

Interventionelle Behandlungsoptionen bei vaskulären Malformationen

Interventional Therapies of Vascular Malformations

Autoren

René Müller-Wille¹, Moritz Wildgruber², Walter A. Wohlgemuth³

Institute

- 1 Institut für Radiologie, Klinikum Wels-Grieskirchen
- 2 Klinik und Poliklinik für Radiologie, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München
- 3 Universitätsklinik und Poliklinik für Radiologie, Universitätsklinikum Halle

Schlüsselwörter

vaskuläre Malformationen, interventionelle Therapien, Embolisation, Sklerotherapie

Key words

vascular malformations, interventional therapies, embolization, sclerotherapy

Bibliografie

Phlebologie 2022; 51: 137–142

DOI 10.1055/a-1808-2566

ISSN 0939-978X

© 2019, Thieme. All rights reserved.

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

Zitierweise für diesen Artikel Dtsch Med Wochenschr 2019; 144: 1675–1680. DOI: 10.1055/a-0867-5017

Korrespondenzadresse

Primarius Prof. Dr. René Müller-Wille
Klinikum Wels-Grieskirchen
Institut für Radiologie, Grieskirchner Straße 42, 4600 Wels,
Austria
Rene.Mueller-Wille@klinikum-weg.at

ZUSAMMENFASSUNG

Klassifikation von vaskulären Malformationen Während Hämangiome zu den vaskulären Tumoren zählen, sind vaskuläre Malformationen angeboren und bilden sich von selbst

nicht zurück. Sie werden nach der ISSVA-Klassifikation unterschieden.

Indikation zur Therapie Ziele der Therapie von Gefäßmalformationen sind die Linderung der Symptome, der Organerhalt und die Verhinderung von Krankheitsprogress und Komplikationen.

Nichtinvasive Therapieoptionen Die Kompressionstherapie sowie physiotherapeutische Maßnahmen zählen zu den wichtigsten konservativen Therapieoptionen.

Invasive Therapieoptionen Die chirurgische Resektion, die oberflächliche Lasertherapie und die interventionelle Therapie stellen die invasiven Therapieoptionen dar. Für die Behandlung symptomatischer Gefäßmalformationen stehen mittlerweile zahlreiche minimalinvasive interventionelle Verfahren zur Verfügung. Slow-Flow-Malformationen können relativ komplikationsarm mittels perkutaner Sklerotherapie behandelt werden, die zu einem zeitversetzten entzündlichen Verschluss der Läsion führt. Dysplastische Venen wie die Marginalvene können mittels endoluminaler Verfahren erfolgreich verödet werden. Die zumeist Katheter-gesteuerten Embolisationsverfahren mittels Flüssigembolisaten, Plugs und Coils erlauben den Verschluss von Fast-Flow-Gefäßmalformationen.

ABSTRACT

Vascular malformations can appear at any age and in every region of the body. Due to their rare appearance and differences in clinical manifestations the appropriate diagnosis and subsequent classification remains challenging. Once the diagnosis is established, various treatment options exist, requiring an interdisciplinary approach. This review provides an overview over state-of-the-art interventional therapies of vascular malformations.

Stand der Dinge

Vaskuläre Malformationen können in jedem Alter und in jeder Region des Körpers vorkommen. Aufgrund ihrer Seltenheit und klinischen Vielgestaltigkeit bereitet die korrekte diagnostische Einordnung einer Gefäßmalformation mitunter Schwierigkeiten. Ist die Diagnose einmal korrekt gestellt, bieten sich wiederum

verschiedene nichtinvasive und invasive Behandlungsoptionen an. Dazu ist oft eine interdisziplinäre Therapieabstimmung erforderlich. Der folgende Artikel soll einen Überblick über die modernen interventionellen Therapieoptionen bei angeborenen vaskulären Malformationen geben.

