

Die perkutane transluminale Koronarangioplastie (PTCA) wurde erstmals 1977 von Andreas Grüntzig als Alternative zur koronaren Bypass-Chirurgie vorgestellt. Schon 1964 wandte Charles Dotter dieses Prinzip bei peripheren Gefäßen an. Im Rahmen der Entwicklung von kleinen, unelastischen Ballonkathetern durch Grüntzig wurde es möglich, die Methode auch bei kleinen peripheren Gefäßen und an den Herzkranzgefäßen anzuwenden. Weil die technischen Möglichkeiten anfangs begrenzt waren, kamen nur Patienten mit koronarer Eingefäßerkrankung und umschriebenen, proximalen Läsionen infrage. Technische Fortschritte und die zunehmende Erfahrung der ausführenden Ärzte machten eine rasche Verbreitung des Ansatzes möglich, schließlich konnten auch Patienten mit komplizierteren Läsionen und mit koronarer Mehrgefäßerkrankung behandelt werden. Einer der wichtigsten Fortschritte war die Einführung von koronaren Stents im Jahr 1994. Durch ihren Einsatz nahmen die Komplikationen ab und die Anzahl der Restenosen (oder rezidivierenden Stenosen) halbierte sich. 2003 wurden medikamentenbeschichtete Stents (Drug-eluting Stents, DES) eingeführt, was die Rate der Restenosen weiter reduzierte. Diese Stents setzen antiproliferative Wirkstoffe über einige Monate direkt in die Plaques frei. Die perkutane Koronarintervention (PCI) ist in den USA die häufigste Form der Revaskularisierung (mehr als doppelt so häufig wie die koronare Bypass-Operation, ca. 600.000 Patienten jährlich).

Das Gebiet der interventionellen Kardiologie hat sich innerhalb der Kardiologie zu einer anerkannten Spezialdisziplin mit eigener Ausbildung entwickelt. In den USA müssen für die Fachanerkennung 3 Jahre Weiterbildung in allgemeiner Kardiologie und danach eine einjährige Weiterbildung in interventioneller Kardiologie sowie eine Prüfung absolviert werden. In Deutschland wird die interventionelle Kardiologie in der Regel von Fachärzten der Inneren Medizin mit der Subspezialisierung bzw. dem Schwerpunkt Kardiologie durchgeführt. Die Zusatzfachbezeichnung Kardiologie kann während einer 3-jährigen Weiterbildung in einer befugten Weiterbildungsstätte erworben werden und beinhaltet unter anderem auch die Mitwirkung an diagnostischen und therapeutischen Kathetereingriffen. Die Disziplin beinhaltet mittlerweile auch Interventionen bei strukturellen Herzerkrankungen, z. B. die Behandlung von angeborenen Herzfehlern oder erworbenen Herzklappenerkrankungen. Daneben ist auch die Behandlung der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit ein Bestandteil (atherosklerotische und nicht atherosklerotische Läsionen der Karotiden, der Nierenarterien, der Aorta oder des peripheren Kreislaufs).

TECHNIK

Der Ablauf ist zu Beginn derselbe wie bei einer diagnostischen Koronarangiografie ([Kap. 272](#)). Der Gefäßzugang erfolgt über die A. femoralis oder A. radialis. Um thrombotische Komplikationen während des Eingriffs zu vermeiden, sollen Patienten, bei denen eine Angioplastie geplant ist, vor der Intervention Acetylsalicylsäure (325 mg) erhalten. Zusätzlich kann Clopidogrel (Aufsättigungsdosis 300–600 mg), Prasugrel (Aufsättigungsdosis 60 mg) oder Ticagrelor (Aufsättigungsdosis 180 mg) gegeben werden. Während der Prozedur erfolgt eine weitere Antikoagulation mit unfractioniertem Heparin, Enoxaparin (ein niedermolekulares Heparin) oder Bivalirudin (ein direkter Thrombininhibitor). Zusätzlich kann bei Patienten mit akutem Myokardinfarkt und hoher Thrombuslast in einer Koronararterie ein Glykoprotein-IIb/IIIa-Inhibitor intravenös gegeben werden (Abciximab, Tirofiban, Eptifibatid).

Nach Platzierung einer Schleuse werden mit vorgeformten Führungskathetern die Ostien der Koronararterien aufgesucht. Über den Führungskatheter wird ein flexibler, steuerbarer Führungsdraht unter Durchleuchtung ins Lumen der Koronararterie und über den stenotischen Bereich hinweg vorgeschoben. Der Führungsdraht dient im Weiteren als „Schienung“, über die weitere Instrumente wie Angioplastieballons oder Stents zur Engstelle vorgeschoben werden können. Normalerweise wird das verengte Gefäß mit einem Ballonkatheter dilatiert und anschließend ein Stent implantiert. Zuletzt werden alle Katheter und die Schleuse entfernt und die Arterie wird zur Blutstillung manuell komprimiert oder mithilfe verschiedener Techniken verschlossen. Eine PCI kann in Lokalanästhesie unter leichter Sedierung stattfinden; daher ist nur ein kurzer stationärer Aufenthalt nötig (1 Tag).

