

Interventionelle thorakale Radiologie

E. Foert

2.1 Technische Grundlagen vaskulärer Interventionen – 26

2.2 Gefäßverschließende Verfahren – Embolisation – 26

2.2.1 Hämoptysen – 26

2.2.2 Pulmonale arteriovenöse Malformationen – 28

2.3 Gefäßweiternde/-eröffnende Verfahren – 29

2.3.1 Lungenarterienembolie – 29

2.3.2 Obere Einflusstauung – 31

2.4 Nichtvaskuläre Interventionen – 31

2.4.1 Diagnostische Biopsie von Lungenprozessen – 31

2.4.2 Thermische Ablation von Lungenherden – 33

Literatur – 33

Beide arterielle Gefäßsysteme der Lunge können mithilfe von Kathedertechnik und Kontrastmittel selektiv sondiert, dargestellt und bei pathologischen Veränderungen transluminal bildgestützt behandelt werden.

2.1 Technische Grundlagen vaskulärer Interventionen

Zur Steuerung des Eingriffes dient dabei die gepulste Durchleuchtung, zur prä- und posttherapeutischen Befunddokumentation werden Serienangiogramme angefertigt. Für komplexe Interventionen kann außerdem eine 3D-Angiographie oder eine C-Arm-Computertomographie von Vorteil sein, wie sie mit modernen Angiographieanlagen erzeugt und zur Navigation genutzt wird.

Der femorale Zugang (arteriell/venös) wird in Seldinger-Technik hergestellt und mit einer Schleuse mit Ventil gesichert. In Ausnahmefällen, z. B. bei Okklusion der Beckenstrombahn beidseits, ist ein brachialer oder jugulärer Zugang erforderlich. Punktionsassoziierte Komplikationen sind insgesamt selten und schließen in absteigender Häufigkeit Hämatome, Dissektionen, falsche Aneurysmen und AV-Fisteln ein, bei Punktion der V. jugularis ist das Pneumothoraxrisiko zu beachten.

Der Katheter wird über einen Führungsdraht vorgeschoben. Für die selektive Sondierung kleinerer Arterien wird ein Ensemble aus Schleuse, Führungskatheter, Mikrokatheter und Mikrodraht verwendet (■ Abb. 2.1). Bei Sondierung der Pulmonalarterien (PA) müssen rechter Vorhof, Ventrikel und Herzklappen passiert werden. Dabei werden gelegentlich Rhythmusstörungen ausgelöst, die meist selbstlimitierend sind, selten aber lebensbedrohlich sein können, so dass ein EKG-Monitoring periprozedural erforderlich ist.

Grundsätzlich wird zwischen zwei Arten transluminaler katheterbasierter Eingriffe unterschieden, nämlich

- gefäßverschließenden Interventionen (Embolisationen) und
- Interventionen, die Gefäßverschlüsse wiedereröffnen oder stenosierte Gefäße erweitern (Angioplastien).

➤ Für die Planung einer pulmonalen Gefäßintervention sollte unbedingt eine Kontrastmittel-verstärkte Mehrzeilendetektor- oder Multislice-Computertomographie (MSCT) des Thorax zur Verfügung stehen.

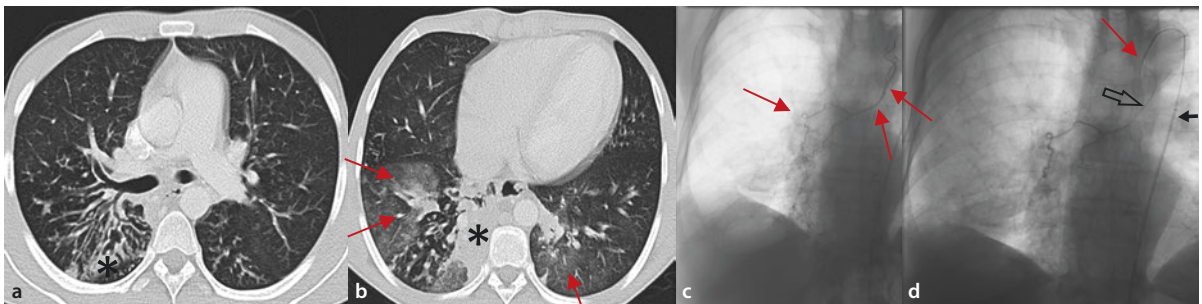
Sie sollte so durchgeführt werden, dass sowohl die Pulmonalarterien (PA) als auch die descendierende Aorta mit den Bronchialarterien (BA) kräftig kontrastiert sind und der Volumendatensatz in allen Ebenen aus isotropen Voxeln rekonstruiert werden kann. Das Zielgefäß kann sicher identifiziert und langwieriges Sondieren nichtbetroffener Äste vermieden werden. Durchleuchtungszeit, Kontrastmittelmenge und das Risiko von Komplikationen bleiben so auf das Unvermeidbare beschränkt.

2.2 Gefäßverschließende Verfahren – Embolisation

2.2.1 Hämoptysen

➤ 90 % der akut therapiebedürftigen Hämoptysen sind durch Blutungen aus den Bronchialarterien verursacht, in denen der Blutdruck sechsmal höher ist als in den Pulmonalarterien.

