communis über einen kontralateralen oder ipsilateralen Zugang, wie oben beschrieben, platziert. Nach der selektiven Gabe von unfraktioniertem Heparin wird, unter Zuhilfenahme eines Diagnostik- bzw. eines Führungskatheters, die zu behandelnde Nierenarterie sondiert und ein Angiogramm angefertigt. Der Grad einer Stenose wird berechnet als das Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Nierenarterie an



▶ **Abb. 5** Skizze einer Transplantstenosemessung (S): Es werden der Durchmesser der Stenose (X) gemessen und der Quotient zum Gefäßdurchmesser der Transplantatarterie unmittelbar proximal der Stenose (a), oder im Falle einer poststenotischen Dilatation (D), unmittelbar distal dieser (b), bestimmt. $S = X/a$ oder $S = X/b$. Ist $S < 0,5$, so wird eine hämodynamische Relevanz angenommen und es besteht eine Indikation zur Intervention.

der Stenose und dem Durchmesser der Nierenarterie proximal der Stenose oder distal des Segments der poststenotischen Dilatation [35] (▶ **Abb. 5**). Eine TRAST $\geq 50\%$ gilt als signifikant, und in der Regel wird anschließend ein endovaskulärer Eingriff vorgenommen. Bei unklaren Engstellen kann eine invasive Druckmessung vor der Behandlung durchgeführt werden. Die diagnostischen Kriterien der Druckmessung sind in ▶ **Tab. 1** zusammengefasst [11, 35]. Die Läsion wird vorsichtig mit einem hydrophilen Führungsdraht und anschließend mit einem Angiografiekatheter durchquert. Im Anschluss wird der Ballon-Katheter bzw. der Stent über die Engstelle platziert. Der Durchmesser des Angioplastie-Ballons und des Stents sollte so gewählt werden, dass er gleich oder 1 mm größer ist als der Durchmesser des normalen, an die Stenose angrenzenden Teils der Nierenarterie. Beim primären Stenting sind ballonexpandierbare Stents selbstexpandierenden Stents vorzuziehen, da sie eine größere Radialkraft und einen präziseren Entfaltungsmechanismus aufweisen, jedoch sollte bei höhergradigen Stenosen eine Vorbehandlung mittels Ballon-PTA erfolgen, um das Risiko einer Stent-Dislokation vom Ballon während der Überwindung der Engstelle zu vermeiden [11]. Bei unklaren Läsionen kann zusätzlich eine Druckmessung vor der Behandlung über den Angiografiekatheter durchgeführt werden. Nitroglyzerin (10 $\mu\text{g}/\text{ml}$) kann verabreicht werden, um einem Vasospasmus der Nierenarterie und ihrer Äste während der Instrumentierung vorzubeugen oder bei dessen Auftreten zu behandeln [11]. Ein selektiv angefertigtes Angiogramm, unter Belassung des Führungsdrahtes distal der Engstelle, zeigt das postinterventionelle Ergebnis. Bei einer verbleibenden Stenose nach Ballon-PTA kann in der gleichen Sitzung auf ein stentgestütztes Verfahren umgeschwenkt werden. Ebenso kann bei einer Knickbildung des Stents eine Nachdilatation mittels Ballon-PTA durchgeführt werden.

Bei der Behandlung von AVF oder Pseudoaneurysmata wird ebenfalls zunächst die Transplantatnierenarterie sondiert und ein

► **Tab. 2** Zusammenfassung der Therapieempfehlungen unter Berücksichtigung der aktuellen Leitlinien und Literatur.

Pathologie	Primäre Behandlungsmöglichkeit	Alternative
Nierenarterienstenose	Stent-PTA	Ballon-PTA
Refraktäre Nierenarterienstenose nach PTA	Stent-PTA	Operation
Arteriovenöse Fistel	Supraselektive Embolisation	
Pseudoaneurysma (intraparenchymatös)	Supraselektive Embolisation	Stentgraft-PTA (bei entsprechendem Diameter des Trägergefäßes)
Gefäßknickbildung	Operation	Stent-PTA
Nierengefäßthrombose	Operation	Katheterbasierte Thrombolysen
Gefäßdissektion	Stent-PTA	Operation

