

Embolisation von Typ-2-Endoleaks der Bauchaorta mit Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer

Embolization of Type 2 Endoleaks in the Abdominal Aorta Using Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer

Autoren

Claus Nolte-Ernsting¹, Frank-Peter Mecklenbeck¹, Alexander Stehr²

Institute

- 1 Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Evangelisches Krankenhaus Mülheim an der Ruhr, Mülheim an der Ruhr, Germany
- 2 Gefäßchirurgische Klinik, Evangelisches Krankenhaus Mülheim an der Ruhr, Germany

Key words

aortic aneurysm, endoleak, embolization, ethylene vinyl alcohol copolymer

eingereicht 03.02.2021

akzeptiert 26.04.2021

online publiziert 17.06.2021

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 1426–1435

DOI 10.1055/a-1502-7883

ISSN 1438-9029

© 2021. Thieme. All rights reserved.

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

Korrespondenzadresse

Prof. Claus Nolte-Ernsting

Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Evangelisches Krankenhaus Mülheim, Wertgasse 30, 45468 Mülheim an der Ruhr, Germany

Tel.: +49/2 08/3 09 27 01

Fax: +49/2 08/3 09 27 25

Claus.Nolte-Ernsting@evkmh.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Typ-2-Endoleaks (T2EL) stellen die häufigste Komplikation nach endovaskulärer Implantation einer aortoiliakalen Prothese dar. Es existieren zahlreiche Studien überwiegend zu technischen und klinischen Erfolgen der Embolisation von persistierenden T2EL mit kontroversen Ergebnissen. Jedoch finden sich nur wenige Berichte zum detaillierten Ablauf dieser komplexen interventionellen Prozedur in schwieriger anatomischer Umgebung.

Methode Die vorliegende Übersichtsarbeit legt den Schwerpunkt auf die ausführliche methodische Darstellung und Bewertung des interventionellen Vorgehens bei der Embolisation von T2EL in der Bauchaorta unter Berücksichtigung der

komplizierten anatomischen Gegebenheiten sowie der technischen und klinischen Erfolgsraten. Als Flüssigembolisat wird Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH) verwendet.

Ergebnisse Bei transarteriellem Vorgehen existieren mindestens 4 verschiedene Zugangsmöglichkeiten zum Nidus des T2EL. Alternativ empfiehlt sich eine CT-gesteuerte Direktpunktion des Aneurysmasacks als Methode mit hoher technischer Erfolgsquote. EVOH ermöglicht aufgrund seiner langsamen Aushärtung eine gute Kontrolle, um das Ziel der kompletten Auffüllung des T2EL zu erreichen. Während der Intervention ist es jedoch schwierig, den Embolisationsendpunkt exakt zu treffen, insbesondere bei großen T2EL.

Schlussfolgerung Die Embolisation von T2EL mit EVOH stellt in der Hand erfahrener Interventionalisten mit detaillierten Kenntnissen über diverse komplizierte Zugangsmöglichkeiten eine effektive und komplikationsarme Behandlung dar.

Kernaussagen:

- Viele Wege führen nach Rom, um den Nidus eines T2EL zu erreichen, einschließlich diverser komplexer transarterieller Zugangspfade und der Direktpunktion des Aneurysmasacks.
- Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer ermöglicht eine kontrollierte, langsame Auffüllung des Nidus bei niedrigem Risiko für Major-Komplikationen.
- Die Identifikation des Embolisationsendpunktes während der Prozedur ist schwierig und kann Sekundärinterventionen zur Folge haben.
- Die erfolgreiche Embolisation eines T2EL erfordert detaillierte Kenntnisse über alle Zugangsmöglichkeiten zum Nidus sowie Erfahrung und Geschick im Umgang mit Flüssigembolisaten.

Zitierweise

- Nolte-Ernsting C, Mecklenbeck F, Stehr A. Embolization of Type 2 Endoleaks in the Abdominal Aorta Using Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer. Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 1426–1435

ABSTRACT

Background Type 2 endoleaks (T2EL) are the most frequent complication following endovascular aortic repair. Multiple studies primarily deal with the technical and clinical success of the embolization of persisting T2EL, thereby revealing con-

troversial outcomes. Current reports rarely focus on the detailed execution of such a complex interventional procedure with respect to the difficult anatomic setting.

Methods The present review provides an in-depth depiction and evaluation of the interventional methodology of the embolization of T2EL in the abdominal aorta with use of ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH). Complicating anatomic conditions are taken into account as well as technical and clinical success rates.

Results Using the transarterial approach, there are at least 4 different pathways to access the nidus of a T2EL. CT-guided

direct puncture of the aneurysm sac provides an alternative method of high technical success. EVOH with its slow solidification characteristics enables good control to achieve complete filling of the T2EL. During the intervention, however, it remains difficult to meet exactly the embolization endpoint, especially in large T2ELs.

Conclusion T2EL embolization using EVOH is an effective treatment with low major complication rates when conducted by skilled interventionists with detailed knowledge of diverse complex access routes.

Einleitung

Typ-2-Endoleaks (T2EL) entstehen durch Rückstrom von Blut über aortale Seitenäste in den durch eine endovaskuläre Aortenprothese überbrückten Aneurysmasack (Endovascular Aortic Repair, EVAR) bei intakter Verankerung und Ummantelung der Prothese [1]. In einer Metaanalyse mit über 36 000 Fällen liegt die Prävalenz von T2EL gepoolt bei 22 % [2]. Muss jedes T2EL embolisiert werden? Nach heutigem Kenntnisstand ganz sicher nicht, denn ca. 50 % der T2EL thrombosieren spontan innerhalb der ersten Wochen und Monate nach EVAR [1, 3]. Als Prädiktoren für die Persistenz eines T2EL gelten insbesondere Anzahl und Durchmesser (>2,5 mm) der offenen aortalen Seitenäste, meistens der Lumbalarterien und der A. mesenterica inferior (AMI) [4–8]. Bilden sich T2EL nicht zurück, so sind die Therapieempfehlungen uneinheitlich; das Spektrum reicht von rein konservativ bis aggressiv. In den Leitlinien der Fachgesellschaften wird eine Behandlung von persistierenden T2EL nur bei Zunahme des Aneurysmadurchmessers empfohlen [1, 9–11]. Als Schwellenwert für die Indikation zur Embolisation von T2EL wird in zahlreichen aktuellen Publikationen ein Wachstum des Aneurysmas von >5 mm in 6–12 Monaten angesehen [1, 12–18]. Aneurysmarupturen sind bei T2EL zwar sehr selten, aber wegen ihrer hohen Mortalität vorausschauend unbedingt zu verhindern. Der Anteil der aufgrund eines T2EL durchgeführten Interventionen wird mit 22 % innerhalb von 5 Jahren beziffert [19]. Die Indikation zur Embolisation eines T2EL sollte interdisziplinär im Rahmen einer Gefäßzentrumskonferenz gestellt werden. Im Falle einer therapeutischen Notwendigkeit führen viele Wege nach Rom. Etabliert sind 2 Zugangsalternativen zur Endoleakhöhle, zum einen die transarterielle Mikrokathetersondierung, zum anderen die perkutane Direktpunktion des Aneurysmasacks. Die alleinige Spiralembolisation eines T2EL erweist sich aufgrund hoher Rekanalisationsraten oft als ineffektiv [20–22]. Die am häufigsten bei T2EL verwendeten Flüssigembolisate sind N-Butyl-Cyanoacrylat (NBCA) und Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH). Die aktuellen Ergebnisse, die mit NBCA bei T2EL erzielt wurden, sind bei Rezidivraten von bis zu 71 % ernüchternd, selbst in Kombination mit Spiralen [22, 23]. Zunehmend findet EVOH Anwendung in der Behandlung von T2EL [24]. EVOH ist deutlich teurer als NBCA, bietet aber speziell für die Embolisation von Endoleaks eine Reihe von Vorzügen. Der Schwerpunkt der vorliegenden Übersichtsarbeit zur Embolisation von T2EL liegt

insbesondere auf Seiten des praktischen interventionellen Vorgehens unter Verwendung von EVOH. Unser zentrales Anliegen ist die Erörterung und Bewertung zahlreicher Prozedurdetails, die für die Bewältigung dieser komplexen Embolisation in schwieriger Anatomie zu beachten sind.