► **Tab. 1** ISSVA-Klassifikation vaskuläre Anomalien.

vaskuläre Tumoren	vaskuläre Malformationen		
<ul style="list-style-type: none"> • benigne • lokal aggressiv/Borderline • maligne 	simpel <ul style="list-style-type: none"> • slow-flow <ul style="list-style-type: none"> – kapilläre Malformation (KM) – venöse Malformation (VM) – lymphatische Malformation (LM) • fast-flow <ul style="list-style-type: none"> – arteriovenöse Malformation (AVM) – arteriovenöse Fistel (AF) 	kombiniert	assoziiert mit anderen Anomalien

Klassifikation von vaskulären Malformationen

Vaskuläre Malformationen sind gutartige Gefäßfehlbildungen und gehören zu den Gefäßanomalien [1]. Im Gegensatz zu den vaskulären Tumoren sind vaskuläre Malformationen als Fehlbildungen in der Gefäßentwicklung grundsätzlich angeboren. In der ISSVA-Klassifikation (International Society for Study of Vascular Anomalies) werden einfache vaskuläre Malformationen je nach betroffenem Gefäßabschnitt in kapilläre (KM), venöse (VM), lymphatische (LM) und arteriovenöse (AVM) Malformationen unterschieden [2] (► **Tab. 1**). Ein hilfreiches diagnostisches Kriterium ist die Unterscheidung zwischen vaskulären Malformationen mit langsamem Durchfluss (slow-flow) und schnellem Durchfluss (fast-flow). Kombinationen der verschiedenen einfachen Malformationen sind möglich. Mitunter finden sich noch zusätzliche Anomalien außerhalb des Gefäßsystems wie beispielsweise eine Gewebeproliferation.

Klinische Relevanz

Für die Planung der geeigneten Therapie ist zunächst die Zuordnung einer Gefäßmalformation gemäß der ISSVA-Klassifikation notwendig.

Indikation zur Therapie

Gefäßmalformationen verschwinden nicht spontan und die Symptome nehmen im Laufe des Lebens, insbesondere in der Adoleszenz, tendenziell eher zu. Hauptprobleme sind v. a. Schmerzen und Funktionseinschränkungen in der betroffenen Körperregion, welche die Lebensqualität erheblich einschränken können [3]. Große Fast-Flow-Gefäßmalformationen können durch arteriovenöse Shunts mitunter zu einer Herzinsuffizienz führen (► **Tab. 2**). Ziel der nichtinvasiven und invasiven Therapie ist es, die Symptome zu lindern, die Organfunktion zu erhalten und einen Progress bzw. Komplikationen der Erkrankung zu verhindern.

Klinische Relevanz

Gefäßmalformationen sind angeboren und zeigen die Tendenz zur Progression. Da eine vollständige Heilung der Malformation oft nicht möglich ist, besteht das Ziel der Therapie in der Lindern der Symptome und dem Erhalt der Organfunktion.

► **Tab. 2** Stadien der arteriovenösen Malformationen nach Schobinger.

Stadium	Beschreibung
I	Ruhephase
II	Expansion
III	Destruktion
IV	Dekompensation

Nichtinvasive Therapieoptionen

Die nichtinvasiven Behandlungsverfahren stellen oft eine dauerhafte Basistherapie dar. Zu den wichtigsten konservativen Maßnahmen, v. a. im Bereich der Extremitäten, gehört die Kompressionstherapie mittels individuell angepasster Kompressionsware. Physiotherapeutische Maßnahmen sind wichtig, um die Beweglichkeit zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Gelegentlich wird eine begleitende medikamentöse Therapie mit Antikoagulanzen und Schmerzmitteln durchgeführt. Der Einsatz von mTOR-Inhibitoren wird derzeit erprobt [4].

Klinische Relevanz

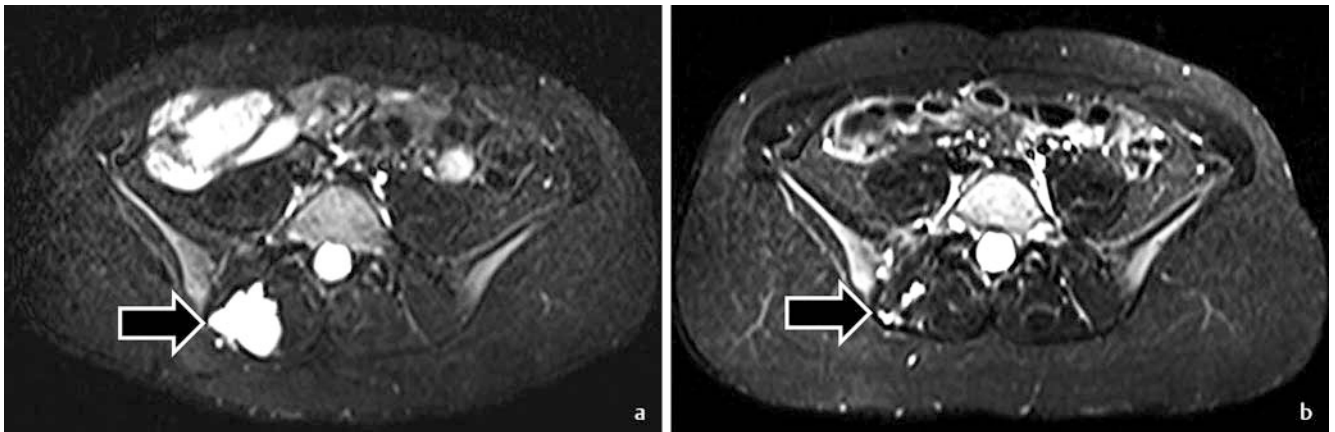
Vor Durchführung einer invasiven Therapie ist nochmals zu prüfen, ob bereits alle konservativen Therapieoptionen ausgeschöpft wurden.