Die Genese ist populationsabhängig: Tuberkulose, Aspergillome, Pneumonien und Bronchiektasen, aber auch maligne Tumoren der Lunge sowie chronisch obstruktive Lungenerkrankung und Lungenabszesse. Seltener sind Systemerkrankungen wie zystische Fibrose (CF),



■ Abb. 2.1a–d Chronische Bronchitis, Hämoptysen. MSCT: Durch bronchialarterielle Blutung aus dem rechten Unterlappen verursachte Segmentatelektase (a, b,*) und milchglasartige Verdichtung in beiden Unternlappen (b) infolge von Blutaspiration (Pfeilspitzen). c Das selektive Bronchialarteriogramm zeigt hypertrophierte Bronchialarterien (leere Pfeilspitzen). d Partikelembolisation: Schleuse in Aorta descendens (Pfeil), Führungskatheter im Bronchialarterienabgang (Pfeilspitze) und Mikrokatheter distal (leerer Pfeil)

Sarkoidose, Morbus Behcet und Wegenersche Granulomatose ursächlich.

Auch pulmonalerterielle AV-Malformationen, Lungenarterienembolie und pulmonalerterielle Hypertonie können mit Hämoptysen einhergehen. Gerinnungsstörungen sind differenzialdiagnostisch zu bedenken und nach Möglichkeit zu korrigieren. Thoraxtraumata und iatrogene Verletzung der PA durch Einschwemmkatheter sind seltene Ursachen für Hämoptysen.

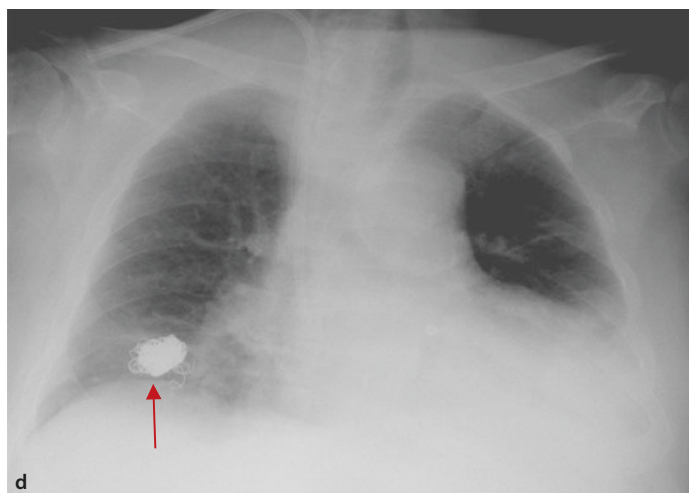
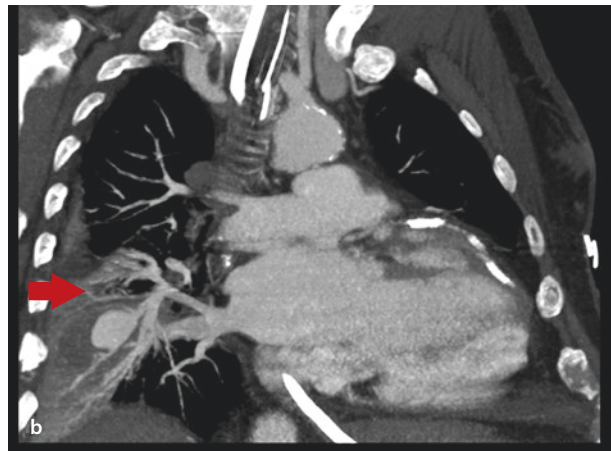
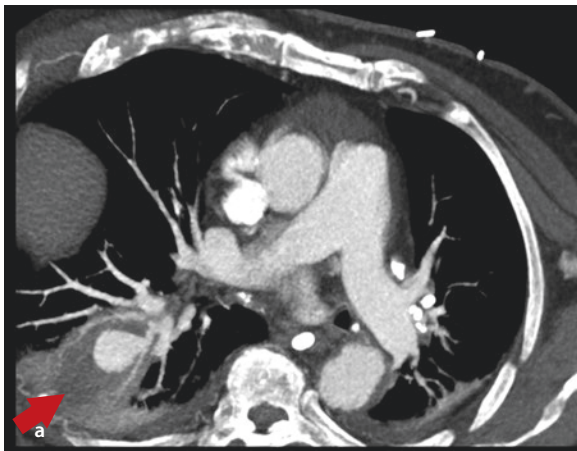
Während leichtgradige Hämoptysen oft spontan sistieren, zeigen sogenannte massive Hämoptysen (300–600 ml/24 h) unter konservativer Therapie eine sehr hohe Letalität. Lebensbedrohlich ist dabei eher die Aspiration von Blut in die Alveolen mit Störung des Gasaustausches als der Blutverlust.

Die MSCT als Bildgebung der Wahl deckt alle wichtigen Differenzialdiagnosen ab. Besonders nützlich bei der detaillierten Darstellung der Gefäße ist die Rekonstruktion

des Volumendatensatzes als Maximum Intensity Projection (MIP), die Gefäße im gesamten Verlauf darstellen kann (■ Abb. 2.2b, ■ Abb. 2.5). Auch ektope Bronchialarterien, z. B. mit Ursprung aus A. subclavia, Interkostal- und Zwerchfellarterien, können in der MSCT zuverlässig identifiziert werden, so dass eine genaue Planung der Katheterintervention möglich ist.

Lokalisation der Blutung

Wenn die Blutungsquelle computertomographisch nicht auf einen Lungenlappen eingegrenzt werden kann, erhöht die Zusammenschau mit der Bronchoskopie die Zuverlässigkeit der Lappen- oder wenigstens der Seitenzuordnung. Die Bronchoskopie erreicht alleine in der Blutungslokalisierung eine Genauigkeit von nur 30–50 % bei leichten und moderaten und von 70–90 % bei massiven Hämoptysen.