Anatomische Merkmale von T2EL

Die intraaortale Kavität eines Endoleaks wird als Nidus bezeichnet. Der Nidus gilt quasi als Verteilerstation und hat Verbindung zu den afferenten und efferenten Versorgerarterien des T2EL (► **Abb. 1**). Prinzipiell kommen alle Seitenäste der Bauchaorta als Zu- und Ausflussgefäße in Betracht. Infrarenal sind am häufigsten die AMI und die Lumbalarterien L4 und L3 involviert, aber auch die A. sacralis mediana (ASM), akzessorische Nierenarterien und die A. testicularis/ovarica. Nicht selten hat ein Lumbalarterienpaar ein gemeinsames aortales Ostium, auf Höhe L4 auch zusammen mit der ASM (► **Abb. 1**). Selbst über Vasa vasorum der Aortenwand kann ein T2EL gespeist werden [25]. Ferner ist es möglich, dass im Aneurysmasack mehr als 1 Nidus mit jeweils separatem Versorgungskreislauf vorliegt [13]. Im Übrigen stellen akzessorische Nierenarterien einen starken Trigger für die Entstehung und Persistenz eines Endoleaks dar. Voraussetzung ist, dass eine akzessorische Nierenarterie aus dem Aneurysmasack entspringt und dabei nicht durch eine enganliegende Prothesenwand überdeckt wird. Dabei fungiert eine akzessorische Nierenarterie stets als Ausstromgefäß für das Endoleak. In der CT/MRT-Diagnostik findet sich eine charakteristische Kontrastmitteldynamik im abhängigen Nierenparenchym (► **Abb. 2**).

Interventionsziel

Ziel der Behandlung eines T2EL ist die Flussaussschaltung innerhalb der Endoleakhöhle mit Druckentlastung des Aneurysmasacks. Als Ausdruck des technischen Interventionserfolges beinhaltet der Embolisationsendpunkt eine Auffüllung des Nidus mit Embolisat, wobei idealerweise alle beteiligten Seitenäste mit blockiert werden [17, 26, 27]. Der klinische Erfolg ist dann gegeben, wenn das Aneurysma bei postinterventionellen Kontrollen nicht weiterwächst oder schrumpft; was die Persistenz eines kleinen residuellen T2EL nicht grundsätzlich ausschließt [26].

► **Tab. 1** Beispiele für ein Instrumentarium, das wir in unserer Institution speziell bei der Embolisation von T2EL verwenden.

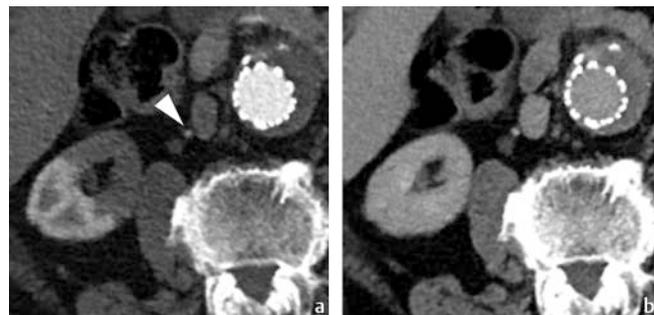
Position	Product	Name	Caliber	Length	Manufacturer
1	Catheter	Non-taper Angle Type T90	5-F	65 cm	Terumo Europe, Belgium
2	Microcatheter	Rebar-18	2,4-F	153 cm	ev3/Medtronic, USA
3	Microcatheter	Echelon-14	1,9-F	150 cm	ev3/Medtronic, USA
4	Microcatheter	Apollo	1,5-F	165 cm	ev3/Medtronic, USA
5	Guidewire	Radiofocus Guide Wire M	0,032-inch	150 cm	Terumo Europe, Belgium
6	Guidewire	Radiofocus Guide Wire M	0,016-inch	150 cm	Terumo Europe, Belgium
7	Guidewire	Fathom-14	0,014-inch	200 cm	Boston Scientific, USA
8	Guidewire	Transend	0,014-inch	190 cm	Boston Scientific, USA
9	Guidewire	Mirage	0,008-inch	200 cm	ev3/Medtronic, USA
10	Puncture Needle	Kellett Drainage Access Catheter Needle	19-G/5-F	20 cm	Cook, USA
11	Microcoil	Figure 8–18	0,018-inch	2 × 5 mm	Boston Scientific, USA



► **Abb. 1** Angiografische Darstellung des Nidus eines T2EL (Pfeilspitzen). Sichtbare Versorger sind die AMI (1), die L4-Arterien links (2) und rechts (3) sowie die ASM (4). Die L4-Arterien und die ASM entspringen mit einem gemeinsamen aortalen Ostium.

EVOH als Flüssigembolisat für T2EL

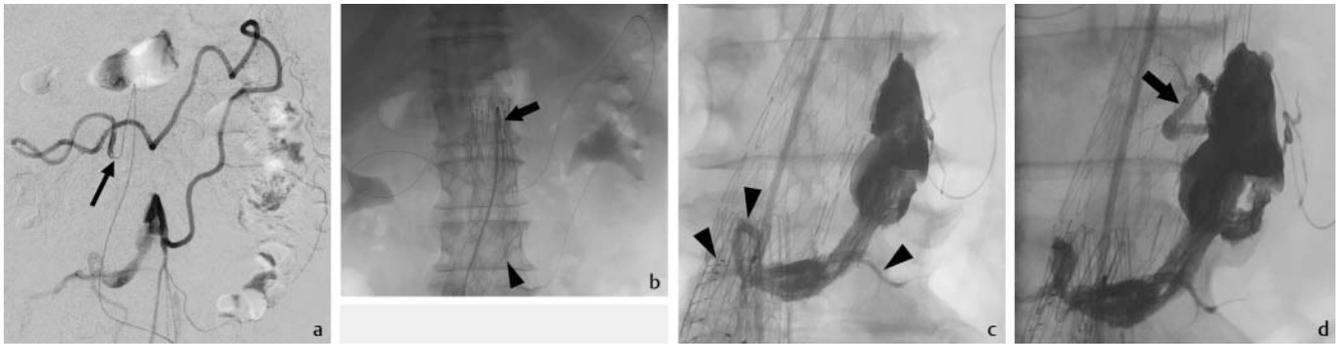
EVOH (Onyx; ev3/Medtronic, USA) ist mit dem Lösungsmittel Dimethylsulfoxid (DMSO) versehen und durch Zusatz von Tantal-Puder fluoroskopisch gut sichtbar. EVOH ist in verschiedenen Viskositätsstufen verfügbar: Onyx 18 (6% EVOH), Onyx 20 (6,5% EVOH) und das visköseren Onyx 34 (8% EVOH). Unmittelbar vor der Anwendung wird EVOH für mindestens 20 min im Schüttler vorbereitet. EVOH muss über einen DMSO-kompatiblen Mikrokathe- ter (► **Tab. 1**) injiziert werden, dessen Totraumvolumen vor der ersten Anwendung mit DMSO aufgefüllt werden muss [28, 29]. Anders als NBCA ist EVOH nicht adhäsiv und verklebt nicht inner-



► **Abb. 2** CT bei einem 86-jährigen Patienten mit einem T2EL. **a** Die renale Kontrastmittelanflutung über eine akzessorische Nierenarterie (Pfeilspitze) aus einem T2EL ist typischerweise verzögert. Dadurch entsteht ein Anreicherungsmuster, das in der frühen Phase einen segmentalen Niereninfarkt vortäuscht. **b** Erst in der Spätphase zeigt das abhängige Parenchymsegment einen entsprechenden Kontrastausgleich.

halb von wenigen Sekunden nach der Injektion. EVOH bietet für die Embolisation von T2EL den großen Vorteil, dass die Aushärtung langsam in ca. 5 min von außen nach innen erfolgt und damit eine kontrollierte Verteilung des Embolisats im Zielgebiet ermöglicht wird [28, 29]. Dabei baut sich allmählich ein Konglomerat aus EVOH („Cast“) auf. Die Verwendung eines Mikrokathe- ters mit ablösbare Spitze begünstigt die Entfernung aus dem verfestigten EVOH-Cast (► **Tab. 1**, Position 4).

Charakteristisch bei Verwendung von EVOH ist ein ausgeprägter lokaler Injektionsschmerz hervorgerufen durch DMSO. Die Schmerzen treten z. B. auf, wenn Anteile des Embolisats über lumbale Seitenäste aus dem Aneurysmasack austreten. Nach kurzer Injektionspause sind die Schmerzen schnell rückläufig. Hilfreich ist eine begleitende i. v.-Analgesie; eine Kurznarkose ist selten erforderlich. Eine weitere Besonderheit ist, dass Metaboliten des DMSO einen knoblauchartigen Mund- und Körpergeruch für etwa 2 Tage Dauer verursachen [28, 29].