Invasive Therapieoptionen

Invasive Verfahren finden Anwendung, wenn die konservativen Maßnahmen keine weitere Verbesserung der Symptome herbeiführen oder Komplikationen drohen. Die Wahl des geeigneten invasiven Verfahrens richtet sich zunächst immer nach der zugrunde liegenden Gefäßmalformation. Zu den invasiven Verfahren gehören die chirurgische Resektion, die oberflächliche Lasertherapie und die interventionelle Therapie (► **Tab. 3**). Die Behandlung sollte möglichst interdisziplinär und patientenindividuell abgestimmt werden. Viele vaskuläre Malformationen durchziehen mehrere anatomische Kompartimente und eignen sich daher nicht für eine alleinige oberflächliche Behandlung oder chirurgi-

► **Tab. 3** Übersicht über interventionelle Therapieverfahren.

interventionelles Verfahren	Beschreibung	Indikation bei Gefäßmalformation
Sklerotherapie	Verödung durch ein Sklerosierungsmittel	venöse Malformation makrozystische lymphatische Malformation
endoluminale Ablation	endoluminale Gefäßverödung mittels Laser- oder Radiofrequenzsonden	Marginalvene
Embolisation	Verschluss von Gefäßen mittels Embolisationsmaterialien	arteriovenöse Malformation arteriovenöse Fistel



► **Abb. 1** Perkutane Sklerotherapie. **a** Die axiale MRT (T2-STIR) zeigt die venöse Malformation (Pfeil) in der rechten autochthonen Rückenmuskulatur einer 16-jährigen symptomatischen Patientin. **b** Nach perkutaner Injektion von 4 ml aufgeschäumtem Aethoxysklerol hat die Gefäßmalformation 3 Monate später deutlich an Größe abgenommen (Pfeil). Die Symptome der Patientin waren vollständig rückläufig.

sche Resektion. Oft stellen die radiologisch-interventionellen Verfahren auch gerade wegen des guten Risiko-Nutzen-Verhältnisses die Therapie der ersten Wahl dar oder werden mit offenen Resektionen kombiniert [5]. Im Folgenden werden diese Verfahren vorgestellt.

Interventionelle Therapieverfahren

Zu den interventionell-radiologischen Verfahren gehören die Sklerotherapie, die endoluminale Ablationstherapie und die Embolisation (► **Tab. 3**).

Sklerotherapie

Die Sklerotherapie findet Anwendung in der Behandlung von symptomatischen Slow-Flow-Gefäßmalformationen, v. a. der venösen und makrozystischen lymphatischen Malformation. Die durch eine Direktpunktion eingebrachten Sklerosierungsmittel führen zunächst zu einer Entzündung der Gefäßwand mit anschließend einsetzender Fibrosierung der Gefäßmalformation. Hierbei wird die Malformation zwar nicht wie bei einer offenen Resektion entfernt, jedoch führt die Sklerosierung oft zu einer Größenreduktion, Funktionsverbesserung und Schmerzreduktion (► **Abb. 1**).

Sklerosierung der venösen Malformation

Aktuell werden symptomatische venöse Malformationen überwiegend mittels Ethanol/Ethanolgel, Bleomycin und Polidocanol behandelt.