selektives Angiogramm angefertigt. Im Anschluss folgt ein superselektives Vorgehen mittels Mikrokatheter bis unmittelbar vor das Aneurysma bzw. den Fistelpunkt. Die Embolisation sollte in *front-door/back-door*-Technik des Aneurysmahalses erfolgen. Alternativ kann eine direkte Embolisation des Fistelpunktes erfolgen. Bei der Behandlung wird primär eine Coil-Embolisationen verwendet. Die therapeutische Embolisation wird als technischer Erfolg gewertet, wenn bei der abschließenden Angiografie kein Fluss im Bereich der Gefäßverletzung festgestellt werden kann (► **Abb. 4**).

Nachbehandlung

Die meisten Gefäßeingriffe erfordern eine Überwachung über mindestens eine Nacht. Eine Duplexsonografie ist die am besten geeignete bildgebende Untersuchung, um den Zustand nach der endovaskulären Behandlung darzustellen, und sollte einen Tag nach dem Eingriff bzw. vor der Entlassung im Falle eines kurzfristigen Krankenhausaufenthalts durchgeführt werden. Im Rahmen der ambulanten Nachbetreuung werden die Nierenretentionsparameter, insbesondere der Serum-Kreatininwert, regelmäßig kontrolliert. Ebenso wird der Blutdruck regelmäßig dokumentiert. Besteht aus klinischen Gründen der Verdacht auf eine Restenose (Verschlechterung der Transplantatfunktion oder des Blutdrucks), sollte die Duplexsonografie wiederholt werden. Nach Durchführung einer Ballon-PTA wird eine lebenslange Therapie mit ASS empfohlen. Nach Stent-PTA ist eine duale Thrombozytenaggregationshemmung z. B. mit Clopidogrel für 6 Monate, neben der lebenslangen Therapie mit ASS, indiziert [11].

Zusammenfassung

Die Diagnostik, Behandlung und Nachsorge von Patienten mit Nierentransplantation sollte interdisziplinär an hochspezialisierten Zentren erfolgen. Bei den häufigsten vaskulären Komplikationen nach Nierentransplantation (Transplantatnierenarterien-Stenose, Dissektionen, arteriovenöse Fisteln oder Pseudoaneurysmen) weist die minimalinvasive Therapie gute technische und klinische Ergeb-

nisse wie auch eine niedrige Komplikationsrate auf und gilt daher als Therapie der ersten Wahl (► **Tab. 2**).

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Organtransplantation DS. Jahresbericht Organspende und Transplantation in Deutschland. Frankfurt am Main: Deutsche Stiftung Organtransplantation; 2021.
- [2] Wolfe RA, Ashby VB, Milford EL et al. Comparison of mortality in all patients on dialysis, patients on dialysis awaiting transplantation, and recipients of a first cadaveric transplant. *N Engl J Med* 1999; 341: 1725–1730. doi:10.1056/NEJM199912023412303
- [3] Tonelli M, Wiebe N, Knoll G et al. Systematic review: kidney transplantation compared with dialysis in clinically relevant outcomes. *Am J Transplant* 2011; 11: 2093–2109. doi:10.1111/j.1600-6143.2011.03686.x
- [4] Koch M, Weinmann-Menke J. Interdisziplinäre Zusammenarbeit nach Nierentransplantation (NTX). *Nieren- und Hochdruckkrankheiten* 2020; 49: 419
- [5] Breda A, Budde K, Figueiredo A et al. EAU Guidelines on Renal Transplantation. *EAU Guidelines on Renal Transplantation 2022*: 19–23
- [6] Buttigieg J, Agius-Anastasi A, Sharma A et al. Early urological complications after kidney transplantation: An overview. *World J Transplant* 2018; 8: 142–149. doi:10.5500/wjt.v8.i5.142
- [7] Bhagat VJ, Gordon RL, Osorio RW et al. Ureteral obstructions and leaks after renal transplantation: outcome of percutaneous antegrade ureteral stent placement in 44 patients. *Radiology* 1998; 209: 159–167. doi:10.1148/radiology.209.1.9769827
- [8] Kaskarelis I, Koukoulaki M, Georgantas T et al. Ureteral complications in renal transplant recipients successfully treated with interventional radiology. *Transplant Proc* 2008; 40: 3170–3172. doi:10.1016/j.transproceed.2008.08.040
- [9] Irving HC, Kashi SH. Complications of renal transplantation and the role of interventional radiology. *J Clin Ultrasound* 1992; 20: 545–552
- [10] Iezzi R, la Torre MF, Santoro M et al. Interventional radiological treatment of renal transplant complications: a pictorial review. *Korean J Radiol* 2015; 16: 593–603. doi:10.3348/kjr.2015.16.3.593