► **Abb. 3** Transarterieller Zugang zum T2EL bei einem 59-jährigen Patienten über die Route AMS – A. colica media – Riolan'sche Anastomose – A. colica sinistra – AMI. **a** Ein 5-F-Gleitkatheter mit rechtwinkliger Spitze ist im Ostium der A. colica media positioniert (Pfeil). **b** Zur Stabilisierung des langen Sondierungswegs befindet sich eine ringverstärkte 5-F-Schleuse im Abgang der A. mesenterica superior (Pfeil). Die Spitze des Mikrodrahtes befindet sich innerhalb des T2EL (Pfeilspitze). **c** Auffüllung des Nidus und der angiografisch bekannten Versorgerarterien (Pfeilspitzen) mit EVOH. Ist damit der Embolisationsendpunkt erreicht? **d** Nein, denn erst anschließend verteilt sich EVOH in unerwarteter Weise auch in die linke L3-Arterie hinein (Pfeil), die neben der AMI eine weitere Afferenz darstellt.

Die oben aufgeführten herkömmlichen Onyx-Formulierungen sind aufgrund ihres Tantal-Anteils sehr röntgendicht und verursachen auf CT-Bildern starke Artefakte, die die Beurteilbarkeit des Aneurysmas deutlich einschränken [29, 30]. Eine herstellerseitige Weiterentwicklung berücksichtigt eine geringere Tantal-Konzentration (Onyx 34 L LES), wodurch weniger Bildartefakte induziert werden [30]. Anders als bei der CT treten bei Sonografie und MRT kaum störende Bildartefakte durch EVOH auf. In der Endoleak-Diagnostik ist die MRT ohnehin deutlich sensitiver als die CT [31], insofern ist die MRT auch für Verlaufskontrollen nach Embolisation mit EVOH gut geeignet, sofern die Prothese MR-kompatibel ist. Häufig wird auch die kontrastangehobene Sonografie (CEUS) in der T2EL-Diagnostik eingesetzt. Eine Metaanalyse konnte gegenüber der CT keine diagnostischen Nachteile des CEUS feststellen, wobei jedoch Daten nach EVOH-Embolisation in dieser Analyse nicht enthalten waren [32].

Mittlerweile existieren alternative Flüssigembolisate (Squid peri; Emboflu, Schweiz/Phil; Microvention, USA) mit ähnlichen bzw. optimierten Charakteristiken bezüglich Applikation und Bildgebung, jedoch mit bislang sehr limitierter Datenlage bei T2EL. Unsere eigenen Erfahrungen bei der Embolisation von T2EL beruhen allesamt auf der Anwendung von Onyx.

Allen modernen Flüssigembolisaten gemein und keinesfalls an letzter Stelle zu nennen sind die hohen Kosten dieser Substanzen. Ferner stellt der Einsatz von EVOH innerhalb des Aortenlumens bei einigen Produkten eine „Off-Label“-Anwendung dar, was im Aufklärungsgespräch zu berücksichtigen ist.

Zugangswege zum T2EL

Transarterieller Zugang

Eine im Vorfeld durchgeführte CT-Angiografie identifiziert die Versorgerarterien des T2EL und ist hilfreich für die anfängliche Planung einer Wegstrecke zum Endoleak. Der Eingriff wird meistens in Lokalanästhesie über einen transfemorale 4-F- oder 5-F-Zugang durchgeführt. Es existieren 4 potenzielle Zugangsarterien zum Aneurysmasack: die AMI, die L4-Lumbalarterien beidseits

und die ASM. Eine superselektive Sondierung von Lumbalarterien oberhalb von L4 ist in den meisten Fällen nicht möglich. Mikrokatheter werden über einen äußeren Führungskatheter mit 0,038 inch Innenlumen koaxial eingebracht. Wir verwenden Mikrokatheter der Größe 1,5-F–2,4-F und Führungsdrähte von 0,008 inch–0,016 inch Stärke (► **Tab. 1**). Je nach Länge des Außenkatheters und auch bei langem transarteriellem Sondierungsweg (► **Abb. 3**) sollte eine Mikrokatheterlänge von mindestens 150 cm gewählt werden. Vor Sondierungsbeginn empfiehlt sich eine selektive intraarterielle Spasmolyse, z. B. mit Glycerolnitrat. Während der Mikrokathetersondierung wird die Wegstrecke zum Endoleak wiederholt angiografisch dargestellt. Dabei kann es möglich sein, dass sich der Nidus nicht kontrastiert, insbesondere dann, wenn der Weg zum Endoleak über einen efferenten Seitenast erfolgt.

a) Zugang über die A. mesenterica inferior:

Die Sondierung erfolgt über die A. mesenterica superior in die A. colica media, dann über die Riolan'sche Anastomose in die A. colica sinistra und von dort aus in die AMI (► **Abb. 3**). Wegen der Länge des Weges ist die Verwendung einer langen ringverstärkten Schleuse hilfreich, die mit ihrer Spitze bis vor oder in den Abgang der A. mesenterica superior eingeführt werden kann. Für die Sondierung des rechtwinkligen Ursprungs der A. colica media bevorzugen wir einen 5-F-Gleitkatheter mit kurzer, 90-Grad-angulierter Spitze (► **Tab. 1**, Position 1). Wenn es im nächsten Schritt möglich ist, einen geraden 4-F-Gleitkatheter in die A. colica media einzuwechseln, so bietet dies einen noch besseren koaxialen Vorschub für den Mikrokatheter bis zur AMI.

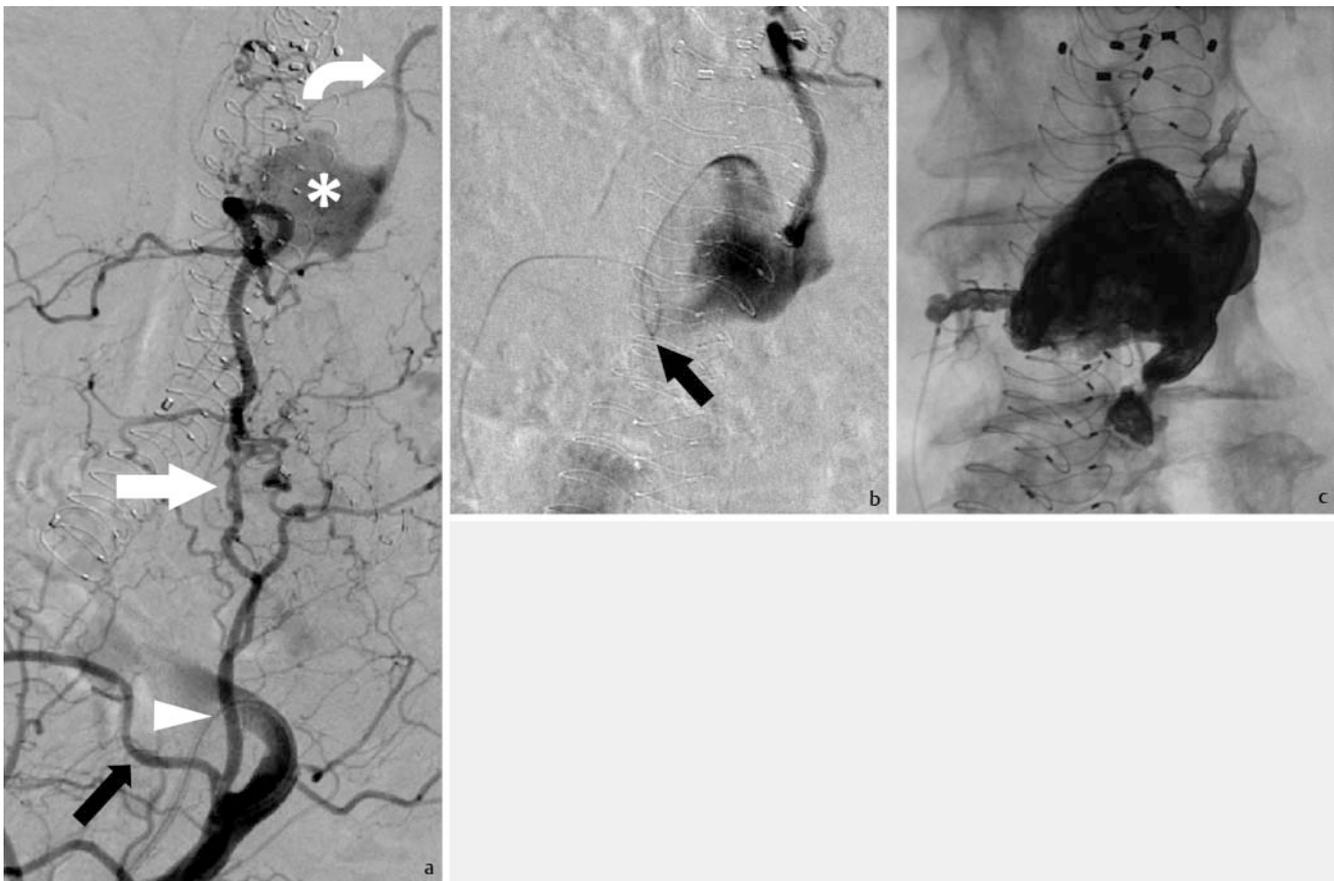
b) Zugang über Lumbalarterien:

Die L4-Lumbalarterien werden über die jeweils gleichseitige A. iliaca interna erreicht. Dabei stellt die A. iliolumbalis eine für die Mikrokathetersondierung wichtige Anastomose zwischen A. iliaca interna und der L4-Arterie her. In der Ausgangs-CT lässt sich die A. iliolumbalis meistens beurteilen (► **Abb. 4**). So kann die geeignete Seite für den Zugang zum Endoleak im Vorfeld festgelegt werden. Wegen der einliegenden aortobii-liakalen Stentprothese ist ein Crossover-Zugang zur A. iliaca interna nicht möglich. Für die ipsilaterale Sondierung der A.

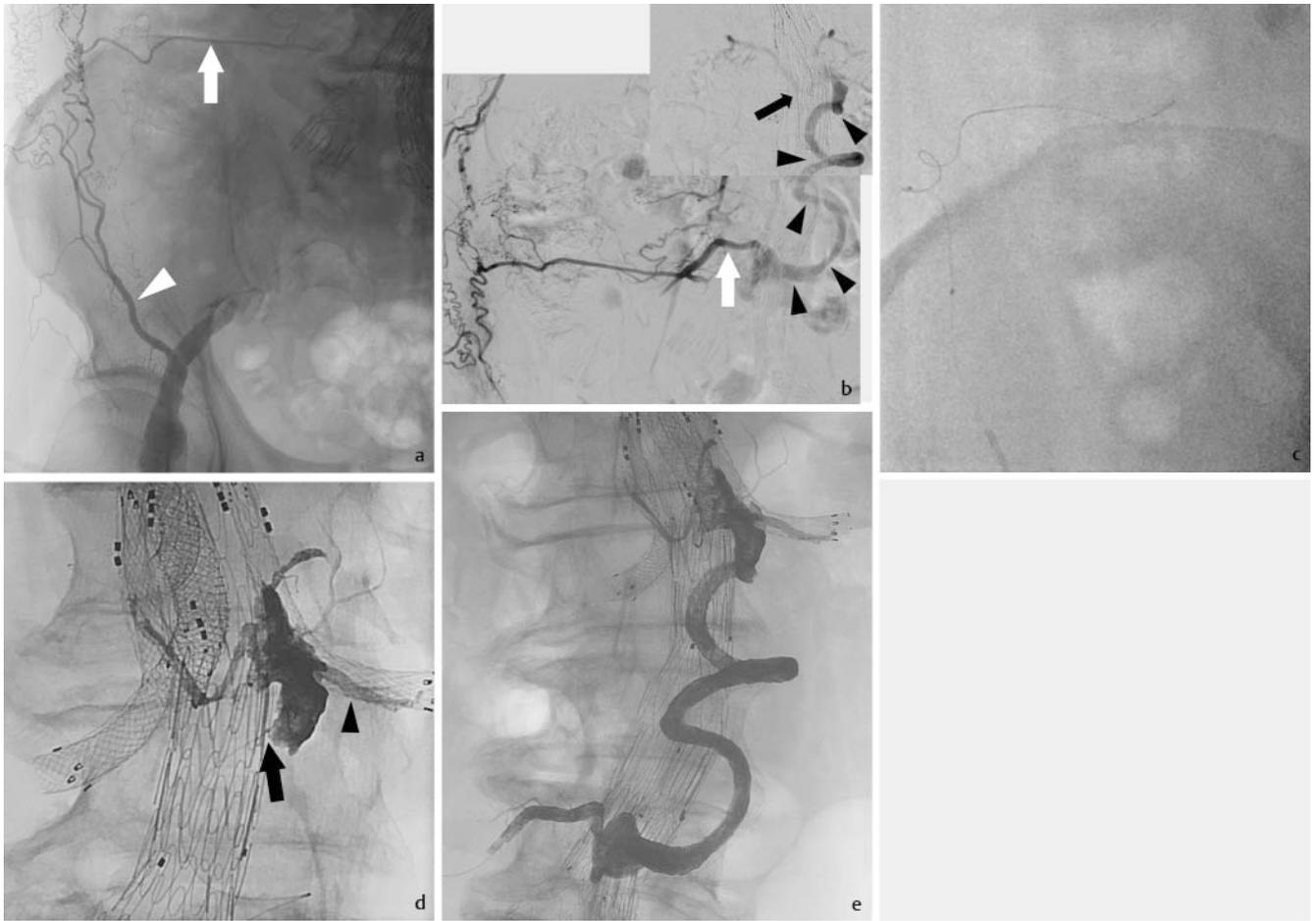


► **Abb. 4** Typische Lokalisationen des Ramus lumbalis der A. iliolumbalis beidseits (Pfeile) und der A. sacralis mediana (Pfeilspitze) im CT-Bild.

iliaca interna verwenden wir ebenfalls einen 5-F-Gleitkatheter mit kurzer rechtwinkliger Spitze. Der weiche Gleitkatheter lässt sich vorzugsweise über einen 0,032inch hydrophilen Führungsdraht (► **Tab. 1**) spannungsfrei in die A. iliaca interna einführen und von dort aus im Abgang der A. iliolumbalis platzieren (► **Abb. 5**). Die anschließende koaxiale Mikrokathetersondierung bis in den Nidus hinein gestaltet sich oft zeitaufwendig. Unter angiografischen Kontrollen und i. a.-Spasmolyse wird der Mikrokatheter durch den Ramus lumbalis der A. iliolumbalis und ein nachfolgendes schmalkalibriges Rete schrittweise bis in die L4-Arterie aufwärts geführt (► **Abb. 5**). Auf dem Weg zum Ziel müssen mitunter mehrmals unterschiedliche Mikrodrähte eingewechselt werden (► **Tab. 1**). Sollte die Sondierung über die A. iliolumbalis nicht möglich sein, so kann eine Alternativroute über die A. circumflexa ilium profunda im Einzelfall dennoch einen Zugang zur L4-Arterie ermöglichen (► **Abb. 6**).



► **Abb. 5** Transarterieller Zugang zum T2EL über die rechte A. iliolumbalis bei einer 72-jährigen Patientin. **a** Angiografisch (LAO 20°) kontrastiert sich das T2EL (Asterisk) mit einer linksseitigen Lumbalarterie als Abflussgefäß (gebogener Pfeil). Die A. iliolumbalis teilt sich gewöhnlich in einen R. iliacus (schwarzer Pfeil) und einen R. lumbalis (Pfeilspitze). Letzterer anastomosiert häufig über ein schwer zu sondierendes, geschlängeltes Rete (weißer Pfeil) mit der L4-Arterie. **b** Unmittelbar vor ihrem aortalen Ostium (RAO 15°) beschreibt die Lumbalarterie nicht selten einen Looping (Pfeil), der ein zusätzliches Hindernis kurz vor dem Ziel darstellt. **c** Abschließender EVOH-Cast aus 9 ml Onyx.