- Ethanol (Alkohol): Ethanol gehört nach wie vor zu den effektivsten Sklerosierungsmitteln in der Behandlung von venösen Malformationen. Das Nebenwirkungspotenzial ist jedoch sehr hoch. Vor allem lokale Nebenwirkungen wie Nekrosen und irreversible Nervenschädigungen gehören zu den gefürchteten Komplikationen. Zentrale Embolien gehören zu den systemischen Komplikationen. In der Literatur werden bis zu 20 % Major-Komplikation nach Ethanol-Therapie beschrieben [5].
- Ethanolgel: Etwas besser steuerbar und ebenfalls sehr effektiv ist geliertes Ethanol. In einer kürzlich veröffentlichten Studie konnte gezeigt werden, dass Ethanolgel in der Behandlung der venösen Malformation zu einer deutlichen Schmerzreduktion führt und einen positiven Effekt auf die Lebensqualität hat [3]. In dieser Studie traten lediglich 7 % Minor-Komplikationen auf.
- Polidocanol: Dieses Sklerosierungsmittel hat ein deutlich günstigeres Nebenwirkungsprofil als Ethanol, ist aber auch weniger effektiv. Typischerweise wird Polidocanol in aufgeschäumter Form injiziert. Allerdings ist der sklerosierende Effekt im Vergleich zu Ethanol etwas geringer, weshalb oft mehrere Sitzungen für den Verschluss der venösen Malformation erforderlich sind [6].

Sklerosierung der makrozystischen lymphatischen Malformation

- **OK-432 (Picibanil):** OK-432 besteht aus einem lyophilisierten attenuierten Streptokokkenstamm. Die Injektion in eine makrozystische lymphatische Malformation führt zu einer heftigen Immunreaktion, welche mit Fieber einhergehen kann. Studien konnten eine hohe Effektivität von OK-432 in der Behandlung der makrozystischen lymphatischen Malformation zeigen [7].
- **Doxycyclin:** Dieses Antibiotikum aus der Gruppe der Tetracykline hat gute sklerosierende Eigenschaften bei nur wenigen Nebenwirkungen. Die postinterventionelle Schwellung ist nur gering, weshalb Doxycyclin v. a. im Halsbereich Anwendung findet. In einer Studie konnte in 87 % der Fälle ein gutes Ansprechen beobachtet werden [8].
- **Bleomycin:** Das Glykopeptid Bleomycin zeigt ähnlich wie Doxycyclin auch nur geringe lokale Nebenwirkungen. Die potenziellen systemischen Nebenwirkungen wie Lungenschädigungen oder eine Tumorinduktion sind bei gering verwendeten Mengen kaum zu erwarten, jedoch nicht sicher auszuschließen [9].

Endoluminale Ablation

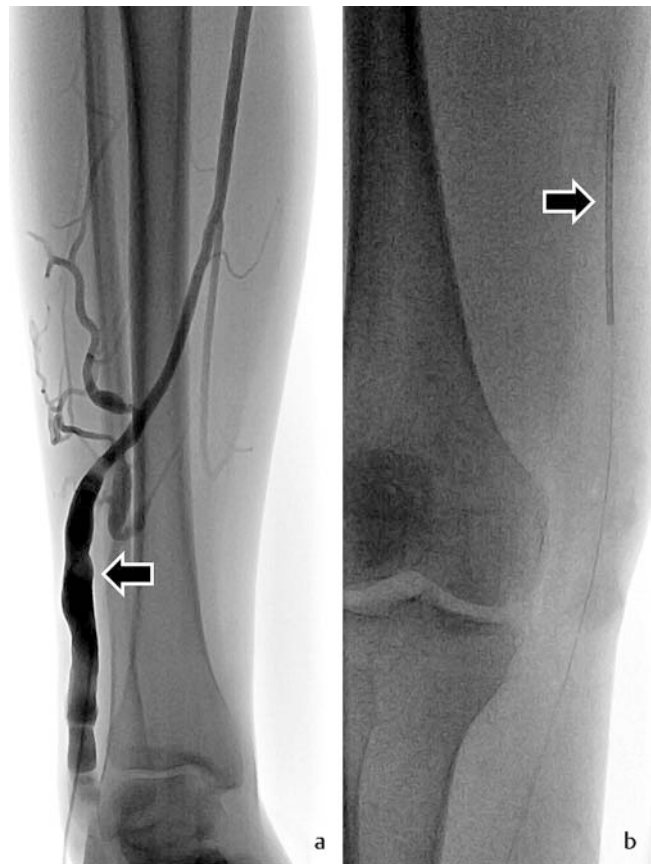
Endoluminale Ablationsverfahren finden v. a. in der Verödung von embryonalen dysplastischen Venen, wie beispielsweise der Marginalvene, Anwendung (► **Abb. 2**). Deren Verschluss ist bei vorhandenen Verbindungen zum abführenden tiefen Leitvenensystem wichtig zur langfristigen Vermeidung von thromboembolischen Komplikationen.