■ **Abb. 2.2a–d** Massive Hämoptysen. Im MSCT Darstellung eines PA-Pseudoaneurysmas im rechten Unterlappen (Pfeil), in transversaler (a) und koronarer (b) Maximum Intensity Projection (MIP). c Die selektive Embolisation des Aneurysmas mit Platinspiralen (Pfeilspitze) musste zweimal für bronchoskopisch assistiertes Absaugen von Koageln unterbrochen werden. d Postinterventionell dauerhaftes Sistieren der Blutung, Betaaufnahme nach Extubation

Diagnostik und Therapie

Je nach Schwere der Hämoptysen wird die Embolisation in Lokalanästhesie oder Vollnarkose durchgeführt. Bronchialarterien von mehr als 2 mm Durchmesser gelten als pathologisch erweitert, in diesem Fall zeigen sie meist auch einen vermehrt geschlängelten Verlauf. Weitere mögliche pathologische Befunde sind ein wolkiges peribronchiales Enhancement („Blush“) sowie Kontrastierung arteriovenöser Shunts und Aneurysmen.

- **Ein Kontrastmittel-Extravasat als Ausdruck einer aktiven Blutung findet sich zum Untersuchungszeitpunkt sehr selten und ist keine Voraussetzung für die Durchführung einer Embolisation.**

Das selektive Angiogramm der Bronchialarterien muss genau nach Ästen abgesucht werden, die das Rückenmark versorgen, insbesondere Anastomosen mit der A. spinalis anterior. Die A. radicularis magna „Adamkiewicz“ darf unter keinen Umständen embolisiert werden, da bei ihrer Okklusion eine Querschnittslähmung droht. Die Katheterspitze muss distal aller spinalen Abgänge platziert werden (■ Abb. 2.1).

Für die Embolisation werden nichtresorbierbare Partikel verwendet, z. B. Polyvinylalkohol („PVA“)-Partikel und Kunststoffmikrosphären. Der Partikeldurchmesser darf 325 µm nicht unterschreiten, da sonst über physiologische bronchopulmonale arterioarterielle Anastomosen Lungeninfarkte verursacht werden können oder feine Äste zum Ösophagus und Vasa vasorum der Aorta okkludiert werden. Auch Anastomosen zu den Koronararterien sind beschrieben. Aus diesem Grund gelten Flüssigembolisate als weniger sicher.

Die Partikel werden mit Kontrastmittel unter Durchleuchtungskontrolle solange injiziert, bis der Abfluss fast oder vollständig sistiert.

- **Bis zu 10 % der Hämoptysen speisen sich nicht aus den Bronchialarterien, sondern aus Aneurysmen der Pulmonalarterien. Diese sind fast immer infektiöser Genese, oft durch Tuberkulose verursacht, und führen häufiger zu massiven, akut lebensbedrohlichen Hämoptysen.**

Sie werden auch als „Rasmussen-Aneurysmen“ bezeichnet und entstehen durch eine entzündliche Gefäßarrosion, weshalb es sich streng genommen um Pseudoaneurysmen handelt. Die MSCT kann zuverlässig diejenigen Patienten identifizieren, bei denen primär eine Embolisation der Pulmonalarterien und nicht der Bronchialarterien durchgeführt werden muss, um die Hämoptysen zu stillen (■ Abb. 2.2a,b). Dafür verwenden interventionelle

Radiologen Metallspiralen, sog. Coils aus Stahl- oder Platindraht. Auch mit Kleber bzw. Flüssigpolymer werden Pseudoaneurysmen der Pulmonalarterien erfolgreich ausgeschaltet, oder der zuführende Pulmonalarterienast wird mittels Nitinol-Verschlusskörpern (sog. „Amplatzer-Plugs“) okkludiert. Seltener Ursachen für Pulmonalarterienpseudaneurysmen sind z. B. der Morbus Behcet, Aspergillome oder zentral nekrotisierende Tumoren.

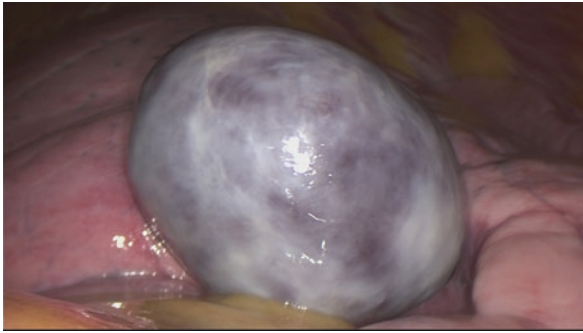
Ergebnisse

Das Stillen lebensbedrohlicher Hämoptysen gelingt mittels Embolisation der Bronchialarterien in 73–99 % der Fälle bei einem Nachbeobachtungszeitraum von einem Monat. Mittelfristig kommt es aber bei 10–55 % der Patienten zu Rezidivblutungen. Dies betrifft insbesondere Patienten mit Aspergillomen, bei denen über Blutungsrezidivraten bis 100 % und eine bis 50%ige Mortalitätsrate innerhalb eines Monats berichtet wird und daher frühzeitig eine chirurgische Sanierung angestrebt werden sollte. Die Okklusion von Pulmonalarterienaneurysmen zeigt bessere Ergebnisse, sofern die zugrundeliegende Erkrankung erfolgreich behandelt werden kann.