► **Abb. 6** **a** Seltene Alternativroute zum T2EL bei einem 77-jährigen Patienten über die rechte A. circumflexa ilium profunda (Pfeilspitze) entlang der Crista iliaca (Pfeil). **b** Anastomose mit der L4-Arterie (weißer Pfeil) und einem spiralförmigen Nidus (Pfeilspitzen) bis hoch zu 3 Ausflussgefäßen auf Höhe L1 (schwarzer Pfeil). **c** Besondere Herausforderung ist die Sondierung des kornenzieherartigen Gefäßverlaufs mit einem 0,008inch-Mikrodraht. **d** Der Mikrokatheter lässt sich bis zum kranialen Ende des T2EL vorführen (Pfeil). Dort Beginn der EVOH-Injektion mit Verteilung bis in beide L1-Arterien und eine linksseitige akzessorische Nierenarterie (Pfeilspitze). **e** Im Rückzugsverfahren vollständige Auffüllung des Nidus mit 11 ml Onyx über eine Dauer von 60 min.

c) Zugang über die A. sacralis mediana:

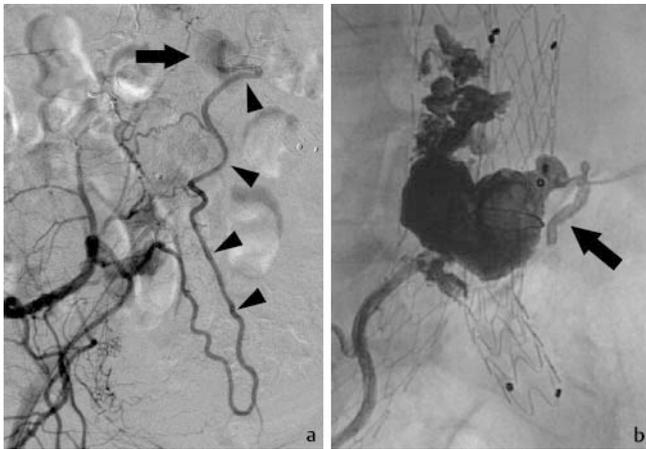
Ob die ASM als Zugang zum Endoleak geeignet ist, lässt sich ebenfalls anhand der Ausgangs-CT abschätzen (► **Abb. 4**). Die ASM wird auf beiden Seiten über mehrere Queranastomosen aus der A. iliaca interna gespeist. Angiografisch stellt sich der Zugangsweg zum Endoleak über die ASM oft in Form einer Haarnadelkurve dar (► **Abb. 7**). Ihre Sondierung ist nicht minder diffizil, verläuft prinzipiell aber gleichartig wie unter b) beschrieben.

Mitunter wird es im Verlauf der Intervention erforderlich, dass mehrere arterielle Zugangsvarianten sondiert werden müssen, gegebenenfalls auch unter Punktion der Leistenarterien auf beiden Seiten.

Perkutane Direktpunktion

Die perkutane Direktpunktion des Aneurysmasacks mit einer Feinnadel kann unter kontrastangehobener CT-Bildgebung sehr exakt durchgeführt werden. Weniger etabliert ist eine sonografi-

sche oder rein fluoroskopische Punktion. Der Nidus ist keinesfalls immer gut von außen zugänglich, vor allem dann, wenn der Aneurysmasack von Organstrukturen umgeben wird, die es zu schonen gilt. Die Direktpunktion erfolgt je nach anatomischer Ausgangssituation translumbal in Bauchlage oder seltener transabdominal in Rückenlage. Ziel ist es, die Spitze der Punktionsnadel sicher innerhalb des Nidus zu positionieren, nicht jedoch im Thrombussaum des Aneurysmasacks (► **Abb. 8**). Zur Punktion der Aortenwand bevorzugen wir eine 19G-Koaxialnadel mit einer 20 cm langen 5-F-Kunststoffhülse (► **Tab. 1**, Position 10). Der spontane Blutaustritt über die Punktionsnadel belegt ihre erfolgreiche Platzierung im Nidus. Die Hülse wird CT-gesteuert über einen 0,035inch-Führungsdraht in den Nidus eingeführt. Die nachfolgenden Interventionsschritte erfolgen in der Angiografie. Zunächst wird eine Schleuse retroperitoneal bis vor die Aortenwand eingeführt und mittels Naht an der Haut fixiert. Die Schleuse ermöglicht ein Einwechseln von Selektivkathetern (z. B. Judkins R) in den Aneurysmasack zur Sondierung des Nidus in unterschiedlichen Richtungen. Hierdurch wird gewährleistet, dass der Mikrokatheter auch bei komplexen T2EL unter fluoroskopischer Sicht bis in die Winkel



► **Abb. 7** Transarterieller Zugang zum T2EL über die A. sacralis mediana bei einer 76-jährigen Patientin. Zuvor war ein Embolisationsversuch über die A. iliolumbalis nicht erfolgreich. **a** Das Angiogramm über die rechte A. iliaca interna zeigt eine haarnadelkurvenartige Anastomose zur ASM (Pfeilspitzen), die das T2EL (Pfeil) speist. **b** Nach Injektion von 9 ml Onyx in den Nidus wird auch der Abgang der AMI mit EVOH blockiert (Pfeil).

der Endoleakhöhle hineindirigiert werden kann (► **Abb. 8**). Für die Katheteraktionen innerhalb des Aneurysmasacks ist die Kenntnis der Punktionsstelle der Aortenwand eine Orientierungshilfe, um den Zugang zum Aneurysmasack nicht zu verlieren. Damit die Punktionsstelle für die Fluoroskopie sichtbar wird, platzieren wir im Rahmen der CT-Punktion anfangs einen einzelnen Coil (► **Tab. 1**) über die Punktionsnadel direkt an der Aortenwand (► **Abb. 9**).

Nachteilig bei der Direktpunktion ist, dass der Patient vom Computertomografen mit liegendem perkutan-aortalem Zugang in das Katheterlabor transportiert werden muss. Daher empfiehlt sich eine Durchführung in Narkose. Eine Alternative, die eine aufwendige Patientenumlagerung nicht erfordert, bieten hybride CT-/C-Bogen-Kombinationen sowie moderne Angiografieanlagen mit rotierendem C-Arm und integrierter „Cone-Beam“-CT-Option [33, 34].

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle noch auf alternative, jedoch selten indizierte Zugangswege zum Endoleak verwiesen: transcavalärer Zugang [35–37], Peri- und Transgraft-Zugänge [38, 39] und transossärer Zugang [40].

Applikation von EVOH im T2EL

Ist das Endoleak erst einmal erreicht, ist der Grundstein für eine erfolgreiche fluoroskopische Applikation des Embolisats gelegt. Für eine möglichst vollständige Auffüllung des T2EL mit EVOH ist es ratsam, den Mikrokatheter anfangs tief in den Nidus einzuführen und in seinem Randbereich mit der EVOH-Applikation zu beginnen (► **Abb. 6, 8**). Bei langsam anwachsendem Cast wird die Mikrokatheterspitze dann schrittweise zurückgezogen und der Nidus allmählich aufgefüllt. Im Falle einer EVOH-Ausbreitung in unerwünschte Richtung kann die Injektion pausiert werden, um nach teilweiser Aushärtung die weitere EVOH-Verteilung in eine andere Richtung zu begünstigen. Bei anwachsendem EVOH-

Cast lässt sich die Mikrokatheterspitze mitunter nur noch schwer identifizieren, und im Falle eines großvolumigen Nidus dauert die EVOH-Applikation nicht selten länger als 1 Stunde. In der Realität ist es während der Prozedur oftmals schwer zu erkennen, ob der Embolisationsendpunkt optimal getroffen worden ist. Das gilt vor allem für große T2EL. Einziger fluoroskopischer Anhaltspunkt für eine effektive Füllung des Nidus ist ein langsam kontrolliertes Eindringen von EVOH bis in die Abgänge der involvierten Seitenäste (► **Abb. 3c, d**). In Direktpunktionstechnik kann zudem eine abschließende EVOH-Injektion bis zur Coil-markierten Punktionsstelle in der Aortenwand durchgeführt werden.