- **Endoluminale Radiofrequenzablation (RFA):** Dieses Katheterbasierte Verfahren führt letztlich durch eine thermische Schädigung der Gefäßinnenwand zu einem Verschluss des Gefäßes. Eine aktuelle Arbeit konnte eine hohe Effektivität dieses Verfahrens in der Behandlung von Marginalvenen zeigen [10].

Embolisation

Unter einer Embolisation wird der künstlich herbeigeführte Verschluss eines Blutgefäßes verstanden, meist von endoluminal mittels eingebrachter Angiografiekatheter. Anwendung findet die Embolisation v. a. in der Behandlung von symptomatischen Fast-Flow-Läsionen wie der arteriovenösen Malformation (AVM) und den arteriovenösen Fisteln (AF) mittels verschiedener Embolisationsmittel. Ziel ist hier der vollständige Verschluss des oft netzartig aufgebauten arteriovenösen Shunts, dem sog. Nidus, gegebenenfalls auch des venösen Abstroms (► **Abb. 3**).

Das Embolisationsmaterial kann dabei Katheter-gesteuert über eine Arterie, eine Vene oder über eine direkte Punktion in die Fast-Flow-Gefäßmalformation eingebracht werden und verschließt das Gefäß durch Ausguss oder über eine Entzündungsreaktion. Das Risiko einer akzidentellen Materialverschleppung über den venösen Abstrom ist aufgrund des hohen Blutflusses immer gegeben. Trotz ausgefeilter Embolisationsstechniken gilt die interventionelle Behandlung der Fast-Flow-Malformationen v. a. aufgrund der biologischen Aggressivität der Grunderkrankung als schwierig und anspruchsvoll. Eine inkomplette Embolisation führt unter Umständen sogar zu einem rapiden Wachstum der AV-Malformation.