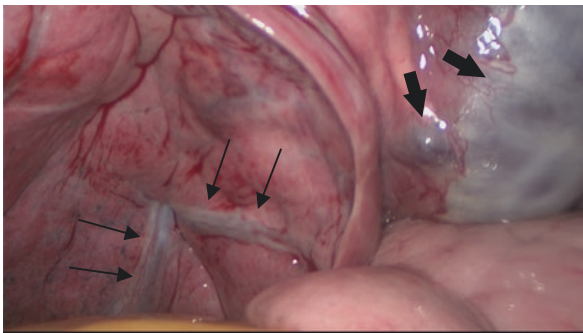
2.2.2 Pulmonale arteriovenöse Malformationen

Pulmonale arteriovenöse Malformationen (PAVM) können zu massiven Hämoptysen führen. Häufiger machen sie jedoch durch andere Komplikationen auf sich aufmerksam: Neben den hämodynamischen Folgen des Rechts-Links-Shunts mit Hypoxämie und Belastungsdyspnoe sind septische Embolien im systemischen Kreislauf einschließlich des Gehirns, TIA und ischämische Schlaganfälle mögliche Manifestationen als Folge der Umgehung des pulmonalen Kapillarbettes. Selten kommt es durch eine Ruptur der Gefäßmalformation zum Hämatothorax. In mehr als 80 % der Fälle treten PAVM im Rahmen der hereditären hämorrhagischen Teleangiektasie (HHT) auf, auch bekannt als Morbus Rendu-Osler-Weber (■ Abb. 2.3). In Abhängigkeit von der Penetranz der autosomal dominant vererbten Störung sind sie mehr oder weniger mit arteriovenösen Malformationen in anderen Organen vergesellschaftet und treten in der Lunge in mehr als der Hälfte der Fälle multipel und bilateral auf. Patienten mit gesicherter HHT entwickeln zu 40–60 % PAVMs.

Internationale Guidelines empfehlen die Embolisation auch asymptomatischer PAVMs bei Erwachsenen und symptomatischer PAVMs bei Kindern zur Prävention insbesondere zerebraler Komplikationen. Etwa 20 % der PAVMs werden aus mehr als einer Pulmonalarterie vaskularisiert



■ **Abb. 2.3** Große pulmonale arteriovenöse Malformation (PAVM) im linken Lungenoberlappen (Lingula) bei hereditärer hämorrhagischer Teleangiektasie (M. Osler)



■ **Abb. 2.4** Komplexer venöser Abstrom über mehrere erweiterte Venen (Pfeilspitzen) bei großer pulmonaler arteriovenöser Malformation (Pfeile) im linken Lungenoberlappen

und drainieren in mehr als eine pulmonale Segmentvene (■ **Abb. 2.4**). Auch systemische Arterien können an komplexeren PAVMs beteiligt sein.

Diagnostik und Therapie

Die Kontrastmittel-verstärkte MSCT ist Goldstandard in der Darstellung von PAVMs (■ **Abb. 2.5a,b**) und selbst der Angiographie im Nachweis überlegen. Mit in den letzten Jahren noch verbesserter Mikrokathetertechnik können auch PAVMs mit Federn von unter 3 mm Durchmesser embolisiert werden, wenn sie angiographisch darstellbar sind. Nicht immer ist es möglich, alle sichtbaren PAVMs in einer Sitzung zu verschließen.

Für die Embolisation eignen sich verschiedene Materialien: Kleinere PAVMs werden mit ablösbaren Coils versorgt, größere Kaliber können schneller und einfacher mit Nitinol-Verschlusskörpern okkludiert werden (■ **Abb. 2.5d-f**).

Zu den möglichen Komplikationen zählen neben pleuritischen Schmerzen, Lungeninfarkt, transienten Angina-pectoris-Beschwerden und Arrhythmie die Migration des Embolisationsmaterials durch die PAVM mit systemischen

Embolien und Luftembolien in etwas über 2 % der Fälle. Die Prozedur muss unter antibiotischer Prophylaxe erfolgen.