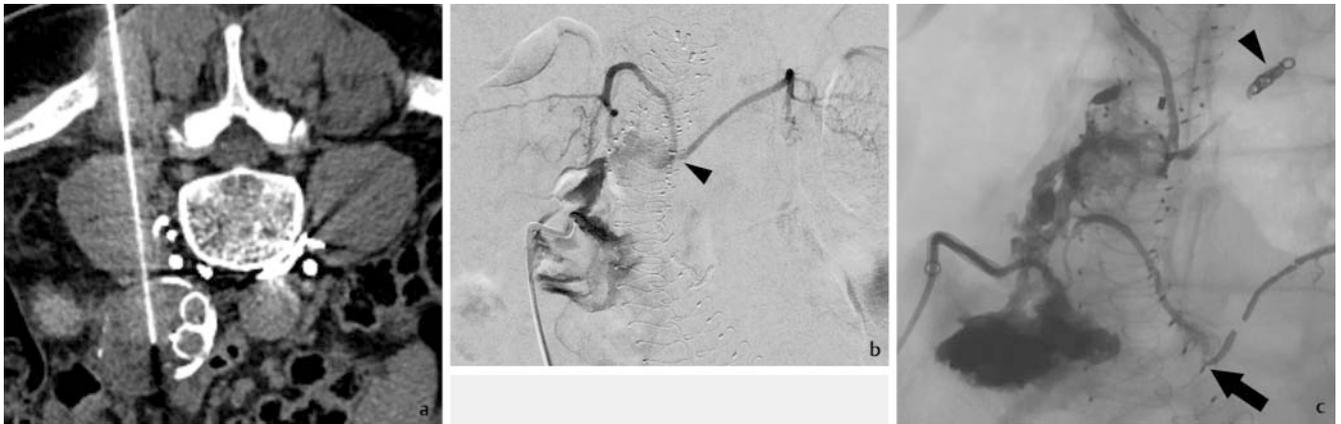
Bei transarterieller Vorgehensweise gelingt es nicht immer, den Mikrokatheter innerhalb des Nidus zu platzieren. Dann ist es sinnvoll, nach unseren Erfahrungen aber weniger effektiv, wenn alternativ versucht wird, EVOH von außerhalb des Aneurysmasacks über eine zuführende Arterie in den Nidus hineinzutreiben. Hierzu eignet sich die von Wohlgemuth et al. entwickelte „Plug-and-Push-Technik“ mit dem weniger viskösen Onyx 18 [27, 29]. Auf keinen Fall ausreichend ist die alleinige Embolisierung von einzelnen Seitenästen unter Aussparung des Nidus.

EVOH kann als Monoembolisat verwendet werden [26] oder in Kombination mit Spiralen [41, 42]. Dabei ist zu beachten, dass der Mikrokatheter nach Kontakt mit EVOH für Spiralen nicht mehr durchgängig ist. Der Einsatz von Mikrospiralen mit Durchmessern von 2–5 mm eignet sich, um die Seitenäste des T2EL punktgenau zu verschließen (► **Abb. 8**). Eine Mikrokathetersondierung aller Gefäßabgänge aus dem Lumen des Endoleaks heraus ist jedoch oftmals nicht zu realisieren. Bei großvolumigen Endoleaks kann die Auskleidung des Nidus mit Volumencoils hilfreich sein, um den Verbrauch von EVOH einzusparen.

Technische und Klinische Ergebnisse mit EVOH

Eine Metaanalyse von Jamieson et al. [24] überblickt 12 kleinere Studien mit insgesamt 174 Patienten, von denen allerdings 21 Fälle kein T2EL, sondern Typ-1- oder Typ-3-Endoleaks aufwiesen. Der technische Erfolg der ausgewerteten Studien lag im Mittel bei 96% für die Monotherapie mit EVOH [24]. Dabei wurde technischer Erfolg definiert als fehlender Nachweis eines residuellen Endoleaks auf dem Abschlussangiogramm. Unseres Erachtens ist – unabhängig vom verwendeten Embolisat – eine Abschätzung des technischen Erfolgs während der Prozedur schwierig und allein anhand der Abschlussangiografie kaum möglich. Ob die Embolisierung primär erfolgreich war, sollte direkt postinterventionell ermittelt werden, bei Verwendung von EVOH per Sonografie oder kontrastangehobener MRT.

Der klinische Erfolg einer EVOH-Monoembolisierung wurde in der Metaanalyse von Jamieson et al. mit 79% angegeben [24]. Allerdings war die Definition des klinischen Erfolgs uneinheitlich und umfasste den fehlenden Nachweis eines residuellen Endoleaks und/oder die Feststellung eines konstanten bzw. rückläufigen Aneurysmadurchmessers in CT-Verlaufskontrollen [24]. Auch in späteren Studien fanden sich ähnliche klinische Erfolgsraten bei T2EL, wobei EVOH allein oder in Kombination mit Spiralen verwendet wurde [17, 26, 27, 43]. Retrospektiv schließt eine technisch inkomplette Embolisierung des T2EL mit EVOH einen klini-



► **Abb. 8** a CT-gesteuerte Direktpunktion eines T2EL bei einem 83-jährigen Patienten, bei dem 9 Monate zuvor eine transarterielle Embolisation des L4-Arterienpaares ohne Erreichen des Nidus erfolglos verlief. b Angiografische Darstellung der Endoleakhöhle über einen Selektivkatheter im Aneurysmasack mit Abfluss über das L3-Arterienpaar bei gemeinsamem Ostium (Pfeilspitze). c Zuerst wird die linke L3-Arterie spiralembolisiert (Pfeilspitze), danach wird die rechte L3-Arterie mit EVOH blockiert. Insgesamt werden 13,5 ml Onyx injiziert. Gut zu erkennen ist, dass das früher embolisierte L4-Arterienpaar keine Anbindung an das T2EL aufweist (Pfeil).



► **Abb. 9** a CT-gesteuerte Markierung der Punktionsstelle an der Außenseite des Aneurysmasacks mit einer einzelnen 2mm-Mikrospirale (Pfeilspitze). b Dadurch lässt sich die Punktionsstelle fluoroskopisch in allen Projektionen sicher orten. Die Schleusenspitze befindet sich kurz vor dem Aneurysmasack (Pfeilspitze).

schen Erfolg nicht zwangsläufig aus [26]. Prospektiv sollte man jedoch davon ausgehen, dass der klinische Erfolg umso dauerhafter ausfällt, je gründlicher das T2EL bereits initial embolisiert wird.

Die Embolisierungsergebnisse, die mit NBCA ohne/mit Spiralen bei T2EL publiziert wurden [21–23, 44], sind gegenüber den Daten mit EVOH tendenziell unterlegen. Aktuell berichten Horinouchi et al. über klinische Erfolgsraten mit NBCH und Spiralen von 73 % bzw. 32 % nach 1 bzw. 3 Jahren [22].

Insgesamt zeigen die publizierten Erfolgsraten, dass ein nicht unerheblicher Anteil der T2EL trotz Embolisation persistiert bzw. rezidiert. Unseres Erachtens liegt ein Hauptgrund für den Misserfolg einer Embolisation darin, dass der Embolisierungsendpunkt nicht exakt fluoroskopisch zu erkennen ist. Es kann auch mehr als 1 Nidus mit jeweils separater Perfusion vorliegen, von denen aber nur einer erfolgreich embolisiert worden ist. Ferner können sogar okkulte Typ-1- und Typ-3-Endoleaks ursächlich sein [45]. Nach erstmaliger Embolisation sind bei weiterem Aneurysmawachstum nicht selten Folgeeingriffe erforderlich. Allerdings ist unklar, ob Zweitembolisationen mit EVOH auch tatsächlich den gewünsch-

ten Langzeiterfolg erzielen [26]; hierzu sind weitere Studienergebnisse notwendig.

Welcher Zugangsweg ist besser?

Bisher wird in den publizierten Studien mehrheitlich die transarterielle Embolisation angewendet. Für ein transarterielles Vorgehen spricht, dass die Aortenwand nicht penetriert werden muss, was ein – bisher nicht belegtes – geringeres Prozedurrisiko nahelegt als bei Direktpunktion. Eine aktuelle Metaanalyse beinhaltet 9 Studien, die sich unter Verwendung diverser Embolisate mit dem Vergleich transarterielle Technik (n = 259) versus Direktpunktion (n = 190) auseinandersetzen [46]. Die Autoren der Metaanalyse ermittelten eine signifikant höhere technische Erfolgsrate zugunsten der Direktpunktion (98,7 % versus 84,0 %), während kein signifikanter Unterschied in puncto klinischem Erfolg und Komplikationsrate festzustellen war [46]. Die technische Unterlegenheit der transarteriellen Vorgehensweise lässt sich mit der langstreckigen Sondierung durch ein komplexes arterielles Labyrinth gut begründen. Dadurch ist es schlichtweg nicht immer möglich, dass der Nidus auf arteriellem Wege katheterisiert werden kann. Der hohe Aufwand der arteriellen Sondierung erklärt auch, warum bei Direktpunktionstechnik kürzere Interventions- und Durchleuchtungszeiten festgestellt wurden [47]. Es ist gut vorstellbar, dass bei zunehmender Verfügbarkeit von Angiografieanlagen mit integrierter „Cone-Beam“-CT-Technik die Direktpunktionstechnik an Attraktivität gewinnen wird, insbesondere auch, da solche Systeme mit softwaregestützten Punktionshilfen ausgestattet sind. Welchem Zugangsweg zum T2EL letztendlich aber der Vorzug gegeben wird, hängt nicht zuletzt von der individuellen Präferenz des Interventionalisten ab.