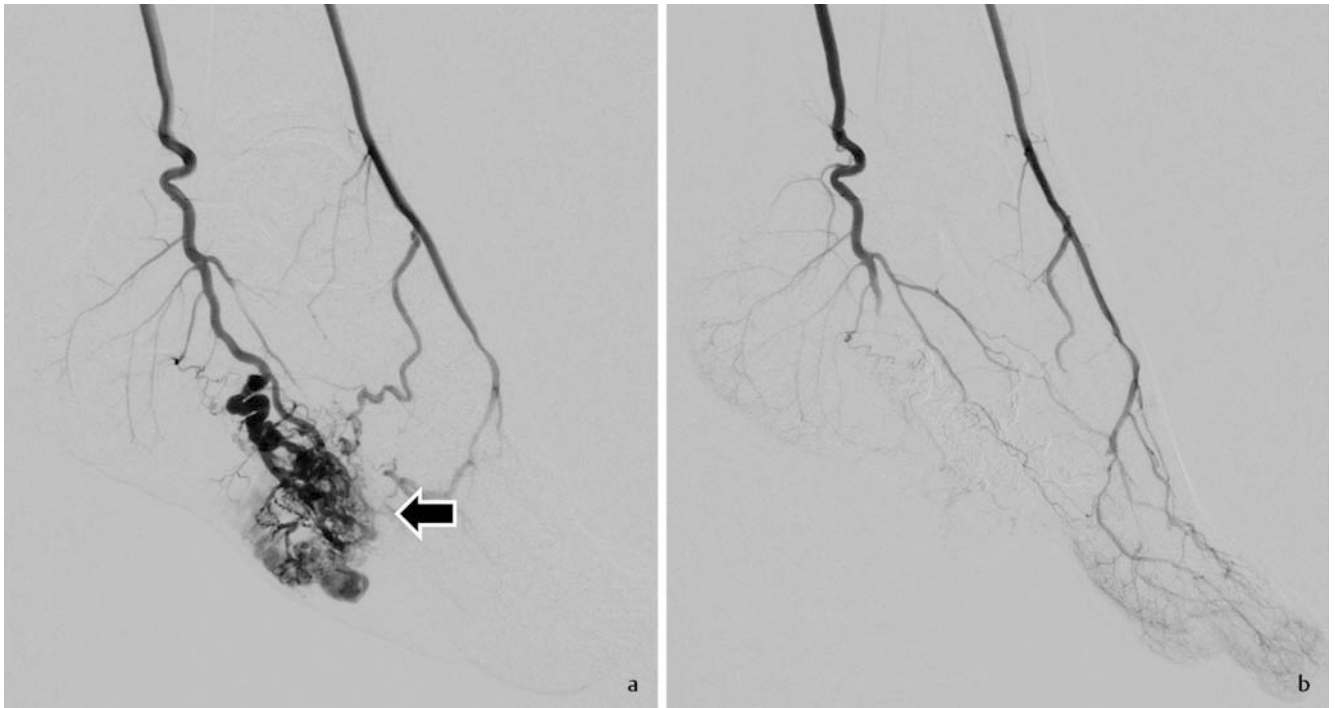


► **Abb. 2** Endoluminale Radiofrequenzablation einer Marginalvene bei einer 15-jährigen Patientin mit ausgedehnten venösen Gefäßmalformationen. **a** Phlebografie nach direkter Punktion einer symptomatischen dysplastischen Marginalvene am Unterschenkel. **b** Über eine transvenöse Schleuse eingeführte Radiofrequenzsonde mit röntgendichtem Ablationsabschnitt (Pfeil). Nach kompletter Ablation der Vene zeigte sich bereits wenige Wochen später eine deutliche Besserung der Schmerzsymptomatik.

Embolisation mittels Flüssigembolisat

Flüssigembolisate finden vor allem bei der Embolisation von netzartig aufgebauten AVM Anwendung.

- **Ethanol:** Die akute embolisierende Wirkung von nicht röntgendichtem Ethanol beruht auf der massiven Schädigung des Endothels und einer sofort einsetzenden Thrombosierung des Gefäßlumens. Die Effektivität von Ethanol wird in der Behandlung der AVM als hoch angesehen [11]. Allerdings sind gerade bei der AVM massive systemische Komplikationen wie fatale Lungenembolien beschrieben worden. Wie bereits oben ausgeführt sind auch Nekrosen und irreversible Nervenschädigungen gefürchtete Komplikationen, weshalb die Embolisation einer AVM mittels Ethanol nur von sehr erfahrenen Interventionalisten durchgeführt werden sollte.
- **n-Butyl-2-Cyanoacrylat (n-BCA):** Die Embolisation mit dem Gewebekleber n-Butyl-2-Cyanoacrylat erfolgt immer rein flussgesteuert. Beigemischtes Lipiodol macht das Embolisat erst röntgensichtbar. Der große Nachteil von n-Butyl-2-Cyanoacrylat ist die schlechte Steuerbarkeit und die sekundenschnelle Polymerisation. Hierdurch besteht immer das Risiko



► **Abb. 3** Embolisation einer arteriovenösen Malformation (AVM). **a** Die DSA einer 48-jährigen symptomatischen Patientin zeigt den netzartigen Nidus (Pfeil) einer AVM im Bereich des Fußes. **b** Nach transarterieller Embolisation über die A. tibialis anterior und A. tibialis posterior mittels Flüssigembolisat (EVOH) ist der Nidus vollständig verschlossen.

eines Einklebens der Mikrokatheterspitze [12]. Das chemisch abgewandelte n-Hexyl-Cyanoacrylat besitzt eine längere Polymerisationszeit und könnte daher einen Vorteil gegenüber n-Butyl-2-Cyanoacrylat bieten. Belastbare Ergebnisse in der Behandlung der AVM mit n-Hexyl-Cyanoacrylate fehlen allerdings bisher.