- [11] Kolli KP, LaBerge JM. Interventional Management of Vascular Renal Transplant Complications. *Tech Vasc Interv Radiol* 2016; 19: 228–236. doi:10.1053/j.tvir.2016.06.008
- [12] Orons PD, Zajko AB. Angiography and interventional aspects of renal transplantation. *Radiol Clin North Am* 1995; 33: 461–471
- [13] Kobayashi K, Censullo ML, Rossman LL et al. Interventional radiologic management of renal transplant dysfunction: indications, limitations, and technical considerations. *Radiographics* 2007; 27: 1109–1130. doi:10.1148/rg.274065135
- [14] Verghese PS. Pediatric kidney transplantation: a historical review. *Pediatr Res* 2017; 81: 259–264. doi:10.1038/pr.2016.207
- [15] Olschewski P, Seehofer D, Ollinger R et al. [Vascular reconstruction in visceral transplantation surgery]. *Chirurg* 2016; 87: 114–118. doi:10.1007/s00104-015-0108-7
- [16] Taffel MT, Nikolaidis P. Expert Panel on Urologic I et al. ACR Appropriateness Criteria((R)) Renal Transplant Dysfunction. *J Am Coll Radiol* 2017; 14: S272–S281. doi:10.1016/j.jacr.2017.02.034
- [17] van der Molen AJ, Reimer P, Dekkers IA et al. Post-contrast acute kidney injury – Part 1: Definition, clinical features, incidence, role of contrast medium and risk factors: Recommendations for updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines. *Eur Radiol* 2018; 28: 2845–2855. doi:10.1007/s00330-017-5246-5
- [18] Cheungpasitporn W, Thongprayoon C, Mao MA et al. Contrast-induced acute kidney injury in kidney transplant recipients: A systematic review and meta-analysis. *World J Transplant* 2017; 7: 81–87. doi:10.5500/wjt.v7.i1.81
- [19] van der Molen AJ, Reimer P, Dekkers IA et al. Post-contrast acute kidney injury. Part 2: risk stratification, role of hydration and other prophylactic measures, patients taking metformin and chronic dialysis patients: Recommendations for updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines. *Eur Radiol* 2018; 28: 2856–2869. doi:10.1007/s00330-017-5247-4
- [20] van der Molen AJ, Reimer P, Dekkers IA et al. Post-contrast acute kidney injury–Part 1: Definition, clinical features, incidence, role of contrast medium and risk factors. *European radiology* 2018; 28: 2845–2855
- [21] Lee J, Cho JY, Lee HJ et al. Contrast-induced nephropathy in patients undergoing intravenous contrast-enhanced computed tomography in Korea: a multi-institutional study in 101487 patients. *Korean J Radiol* 2014; 15: 456–463. doi:10.3348/kjr.2014.15.4.456
- [22] Nyman U, Almén T, Jacobsson B et al. Are intravenous injections of contrast media really less nephrotoxic than intra-arterial injections? *European radiology* 2012; 22: 1366–1371
- [23] Karlsberg RP, Dohad SY, Sheng R et al. Contrast medium-induced acute kidney injury: comparison of intravenous and intraarterial administration of iodinated contrast medium. *J Vasc Interv Radiol* 2011; 22: 1159–1165. doi:10.1016/j.jvir.2011.03.020
- [24] Kooiman J, Le Haen PA, Gezgin G et al. Contrast-induced acute kidney injury and clinical outcomes after intra-arterial and intravenous contrast administration: risk comparison adjusted for patient characteristics by design. *Am Heart J* 2013; 165: 793–799. doi:10.1016/j.ahj.2013.02.013
- [25] McDonald JS, Leake CB, McDonald RJ et al. Acute Kidney Injury After Intravenous Versus Intra-Arterial Contrast Material Administration in a Paired Cohort. *Invest Radiol* 2016; 51: 804–809. doi:10.1097/RLI.0000000000000298
- [26] Tong GE, Kumar S, Chong KC et al. Risk of contrast-induced nephropathy for patients receiving intravenous vs. intra-arterial iodixanol administration. *Abdom Radiol (NY)* 2016; 41: 91–99. doi:10.1007/s00261-015-0611-9
- [27] Mammen NI, Chacko N, Ganesh G et al. Aspects of hypertension in renal allograft recipients. A study of 1000 live renal transplants. *Br J Urol* 1993; 71: 256–258. doi:10.1111/j.1464-410x.1993.tb15938.x