Ergebnisse

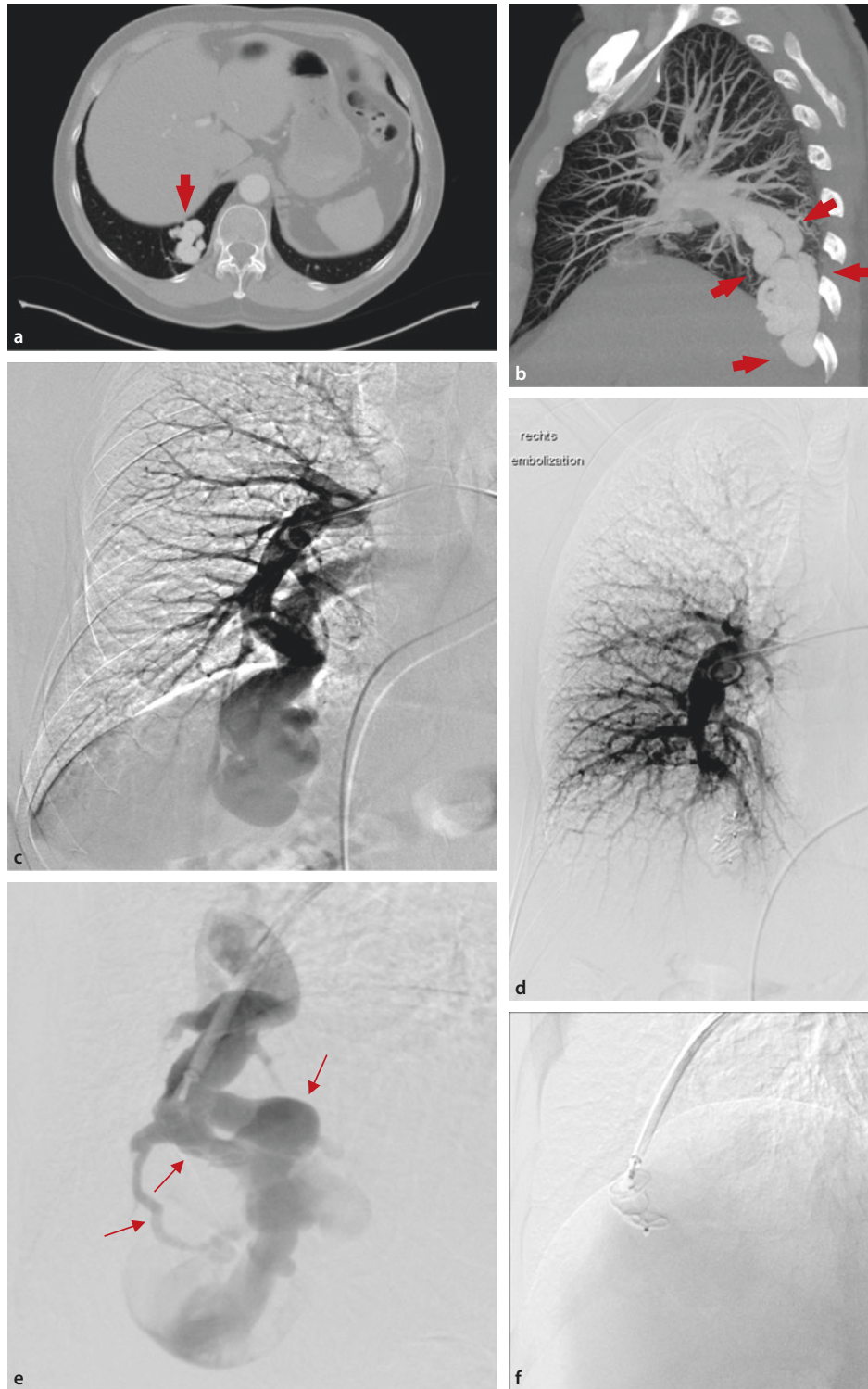
Eine Verbesserung von peripherer Oxygenierung und Belastbarkeit wird in den meisten Fällen beobachtet, das Risiko embolischer Komplikationen wie insbesondere das Auftreten von Hirnabszessen kann durch die geplante, mehrfache Embolisation auch asymptomatischer PAVMs nachweislich signifikant gesenkt werden. Insgesamt wird ein primär erfolgreicher, langfristiger Verschluss in 75 % der Fälle erreicht, nicht selten kommt es zu einer Reperfusion der PAVMs. Aus diesem Grund empfehlen sich Erfolgskontrollen mittels MSCT oder MR-Angiographie. Eine chirurgische Therapie ist bei der HHT nur bei wenigen, aufgrund ihrer Komplexität nicht endovaskulär therapierbaren PAVMs notwendig, außerdem bei Ruptur und Hämatothorax.

2.3 Gefäßweiternde/-eröffnende Verfahren

2.3.1 Lungenarterienembolie

Als Reperusionsverfahren der Pulmonalarterien bei massiver, akut lebensbedrohlicher Lungenarterienembolie soll nach der gültigen nationalen S2-Leitlinie zunächst die systemische Thrombolyse durchgeführt werden. Nur bei schwerwiegender Kontraindikation und unter Reanimationsbedingungen auch additiv sollen bei rascher Verfügbarkeit mechanische Rekanalisationsverfahren wie die kathetergestützte Thrombusfragmentierung oder die Aspirationsthrombektomie zum Einsatz kommen. Eine lokale Katheterlyse, bei der die Transmission von Ultraschallwellen über einen dedizierten Katheter die Effizienz der lokalen Thrombolyse steigert, kommt mit einer geringeren Dosis des Fibrinolytikums aus. Sie kann Fallberichten zufolge bei Patienten mit intermediärem und hohem Risiko sinnvoll sein, fand aber in der aktuellen Leitlinie keine Berücksichtigung. In Zukunft werden sich möglicherweise zunehmend spezialisierte interdisziplinäre Response-Teams etablieren, die sich häufiger für eine invasive Therapie der Lungenarterienembolie aussprechen könnten.

Die Ballonangioplastie der Pulmonalarterie bei chronischer thromboembolischer pulmonaler Hypertonie (CTEPH), einer derzeit noch selten diagnostizierten Spätfolge der Lungenarterienembolie, kann den Widerstand in der Lungenstrombahn relevant senken. Sie wird zurzeit, ebenso wie die chirurgische pulmonale Endarteriektomie, nur in spezialisierten Zentren durchgeführt und stellt kein Standardtherapieverfahren dar.



■ **Abb. 2.5a–f** Große pulmonale arteriovenöse Malformation (*Pfeile*) bei hereditärer hämorrhagischer Teleangiaktasie (M. Osler), symptomatisch mit zerebralem Infarkt, progredienter Dyspnoe und Zyanose. **a** MSCT des Thorax mit KM, transversale Reformationen und **b** sagittale Maximum Intensitiy Projection (MIP). Selektive Angiographie der Pulmonalarterien vor (**c**) und nach (**d**) Embolisierung der PAVM mit Amplatzer vascular Plugs. **e** Die superselektive Angiographie zeigt, dass distal mehrere Pulmonalarterienäste an der Malformation beteiligt sind (*Pfeilspitzen*). Expandierter Amplatzer Plug in der zuführenden Pulmonalarterie (**f**). (Mit freundlicher Genehmigung von Dr. C. Althoff, Institut für Radiologie, Charité Berlin)

2.3.2 Obere Einflusstauung

Die Stentimplantation in die V. cava superior (VCS) und die Vv. brachiocephalicae ist ein bewährtes Verfahren bei symptomatischer oberer Einflusstauung. Ursache einer Obstruktion der großen Venen der oberen Thoraxapertur ist in den entwickelten Ländern – abgesehen von Verweilkathetern und Sonden – meist die Kompression durch eine Neoplasie, teils mit Invasion der Vene. Auch als Bestrahlungsfolge oder infolge einer Mediastinalfibrose treten venöse Okklusionen auf. Klinisch imponieren Luftnot, Orthopnoe, Gesichtsschwellung und erweiterte oberflächliche Venen an Hals und Thoraxwand, weniger häufig Zyanose, Plethora und Armschwellung. Bei mangelnder Kollateralenbildung drohen aber auch Hirnödeme und intrakranielle Blutungen.