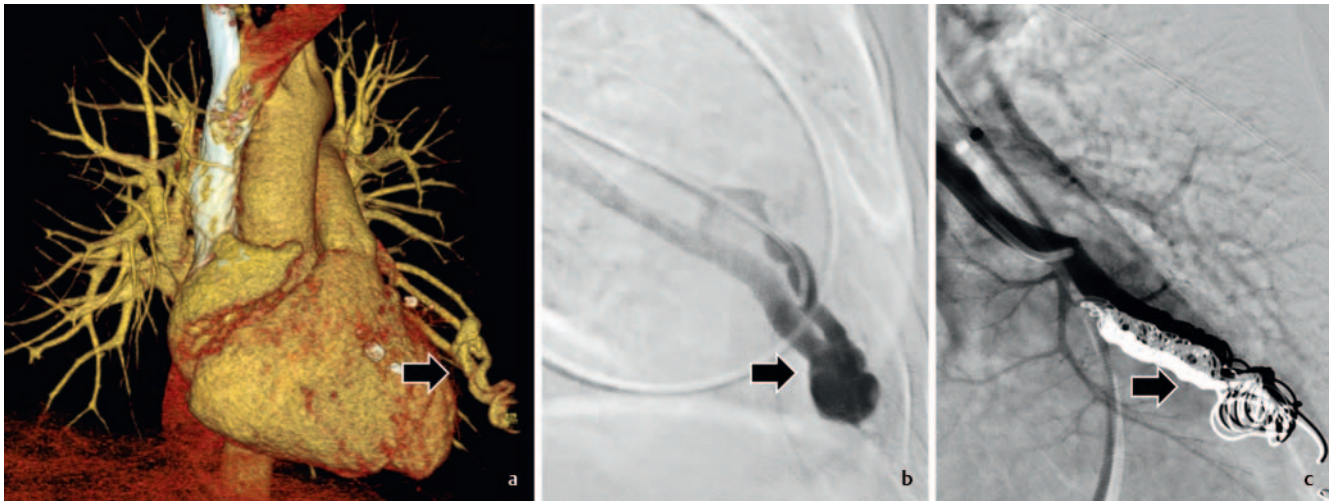
- **Ethylen-Vinyl-Alkohol-Kopolymer (EVOH):** Dieser Kopolymer wird stets zusammen mit seinem Lösungsmittel Dimethylsulfoxid (DMSO) und röntgendichtem Tantal-Pulver appliziert. Bei Kontakt mit Körperflüssigkeiten diffundiert DMSO aus dem Gemisch und es kommt zu einer langsamen Aushärtung des Gemisches von außen nach innen. Das röntgendichte visköse Flüssigembolisat bleibt so über Minuten hinweg modellierbar. Diese Eigenschaften ermöglichen spezielle Embolisationstechniken, wie die „Plug-and-Push“-Technik und eine Applikation entgegen der Flussrichtung [13]. Auch große AVM lassen sich so schrittweise komplett embolisieren [14]. Limitationen ergeben sich nach wie vor durch die hohen Kosten des Flüssigembolisats.

Embolisation mittels Plugs und Coils

Plugs und Coils finden Anwendung in der Behandlung angeborener Fast-Flow-AV-Fisteln (► **Abb. 4**). Diese finden sich v. a. in der Lunge im Rahmen der hereditären hämorrhagischen Teleangiectasie (HHT; Morbus Osler). Plugs und Coils eignen sich weniger als primäres Embolisat in der Behandlung komplexer netzartig

aufgebauter AVM. Sie können hier allerdings als ergänzendes Embolisat neben den Flüssigembolisaten als Flussmodulatoren zum Einsatz kommen [14].

- **Plugs:** Diese kontrolliert über einen Katheter absetzbaren Verschlusskörper bestehen zumeist aus einem selbstexpandierenden Nitinolgeflecht, welches durch Aktivierung der Blutgerinnung den Gefäßverschluss hervorruft. Der Durchmesser des Plugs sollte hierbei 30–50 % über dem des Zielgefäßes liegen, um eine Migration zu vermeiden. Plugs eignen sich vor allem für den Verschluss großer pulmonaler arteriovenöser Fisteln (pAVM) und sind der alleinigen Coil-Embolisation überlegen [15]. Vielversprechend ist auch der Verschluss von kleinen pulmonalen AV-Fisteln mittels Micro-Plug [15].
- **Coils:** Hierbei handelt es sich um feine Metallspiralen mit definierter Länge und einem bestimmten Durchmesser nach Freisetzung aus einem Katheter, der dem Gefäßdurchmesser angepasst wird. Wie bei den Plugs wird der Gefäßverschluss durch eine Aktivierung der Blutgerinnung hervorgerufen. Sie finden v. a. in der Behandlung der pAVM in Kombination mit Plugs Anwendung [15]. Bei komplexen peripheren AVM spielen Coils allerdings nur eine untergeordnete Rolle, da sich ein Nidus mittels Coils nicht vollständig verschließen lässt. In ausgewählten Fällen können auch dysplastische Venen bei Slow-Flow-Malformationen mittels Coils ergänzend verschlossen werden [10].



► **Abb. 4** Embolisation einer pulmonalen arteriovenösen Fistel. **a** Die 3-D-Rekonstruktion einer kontrastmittelverstärkten Computertomografie veranschaulicht den Befund einer pulmonalen arteriovenösen Fistel (Pfeil) bei einem Patienten mit symptomatischer hereditärer hämorrhagischer Teleangiektasie. **b** Angiografisch handelt es sich um eine simpel konfigurierte Fistel mit nur 1 zuführenden Pulmonalarterie (Pfeil). **c** Kompletter Verschluss der zuführenden Pulmonalarterie nach Embolisation mittels Coils (Peil).