- [28] Hurst FP, Abbott KC, Neff RT et al. Incidence, predictors and outcomes of transplant renal artery stenosis after kidney transplantation: analysis of USRDS. *American journal of nephrology* 2009; 30: 459–467. doi:10.1159/000242431
- [29] Patel NH, Jindal RM, Wilkin T et al. Renal arterial stenosis in renal allografts: retrospective study of predisposing factors and outcome after percutaneous transluminal angioplasty. *Radiology* 2001; 219: 663–667. doi:10.1148/radiology.219.3.r01jn30663
- [30] Fervenza FC, Lafayette RA, Alfrey EJ et al. Renal artery stenosis in kidney transplants. *American journal of kidney diseases* 1998; 31: 142–148. doi:10.1053/ajkd.1998.v31.pm9428466
- [31] Roberts JP, Ascher NL, Fryd DS et al. Transplant renal artery stenosis. *Transplantation* 1989; 48: 580–583
- [32] Willicombe M, Sandhu B, Brookes P et al. Postanastomotic transplant renal artery stenosis: association with de novo class II donor-specific antibodies. *American Journal of Transplantation* 2014; 14: 133–143. doi:10.1111/ajt.12531
- [33] Ghazanfar A, Tavakoli A, Augustine T et al. Management of transplant renal artery stenosis and its impact on long-term allograft survival: a single-centre experience. *Nephrology Dialysis Transplantation* 2011; 26: 336–343. doi:10.1093/ndt/gfq393
- [34] Seratnahaei A, Shah A, Bodiwala K et al. Management of transplant renal artery stenosis. *Angiology* 2011; 62: 219–224. doi:10.1177/000319710377076
- [35] Nikolic B, Rose SC, Ortiz J et al. Standards of reporting for interventional radiology treatment of renal and pancreatic transplantation complications. *J Vasc Interv Radiol* 2012; 23: 1547–1556. doi:10.1016/j.jvir.2012.09.009
- [36] Rundback JH, Rizvi A, Tomasula J. Percutaneous treatment of transplant renal artery stenosis: techniques and results. *Techniques in Vascular and Interventional Radiology* 1999; 2: 91–97
- [37] Salvadori M, Di Maria L, Rosati A et al. Efficacy and safety of Palmaz stent implantation in the treatment of renal artery stenosis in renal transplantation. *Transplant Proc* 2005; 37: 1047–1048. doi:10.1016/j.transproceed.2004.12.229
- [38] Patel U, Kumar S, Johnson OW et al. Long-term Graft and Patient Survival after Percutaneous Angioplasty or Arterial Stent Placement for Transplant Renal Artery Stenosis: A 21-year Matched Cohort Study. *Radiology* 2019; 290: 555–563. doi:10.1148/radiol.2018181320
- [39] Chen LX, De Mattos A, Bang H et al. Angioplasty vs stent in the treatment of transplant renal artery stenosis. *Clin Transplant* 2018; 32: e13217. doi:10.1111/ctr.13217
- [40] Ngo A, Markar S, De Lijster M et al. A systematic review of outcomes following percutaneous transluminal angioplasty and stenting in the treatment of transplant renal artery stenosis. *Cardiovascular and interventional radiology* 2015; 38: 1573–1588. doi:10.1007/s00270-015-1134-z
- [41] Leertouwer T, Gussenhoven E, Bosch J et al. Stent placement for renal arterial stenosis: where do we stand? A meta-analysis. *Radiology* 2000. doi:10.1148/radiology.216.1.r00jl0778
- [42] Voiculescu A, Schmitz M, Hollenbeck M et al. Management of arterial stenosis affecting kidney graft perfusion: a single-centre study in 53 patients. *American journal of transplantation* 2005; 5: 1731–1738. doi:10.1111/j.1600-6143.2005.00927.x
- [43] Macchini M, Mokrane T, Darcourt J et al. Percutaneous transluminal angioplasty alone versus stent placement for the treatment of transplant renal artery stenosis. *Diagn Interv Imaging* 2019; 100: 493–502. doi:10.1016/j.diii.2019.03.010
- [44] Chang H, Gelb BE, Stewart ZA et al. Safety And Efficacy of Drug Eluting Stents for Treatment of Transplant Renal Artery Stenosis. *Annals of Vascular Surgery* 2022. doi:10.1016/j.avsg.2022.03.033