Obwohl sich die Ursache einer manifesten oberen Einflusstauung oft bereits in der Thoraxübersicht zeigt, ist die MSCT die wegweisende Untersuchung. Die farbkodierte Duplexsonographie (FKDS) kann ein zentralvenöses Abflusshindernis indirekt durch fehlende Flussmodulation nachweisen.

Insgesamt gilt, dass bei Erkrankungen mit guter Therapiemöglichkeit und Prognose die obere Einflusstauung meist konservativ behandelt und mit der Ausbildung suffizienter Kollateralen gerechnet werden kann.

➤ **Bei schlechter Prognose der Grunderkrankung – insbesondere beim nichtkleinzelligen Lungenkarzinom – und bei stark ausgeprägter Symptomatik sollte der Einstrom nach zentral frühzeitig mit einem Stent wiederhergestellt werden. Kein anderes Verfahren kann dieses mitunter dramatische Beschwerdebild vergleichbar schnell bessern.**

Über einen femoralen, jugulären oder axillären Zugang muss der Verschluss/die Stenose mit einem Draht passiert, dilatiert und mit einem selbstexpandierenden Nitinolstent stabilisiert werden (▣ Abb. 2.6). Dieser kann sich dem Gefäßdurchmesser anpassen, falls es später unter Bestrahlung und/oder Chemotherapie zu einer Verkleinerung des Tumors kommt. Die Ballondilatation alleine ist nicht effektiv. Bei Vorliegen einer frischen Thrombose kann vor der Stentimplantation eine kathetergestützte lokale Lyseetherapie notwendig sein.

2.4 Nichtvaskuläre Interventionen

2.4.1 Diagnostische Biopsie von Lungenprozessen

Solide Lungenherde können mittels transbronchialer oder transthorakaler Biopsie oder thorakoskopischer Resektion abgeklärt werden. Welches der drei Verfahren sich am

besten eignet, muss im Idealfall interdisziplinär individuell entschieden werden. Zentral gelegene Befunde sind transbronchial – gegebenenfalls gesteuert durch endobronchialen Ultraschall (EBUS) – leichter und sicherer zu erreichen, peripher gelegene eher transthorakal. Basal gelegene Herde sind stärker atemverschieblich als apikal gelegene, naturgemäß ist auch die Wahrscheinlichkeit, eine repräsentative Probe zu gewinnen, bei größeren Herden höher als bei sehr kleinen. Bei Rundherden mit hoher Wahrscheinlichkeit für Malignität und ohne Hinweis auf extrapulmonale Metastasen sollte eher die primäre thorakoskopische Resektion angestrebt werden.

Technik

Transthorakale Biopsien werden CT-gestützt durchgeführt. Prinzipiell kann die Punktion für die Bildkontrollen jeweils unterbrochen werden, oder sie kann unter Echtzeitkontrolle mit CT-Fluoroskopie gesteuert werden (deutlich höhere Strahlenexposition des Durchführenden). Angiographieanlagen neuerer Bauart, die mit einer integrierten C-Arm-CT ausgestattet sind, werden sich hier in Zukunft möglicherweise bewähren, da das Fehlen der Gantry den Zugang zum Patienten vereinfacht. Intelligente Software kann die Echtzeitnavigation der Punktionsnadel zum Zielherd unterstützen.

Prinzipiell müssen zwei Nadelbiopsietechniken unterschieden werden: die Feinnadelaspiration (FNA) und die Stanzbiopsie. Obwohl mit der Stanzbiopsie, die eine zylindrische Gewebeprobe ausschneidet, naturgemäß mehr Material gewonnen wird als mit der FNA, schneidet letztere hinsichtlich diagnostischer Genauigkeit in einigen Untersuchungen vergleichbar gut ab, insbesondere wenn eng mit einem Zytopathologen zusammengearbeitet wird.