Lokale Komplikationen bei T2EL-Embolisation mit EVOH

Hinsichtlich einer ungezielten Fehlembolisation erweist sich das gut steuerbare Flussverhalten von EVOH als klarer Vorteil gegenüber NBCA. Dennoch muss man sich bewusst sein, dass eine Prallfüllung des Nidus mit EVOH eine Drucksteigerung induzieren kann, die sich bei Abzug des Mikrokatheters aus dem T2EL spontan entlastet und einen ungezielten Abfluss von noch nicht verfestigtem EVOH prinzipiell bis in die Peripherie eines Seitenastes (z. B. AML) verursachen kann. In einer aktuellen Publikation von Mozes et al. lag die EVOH-bezogene Komplikationsrate bei 4 % (n = 85 Patienten) [26]. Lokale Major-Komplikationen sind bei der Embolisation von T2EL mit EVOH nur als Einzelfälle beschrieben [26, 42, 48–50]. Unbedingt zu vermeiden sind eine mesenteriale sowie spinale Ischämie, ferner eine Protheseninfektion, ein Psoas-Hämatom, ein Abszess, eine Spondylodisitis und eine Schädigung des Plexus lumbalis. In einem Fallbericht trat bei Embolisation eines thorakalen T2EL mit EVOH eine wahrscheinlich durch DMSO schmerzinduzierte heftige vasovagale Sofortreaktion mit Kollaps auf [51]. Darüber hinaus kann es nach Direktpunktion zur Extravasation von EVOH in das Retroperitoneum kommen [17, 48]. Eine Aortenruptur ist bisher weder bei transarterieller Embolisation noch bei Direktpunktionstechnik beschrieben [46].

Schlussfolgerungen

Bei Persistenz eines T2EL ist ein Aneurysmawachstum von > 5 mm in 6–12 Monaten eine akzeptierte Behandlungsindikation. Es führen viele Wege nach Rom, um ein T2EL zu embolisieren. Meistens wird ein transarterieller angiografischer Zugang gewählt, bei dem mindestens 4 Alternativrouten in Betracht kommen. Dabei ist anzustreben, den Mikrokatheter bis in den Nidus hinein zu dirigieren, was bei generell schwieriger Gefäßanatomie nicht immer gelingt. Die besseren Erfolgsraten hat wahrscheinlich die CT-gesteuerte Direktpunktion des Nidus mit anschließender fluoroskopischer Embolisation. Behandlungsziel sollte stets eine komplette Embolisation des T2EL sein, nach Möglichkeit mit Erfassung der beteiligten Seitenäste. Ein ideales Embolisat existiert für T2EL nicht. EVOH kommt aufgrund seiner guten Steuerbarkeit den Anforderungen am nächsten. Schwierig bleibt die Identifikation des Embolisationsendpunktes während der Intervention. Entscheidend für den dauerhaften klinischen Erfolg ist eine effektive Drucksenkung, die ein weiteres Wachstum des Aneurysmas verhindert, da ansonsten Folgeeingriffe notwendig werden können. Die Embolisation von T2EL ist von A–Z eine Herausforderung, aber in der Hand erfahrener Interventionalisten eine komplikationsarme Behandlung.

Interessenkonflikt

Prof. Dr. med. Claus Nolte-Ernsting hat 2018 an einem Beratungsgremium der Firma Medtronic teilgenommen.
Privatdozent Dr. med. Alexander Stehr hat innerhalb der vergangenen 3 Jahre Beratertätigkeiten für die Firma Vasutek Terumo durchgeführt.

Literatur

- [1] Rand T, Uberoi R, Cil B et al. Quality improvement guidelines for imaging detection and treatment of endoleaks following endovascular aneurysm repair (EVAR). *Cardiovasc Intervent Radiol* 2013; 36: 25–45
- [2] Guo Q, Du X, Zhao J et al. Prevalence and risk factors of type II endoleaks after endovascular aneurysm repair: A meta-analysis. *PLoS ONE* 2017; 12: e0170600 doi:10.1371/journal.pone.0170600
- [3] Sidloff DA, Gokani V, Stather PW et al. Type II endoleak: conservative management is a safe strategy. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014; 48: 391–399. doi:10.1016/j.ejvs.2014.06.035
- [4] Ward TJ, Cohen S, Patel RS et al. Anatomic risk factors for type-2 endoleak following EVAR: A retrospective review of preoperative CT angiography in 326 patients. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2014; 37: 324–328. doi:10.1007/s00270-013-0646-7
- [5] Fukuda T, Matsuda H, Sanda Y et al. CT findings of risk factors for persistent type II endoleak from inferior mesenteric artery to determine indicators of preoperative IMA embolization. *Ann Vasc Dis* 2014; 7: 274–279. doi:10.3400/avd.oa.14-00008
- [6] Löwenthal D, Herzog L, Rogits B et al. Identification of predictive CT angiographic factors in the development of high-risk type 2 endoleaks after endovascular aneurysm repair in patients with infrarenal aortic aneurysms. *Fortschr Röntgenstr* 2015; 187: 49–55. doi:10.1055/s-0034-1385123
- [7] Seike Y, Matsuda H, Fukuda T et al. The influence of 4 or more patent lumbar arteries on persistent type II endoleak and sac expansion after endovascular aortic repair. *Ann Vasc Surg* 2018; 50: 195–201. doi:10.1016/j.avsg.2017.12.014
- [8] Li B, Montbriand J, Eisenberg N et al. Pre-operative aneurysm thrombus volume, but not density, predicts type 2 endoleak rate following endovascular aneurysm repair. *Ann Vasc Surg* 2019; 57: 98–108. doi:10.1016/j.avsg.2018.09.012
- [9] Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). S3-Leitlinie zu Screening, Diagnostik, Therapie und Nachsorge des Bauchaortenaneurysmas. 07.07.2018. <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/004-014.html>
- [10] Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg* 2018; 67: 2–77.e2. doi:10.1016/j.jvs.2017.10.044
- [11] Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019; 57: 8–93. doi:10.1016/j.ejvs.2018.09.020
- [12] Jones JE, Atkins MD, Brewster DC et al. Persistent type 2 endoleak after endovascular repair of abdominal aortic aneurysm is associated with adverse late outcomes. *J Vasc Surg* 2007; 46: 1–8. doi:10.1016/j.jvs.2007.02.073
- [13] Dudeck O, Schnappauff D, Herzog L et al. Can early computed tomography angiography after endovascular aortic aneurysm repair predict the need for reintervention in patients with type II endoleak? *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015; 38: 45–52. doi:10.1007/s00270-014-0901-6
- [14] Chung R, Morgan RA. Type 2 endoleaks post-EVAR: current evidence for rupture risk, intervention and outcomes of treatment. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015; 38: 507–522. doi:10.1007/s00270-014-0987-x
- [15] Dingemans SA, Jonker FHW, Moll FL et al. Aneurysm sac enlargement after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Ann Vasc Surg* 2016; 31: 229–238. doi:10.1016/j.avsg.2015.08.011
- [16] Moulakakis KG, Klonaris C, Kakisis J et al. Treatment of Type II Endoleak and Aneurysm Expansion after EVAR. *Ann Vasc Surg* 2017; 39: 56–66. doi:10.1016/j.avsg.2016.08.029
- [17] Marcelin C, le Bras Y, Petipierre F et al. Safety and efficacy of embolization using Onyx of persistent type II Endoleaks after abdominal endo-