- [45] Hoffmann R, Mintz GS. Coronary in-stent restenosis – predictors, treatment and prevention. *Eur Heart J* 2000; 21: 1739–1749. doi:10.1053/euhj.2000.2153
- [46] Estrada CC, Musani M, Darras F et al. 5 Years Experience With Drug Eluting and Bare Metal Stents as Primary Intervention in Transplant Renal Artery Stenosis. *Transplant Direct* 2017; 3: e128. doi:10.1097/TXD.0000000000000643
- [47] Bruno S, Remuzzi G, Ruggenenti P. Transplant renal artery stenosis. *J Am Soc Nephrol* 2004; 15: 134–141. doi:10.1097/01.asn.0000099379.61001.f8
- [48] Eufrazio P, Parada B, Moreira P et al. Surgical complications in 2000 renal transplants. *Transplant Proc* 2011; 43: 142–144. doi:10.1016/j.transproceed.2010.12.009
- [49] Grenier N, Claudon M, Trillaud H et al. Noninvasive radiology of vascular complications in renal transplantation. *European radiology* 1997; 7: 385–391. doi:10.1007/s003300050171
- [50] Maleux G, Messiaen T, Stockx L et al. Transcatheter embolization of biopsy-related vascular injuries in renal allografts. Long-term technical, clinical and biochemical results. *Acta Radiol* 2003; 44: 13–17
- [51] Dimitroulis D, Bokos J, Zavos G et al. Vascular complications in renal transplantation: a single-center experience in 1367 renal transplantations and review of the literature. In: *Transplantation proceedings*. Elsevier; 2009: 1609–1614
- [52] Domagala P, Kwiatkowski A, Wszola M et al. Complications of transplantation of kidneys from expanded-criteria donors. In: *Transplantation proceedings*. Elsevier; 2009: 2970–2971
- [53] Wuthrich RP. Factor V Leiden mutation: potential thrombogenic role in renal vein, dialysis graft and transplant vascular thrombosis. *Curr Opin Nephrol Hypertens* 2001; 10: 409–414. doi:10.1097/00041552-200105000-00018
- [54] Parajuli S, Lockridge JB, Langewisch ED et al. Hypercoagulability in Kidney Transplant Recipients. *Transplantation* 2016; 100: 719–726. doi:10.1097/TP.0000000000000887
- [55] Ojo AO, Hanson JA, Wolfe RA et al. Dialysis modality and the risk of allograft thrombosis in adult renal transplant recipients. *Kidney Int* 1999; 55: 1952–1960. doi:10.1046/j.1523-1755.1999.00435.x
- [56] Rouviere O, Berger P, Beziat C et al. Acute thrombosis of renal transplant artery: graft salvage by means of intra-arterial fibrinolysis. *Transplantation* 2002; 73: 403–409. doi:10.1097/00007890-200202150-00014
- [57] Giustacchini P, Pisanti F, Citterio F et al. Renal vein thrombosis after renal transplantation: an important cause of graft loss. In: *Transplantation proceedings*. Elsevier; 2002: 2126–2127