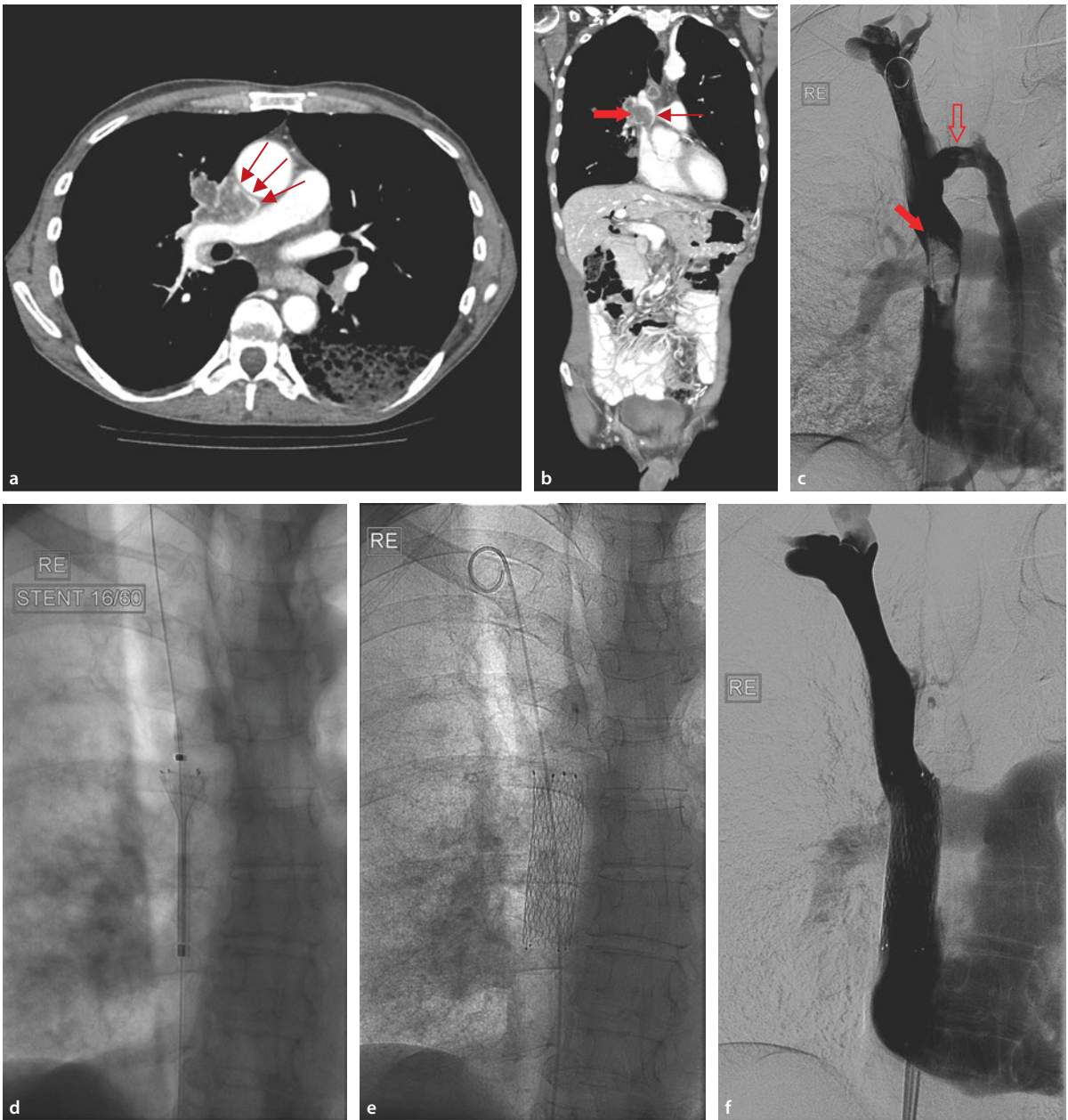
Ergebnisse

Bei Herden von über 1 cm Größe wird die diagnostische Genauigkeit mit 70–97 % angegeben, die Erfolgsrate bei der Gewinnung repräsentativer Biopsate sollte 75 % innerhalb eines Zentrums nicht unterschreiten.

Komplikationen

Mit sehr unterschiedlichen Angaben zwischen 10 und 50 % ist der Pneumothorax die bei weitem häufigste Komplikation der transthorakalen Nadelbiopsie; er ist bei der FNA weniger häufig als bei der Stanzbiopsie. Sehr tangentielle Punktionswege sollten vermieden und Interlobien und Bullae nicht durchquert werden. Das Pneumothoraxrisiko ist außerdem bei oberflächlichen Herden mit Pleurakontakt höher.

Dass das Pneu-Risiko direkt mit dem Kaliber der verwendeten Nadel korreliert, ist nicht belegt, es vergrößert



■ **Abb. 2.6a, b** Nichtkleinzelliges Lungenkarzinom mit Infiltration der V. cava superior (VCS, Pfeil), schlitzförmiges Restlumen (Pfeilspitzen). Symptomatische obere Einflusstauung. Über einen transfemoralen Zugang Kavographie (c): umflossene Kontrastaussparung in der VCS (Pfeil) unterhalb der retrograd kontrastierten V.-azygos-Mündung (leerer Pfeil). Freisetzen eines Nitinolstents (d, e) und Kontrollkavographie: Bei unbehindertem Abstrom in den Vorhof ist die V. azygos nicht mehr kontrastiert (f)

sich jedoch mit jeder Pleurapassage, so dass die Koaxialtechnik mit einer als Trokar benutzten Hohlnadel, durch die mehrere Proben entnommen werden können, möglicherweise sicherer ist als die Mehrfachpunktion, obwohl der Gesamtdurchmesser des Systems dann größer ist. Auch kann so möglicherweise die insgesamt sehr seltene Tumoraussaat (0,06 %) im Punktionskanal vermieden werden.

Weitere mögliche Komplikationen sind Hämoptysen – sie sind nicht selten, aber nur bei 0,5 % der Punktionen stationär therapiebedürftig. Selten und insbesondere bei zentraler gelegenen Herden kann es auch zu Luftembolien kommen (0,06 %).

Wegen der geringeren Atemexkursionen kann die Punktion in Bauchlage von Vorteil sein.

- Bei dyspnoischen Patienten, die primär nicht flach oder nicht auf dem Bauch liegen können oder auf Sauerstoffzugabe angewiesen sind, sollte die Indikation zur Biopsie generell streng gestellt und die therapeutische Konsequenz im Einzelfall geprüft worden sein.

Material und Fertigkeit zur akuten Absaugung eines bei der Punktion auftretenden größeren Pneumothorax müssen am CT-Arbeitsplatz vorhanden sein.