Klinische Relevanz

Bei der Behandlung von venösen Malformationen mittels Ethanol kann es zu Nekrosen und irreversiblen Nervenschädigungen kommen. In der Nähe der oberen Atemwege sollten Sklerosierungsmittel mit geringer Entzündungsneigung gewählt werden. Endoluminale Ablationsverfahren finden Anwendung in der Verödung dysplastischer embryonaler Venen. Flüssigembolisate eignen sich für den Verschluss von komplexen und netzartig aufgebauten Fast-Flow-Gefäßmalformationen (AVM). Die Kombination von Plugs und Coils eignet sich v. a. für die Behandlung von pulmonalen Fast-Flow-Malformationen (pAVM).

Interessenkonflikt

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

Literatur

- [1] Mulliken JB, Glowacki J. Hemangiomas and vascular malformations in infants and children: a classification based on endothelial characteristics. *Plast Reconstr Surg* 1982; 69: 412–422
- [2] Wassef M, Blei F, Adams D et al. Vascular Anomalies Classification: Recommendations From the International Society for the Study of Vascular Anomalies. *Pediatrics* 2015; 136: e203–e214
- [3] Wohlgemuth WA, Müller Wille R, Teusch V et al. Ethanolgel sclerotherapy of venous malformations improves health-related quality-of-life in adults and children – results of a prospective study. *Eur Radiol* 2017; 27: 2482–2488
- [4] Wiegand S, Wichmann G, Dietz A. Treatment of Lymphatic Malformations with the mTOR Inhibitor Sirolimus: A Systematic Review. *Lymphat Res Biol* 2018; 16: 330–339
- [5] Ali S, Mitchell SE. Outcomes of Venous Malformation Sclerotherapy: A Review of Study Methodology and Long-Term Results. *Semin Intervent Radiol* 2017; 34: 288–293
- [6] Weitz-Tuoretmaa A, Keski-Nisula L, Rautio R et al. Quality of life after endovascular sclerotherapy of low-flow venous malformations: the efficacy of polidocanol compared with ethanol. *Acta Radiol* 2018; 59: 946–952. doi:10.1177/0284185117741774
- [7] Weitz-Tuoretmaa A, Rautio R, Valkila J et al. Efficacy of OK-432 sclerotherapy in treatment of lymphatic malformations: long-term follow-up results. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2014; 271: 385–390
- [8] Thomas DM, Wieck MM, Grant CN et al. Doxycycline Sclerotherapy Is Superior in the Treatment of Pediatric Lymphatic Malformations. *J Vasc Interv Radiol* 2016; 27: 1846–1856
- [9] Yang Y, Sun M, Ma Q et al. Bleomycin A5 sclerotherapy for cervicofacial lymphatic malformations. *J Vasc Surg* 2011; 53: 150–155
- [10] Uller W, Hammer S, Wildgruber M et al. Radiofrequency Ablation of the Marginal Venous System in Patients with Venous Malformations. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2019; 42: 213–219
- [11] Cho SK, Do YS, Shin SW et al. Arteriovenous malformations of the body and extremities: analysis of therapeutic outcomes and approaches according to a modified angiographic classification. *J Endovasc Ther* 2006; 13: 527–538
- [12] Dahl RH, Holtmannspötter M, Gutte H et al. Snaring of a Glued Microcatheter During Embolization of an Arteriovenous Malformation with N-Butyl Cyanoacrylate. *World Neurosurg* 2018; 120: 343–348
- [13] Müller-Wille R, Wildgruber M, Sadick M et al. Vascular Anomalies (Part II): Interventional Therapy of Peripheral Vascular Malformations. *Rofo* 2018. doi:10.1055/s-0044-101266
- [14] Wohlgemuth WA, Müller-Wille R, Teusch VI et al. The retrograde transvenous push-through method: a novel treatment of peripheral arteriovenous malformations with dominant venous outflow. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015; 38: 623–631
- [15] Tau N, Atar E, Mei-Zahav M et al. Amplatzer Vascular Plugs Versus Coils for Embolization of Pulmonary Arteriovenous Malformations in Patients with Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2016; 39: 1110–1114
- [16] Duvnjak S, Di Ciesco CA, Andersen PE. Preliminary experience with the micro vascular plug for the treatment of pulmonary arteriovenous malformation: case series of four patients. *CVIR Endovasc* 2018; 1: 19