- vascular aneurysm repair. *Diagn Interv Imaging* 2017; 98: 491–497. doi:10.1016/j.diii.2017.01.003
- [18] Pineda DM, Calligaro KD, Tyagi S et al. Late type II Endoleaks after endovascular aneurysm repair require intervention more frequently than early type II Endoleaks. *J Vasc Surg* 2018; 67: 449–452. doi:10.1016/j.jvs.2017.05.124
- [19] Powell JT, Sweeting MJ, Ulug P. Meta-analysis of individual-patient data from EVAR-1, DREAM, OVER and ACE trials comparing outcomes of endovascular or open repair for abdominal aortic aneurysm over 5 years. *Br J Surg* 2017; 104: 166–178. doi:10.1002/bjs.10430
- [20] Solis MM, Ayerdi J, Babcock GA et al. Mechanism of failure in the treatment of type II Endoleak with percutaneous coil embolization. *J Vasc Surg* 2002; 36: 485–491. doi:10.1067/mva.2002.126542
- [21] Abularrage CJ, Patel VI, Conrad MF et al. Improved results using Onyx glue for the treatment of persistent type 2 endoleak after endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2012; 56: 630–636. doi:10.1016/j.jvs.2012.02.038
- [22] Horinouchi H, Okada T, Yamaguchi M et al. Mid-term outcomes and predictors of transarterial embolization for type II Endoleak after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2020; 43: 696–705. doi:10.1007/s00270-020-02436-2
- [23] Loy LM, Chua JME, Chong TT et al. Type 2 endoleaks: common and hard to eradicate yet benign? *Cardiovasc Intervent Radiol* 2020; 43: 963–970. doi:10.1007/s00270-020-02497-3
- [24] Jamieson RW, Bachoo P, Tambyraja AL. Evidence for ethylene-vinyl-alcohol-copolymer liquid embolic agent as a monotherapy in treatment of Endoleaks. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2016; 51: 810–814. doi:10.1016/j.ejvs.2016.02.015
- [25] Torikai H, Inoue M, Nakatsuka S et al. Imaging findings of atypical type II endoleak through vasa vasorum after abdominal endovascular aneurysm repair. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2018; 41: 186–190. doi:10.1007/s00270-017-1778-y
- [26] Mozes GD, Pather K, Oderich GS et al. Outcomes of Onyx embolization of type II endoleaks after endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg* 2020; 67: 223–231. doi:10.1016/j.avsg.2020.02.013
- [27] Müller-Wille R, Wohlgemuth WA, Heiss P et al. Transarterial embolization of type II endoleaks after EVAR: the role of ethylene vinyl alcohol copolymer (Onyx). *Cardiovasc Intervent Radiol* 2013; 36: 1288–1295. doi:10.1007/s00270-013-0567-5
- [28] Guimaraes M, Wooster M. Onyx (ethylene-vinyl alcohol copolymer) in peripheral applications. *Semin Intervent Radiol* 2011; 28: 350–356. doi:10.1055/s-0031-1284462
- [29] Wohlgemuth WA, Uller W, Müller-Wille R. Flüssigembolisate – Onyx als Problemlöser. *Radiologe* 2013; 53: 223–229. doi:10.1007/s00117-012-2421-1
- [30] Treitl KM, Scherr M, Förth M et al. Reduction of CT beam hardening artefacts of ethylene vinyl alcohol copolymer by variation of the tantalum content: evaluation in a standardized aortic endoleak phantom. *Eur Radiol* 2015; 25: 597–605. doi:10.1007/s00330-014-3438-9
- [31] Pitton MB. Diagnosis and management of endoleaks after endovascular aneurysm repair: role of MRI. *Abdom Imaging* 2006; 31: 339–346. doi:10.1007/s00261-005-0370-0
- [32] Harky A, Zywicka E, Santor G et al. Is contrast-enhanced ultrasound (CEUS) superior to computed tomography angiography (CTA) in detection of endoleaks in post-EVAR patients? A systematic review and meta-analysis. *J Ultrasound* 2019; 22: 65–75. doi:10.1007/s40477-019-00364-7
- [33] Binkert CA, Alencar H, Singh J et al. Translumbar type II endoleak repair using angiographic CT. *J Vasc Intervent Radiol* 2006; 17: 1349–1353. doi:10.1097/01.RVI.0000231966.74734.7D
- [34] Wacker FK, Valdeig S, Raatschen HJ. C-arm CT – an adjunct to DSA for endoleak classification in patients with endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *Fortschr Röntgenstr* 2014; 186: 247–252. doi:10.1055/s-0033-1350500
- [35] Mansueto G, Cenzi D, D'Onofrio M et al. Treatment of type II endoleaks after endovascular repair of abdominal aortic aneurysms: transcaval approach. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2005; 28: 641–645. doi:10.1007/s00270-004-0328-6
- [36] Scali ST, Vlada A, Chang CK et al. Transcaval embolization as an alternative technique for the treatment of type II endoleak after endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2013; 57: 869–874. doi:10.1016/j.jvs.2012.09.021
- [37] Hyatt E, McLaughlin JN, Shah H et al. Transcaval approach for embolization of type II Endoleak following endovascular aortic aneurysm repair. *CVIR Endovasc* 2019; 2: 3 doi:10.1186/s42155-018-0047-8
- [38] Ameli-Renani S, Pavlidis V, Mailli L et al. Transiliac Paraendograft Embolisation of Type 2 Endoleak: An Alternative Approach for Endoleak Management. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2016; 39: 279–283. doi:10.1007/s00270-015-1203-3
- [39] Mewissen MW, Jan MF, Kuten D et al. Laser-Assisted Transgraft Embolization: A Technique for the Treatment of Type II Endoleaks. *J Vasc Interv Radiol* 2017; 28: 1600–1603. doi:10.1016/j.jvir.2017.07.029
- [40] Ogawa Y, Hamaguchi S, Nishimaki H et al. Embolization by Direct Puncture with a Transpedicular Approach Using an Isocenter Puncture (ISOP) Method in a Patient with a Type II Endoleak After Endovascular Aortic Repair (EVAR). *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015; 38: 731–735. doi:10.1007/s00270-015-1065-8
- [41] Massis K, Carson WG 3rd, Rozas A. Treatment of type II endoleaks with ethylene-vinyl-alcohol copolymer (Onyx). *Vasc Endovascular Surg* 2012; 46: 251–257. doi:10.1177/1538574412442401
- [42] Ford CA, Lange BB, Morris CS. Transcatheter embolization of abdominal aortic endograft Endoleaks using onyx and coils: mid-term imaging follow-up. *Journal of Vascular Diagnostics and Interventions* 2017; 5: 15–19
- [43] Wojtaszek M, Wnuk E, Maciag R et al. Improving the results of transarterial embolization of type 2 endoleaks with the embolic polymer Onyx. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne* 2016; 11: 259–267. doi:10.5114/wiitm.2016.64747
- [44] Aziz A, Menias CO, Sanchez LA et al. Outcomes of percutaneous endovascular intervention for type II endoleak with aneurysm expansion. *J Vasc Surg* 2012; 55: 1263–1267. doi:10.1016/j.jvs.2011.10.131
- [45] Madigan MC, Singh MJ, Chaer RA et al. Occult type I or III endoleaks are a common cause of failure of type II endoleak treatment after endovascular aortic repair. *J Vasc Surg* 2019; 69: 432–439. doi:10.1016/j.jvs.2018.04.054
- [46] Guo Q, Zhao J, Ma Y et al. A meta-analysis of translumbar embolization versus transarterial embolization for type II endoleak after endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg* 2020; 71: 1029–1034. e1. doi:10.1016/j.jvs.2019.05.074
- [47] Yang RY, Tan KT, Beecroft JR et al. Direct sac puncture versus transarterial embolization of type II endoleaks: An evaluation and comparison of outcomes. *Vascular* 2017; 25: 227–233. doi:10.1177/1708538116663992
- [48] Khaja MS, Park AW, Swee W et al. Treatment of type II endoleak using Onyx with long-term imaging follow-up. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2014; 37: 613–622. doi:10.1007/s00270-013-0706-z
- [49] Sella DM, Frey GT, Giesbrandt K. Osteomyelitis and Discitis Following Translumbar Repair of a Type II Endoleak. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2016; 39: 458–461. doi:10.1007/s00270-015-1229-6
- [50] Das Gupta J, Rana MA, McGrew P et al. Ischemic lumbosacral plexopathy after extensive Onyx arterial embolization for type 2 endoleak. *J Vasc Interv Radiol* 2019; 30: 619–621. doi:10.1016/j.jvir.2018.09.025
- [51] Wildgruber M, Müller-Wille R, Busch V et al. Severe adverse reaction during DMSO injection for Onyx embolization of a thoracic type II endoleak. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2016; 39: 144–145. doi:10.1007/s00270-015-1187-z