2.4.2 Thermische Ablation von Lungenherden

Lungenmetastasen und nicht lymphogen metastasierte Lungenkarzinome können bei Patienten, die funktionell nicht operabel sind, erfolgreich und parenchymsparend durch lokales Erhitzen behandelt werden. Dies ist mit vertretbar niedriger Komplikationsrate und ohne relevanten Lungenfunktionsverlust insbesondere bei peripher gelegenen Herden möglich. Die Behandlung hilusnaher Herde geht mit einer höheren Komplikationsrate einher und ist durch die Hitzeableitung in großen Gefäßen und Bronchien häufiger unvollständig und daher onkologisch nicht sinnvoll. Bildgestützte thermische Ablationsverfahren werden innerhalb onkologischer Therapiekonzepte seit langem eingesetzt. Primäre Lungentumoren und Lungenmetastasen können mit einem ausreichenden Sicherheitsabstand mittels Radiofrequenzablation (RFA), Kryoablation oder Mikrowellenablation (MWA) lokal therapiert werden. Die bei weitem meisten Ergebnisse sind zur RFA publiziert.

Die Energie wird über Sonden appliziert, die transthorakal CT-gestützt in der Zielläsion platziert werden. Sofern mehr als ein Applikator verwendet wird, ist es technisch möglich, auch Tumoren mit Durchmessern über 3 cm irreversibel zu zerstören. Allerdings ist die Aussicht auf lokale Tumorkontrolle von der Tumorgroße direkt abhängig und sinkt bei Tumoren über 3 cm Durchmesser unter 80 %, bei solchen über 4 cm unter 60 %.

Die Komplikationen sind bei ausreichender Entfernung von Herz, größeren Gefäßen und Bronchien im Wesentlichen mit der transthorakalen Lungenpunktion assoziiert, bei Applikatorstärken bis 14 G ist mit einer Pneumothoraxrate von mindestens 40 % zu rechnen, davon erfordert weniger als ein Drittel eine Thoraxdrainage. Gelegentlich wird ein Pneumothorax bewusst erzeugt, um die Ablation sicher durchführen zu können, d. h. um Verbrennungen der Thoraxwand zu vermeiden oder die Energie möglichst herzfjern zu applizieren.

Vierteljährliche CT-Kontrollen nach erfolgreicher, vollständiger Ablation zeigen Thermoläsionen im

Lungengewebe, die zunächst größer sind als der behandelte Herd (Sicherheitsabstand) und dann narbig schrumpfen. Zum Teil bilden sie im weiteren Verlauf Kavernen, was im Hinblick auf die lokale Tumorkontrolle als günstiges Zeichen gilt.

Literatur

- Avgerinos ED, Chaer RA (2015) Catheter-directed interventions for acute pulmonary embolism. *J Vasc Surg* 61: 559–565
- Chun J-Y, Morgan R, Belli A-M (2010) Radiological Management of Hemoptysis: A Comprehensive Review of Diagnostic Imaging and Bronchial Arterial Embolization. *Cardiovasc Intervent Radiol* 33: 240–250
- Cottin V, Dupuis-Girod S, Lesca G, Cordier J-F (2007) Pulmonary Vascular Manifestations of Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia (Rendu-Osler Disease). *Respiration* 74: 361–378
- Drews RE, Rabkin DJ (2015) Malignancy-related superior vena cava syndrome. www.uptodate.com/contents/malignancy-related-superior-vena-cava-syndrome?source=search_result&search=Malignancy-related+superior+vena+cava+syndrome&selectedTitle=1%7E150 (Zugriff 23.09.2016)
- Lencioni R, Crocetti L, Cioni R, Suh R, Glenn D, Regge D, Helmberger T, Gillams AR, Frilling A, Ambrogi M, Bartolozzi C, Mussi A (2008) Response to radiofrequency ablation of pulmonary tumours: a prospective, intention-to-treat, multicentre clinical trial (the RAP-TURE Study). *Lancet Oncol* 9: 621.628
- Lorenz JM (2012) Updates in Percutaneous Lung Biopsy: New Indications, Techniques and Controversies. *Seminars in Interventional Radiology* 29: 319–324
- Mahnken AJ (2014) Invasive Verfahren zur Abklärung pulmonaler Rundherde. *Radiologe* 54: 478–484
- Olsson KM, Meyer B, Hinrichs J, Vogel-Claussen J, Hoepfer MM, Cebotari S (2014) Chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie. *Dtsch Arztebl Int* 111: 856–862
- Remy-Jardin M, Bouaziz N, Dumont P, Brillet P-Y, Bruzzi J, Remy J (2004) Bronchial and Nonbronchial Systemic Arteries at Multi-Detector Row CT Angiography: Comparison with Conventional Angiography. *Radiology* 233: 741–749
- Sbano H, Mitchell AW, Ind PW, Jackson JE (2005) Peripheral Pulmonary Artery Pseudoaneurysms and Massive Hemoptysis. *AJR* 184: 1253–1259
- Sofocleous CT, Sideras P, Petre EN, Solomon SB (2011) Ablation for the Management of Pulmonary Malignancies. *AJR* 197: W581–W589
- Stampfl U (2013) Vena-cava-superior-Stents bei zentralvenösen Obstruktionen. In: Radeleff BA (Hrsg) *Angiofibel*, 1. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 232–235
- Trerotola SO, Pyeritz RE (2010) PAVM Embolization: An Update. *AJR* 195: 837–845
- Walker CM, Rosado-de-Christenson ML, Martinez-Jimenez S, Kunin JR, Wible BC (2015) Bronchial Arteries: Anatomy, Function, Hypertrophy, and Anomalies. *RadioGraphics* 35: 32–49
- Wolff FJ, Grand DJ, Machan JT, DiPetrillo TA, Mayo-Smith WW, Dupuy DE (2008) Microwave Ablation of Lung Malignancies: Effectiveness, CT-Findings, and Safety in 50 Patients. *Radiology* 247: 871–879

Thoraxchirurgie für den Allgemein- und
Viszeralchirurgen

Schneider, P.; Kruschewski, M.; Buhr, H.J. (Hrsg.)

2018, XXI, 281 S. 163 Abb., 87 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-662-48709-9