Das Prinzip der Angioplastie beruht darauf, die Arterie zu dehnen und die Plaque vom Lumen in die Gefäßwand zu drücken; dadurch nimmt der Gesamtdurchmesser des Gefäßes zu ([Abb. 296e-1](#) und [Abb. 296e-2](#)). Zu einer Embolisation des atherosklerotischen Materials kommt es nur selten. Wegen der unelastischen Bestandteile von Plaques entstehen durch die Gefäßaufdehnung kleine, umschriebene Dissektionen, die sich ins Lumen wölben können und die akute Bildung von Thromben begünstigen. Sind diese Dissektionen ausgeprägt, können sie zu einem akuten thrombotischen Gefäßverschluss führen. Stents können diese Komplikationen großteils verhindern, da sie die dissezierten Anteile an die Gefäßwand drücken ([Abb. 296e-1](#)).

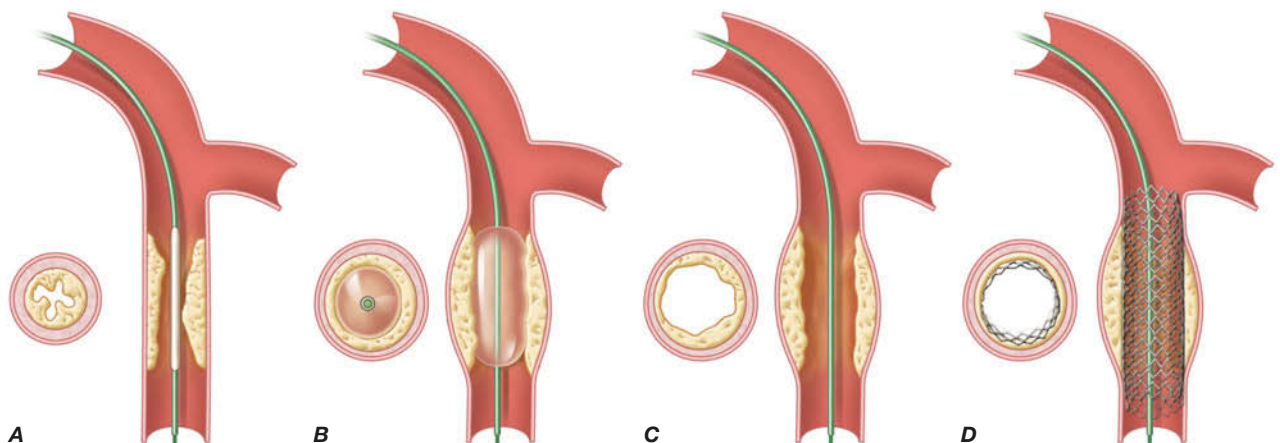


Abbildung 296e-1 Schematische Darstellung der Ballonangioplastie und der Stentimplantation. **A.** Unter Durchleuchtung wird ein Ballonkatheter über einen Führungsdraht in den stenotischen Gefäßabschnitt geführt. **B.** Der Ballon wird aufgeblasen und verschließt kurzzeitig das Gefäß. **C.** Durch die Dehnung des Gefäßes vergrößert sich das Lumen; gleichzeitig entstehen meist kleine Dissektionen der Neointima. **D.** Ein Stent, der auf einem Ballon montiert ist, wird im Bereich der Stenose platziert und durch Aufblasen des Ballons gegen die Gefäßwand gedrückt (nicht abgebildet). Anschließend wird der Ballon abgelassen und entfernt. Der Stent verbleibt als Stütze im Gefäß, hält die Dissektionen an der Wand und verhindert eine neuerliche Gefäßverengung. (Nach *EJ Topol: Textbook of Cardiovascular Medicine, 2nd ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2002*.)



A



B

Abbildung 296e-2 Akute pathologische Auswirkungen der Ballonangioplastie mit Intimadissektion und Gefäßdehnung (A) (aus M Ueda et al: *Eur Heart J* 12:937, 1991; mit frdl. Genehmigung) und ein Beispiel für eine hyperplastische Neointima mit daraus resultierender Gefäßverengung und Restenose (B) (aus CE Essed et al: *Br Heart J* 49:393, 1983; mit frdl. Genehmigung).

Stents werden bei mehr als 90 % aller Koronarangioplastien eingesetzt. Die Stents bestehen aus einem Drahtnetz (normalerweise rostfreier Stahl), das sich zusammengelegt um den nicht aufgeblasenen Angioplastieballon herum befindet. Wird der Ballon aufgeblasen, expandiert der Stent auf die ungefähre Größe des „normalen“ Gefäßlumens. Im Anschluss wird der Ballon abgelassen und entfernt und der Stent bleibt als dauerhafte Struktur in der Arterie zurück. Dank des Aufbaus der Verstrebungen sind Stents biegsam und können gewundene, atherosklerotische Koronararterien passieren. Sie sind aber starr genug, um den elastischen Rückstellkräften des Gefäßes zu widerstehen. Der Erfolg und die Sicherheit der Interventionen konnte durch Stents wesentlich verbessert werden.

Medikamentenbeschichtete Stents (Drug-eluting Stents; DES) führten zu einer weiteren Steigerung der Effektivität der perkutanen Koronarintervention. Auf einen Metallstent wird mithilfe einer Polymer-Beschichtung ein antiproliferativer Wirkstoff appliziert. Dieser Wirkstoff wird vom Stent über 1–3 Monate nach der Implantation freigegeben. DES konnten die Zahl der Restenosen um 50 % senken, bei einfachen Läsionen kommt es in 5–10 % der Fälle zu einer symptomatischen Restenose. Wenig überraschend kam es daher zu einer raschen Verbreitung dieser Methode. Momentan sind 80–90 % aller Stents DES. Die erste Generation der DES waren mit Sirolimus oder Paclitaxel beschichtet. Die zweite Generation der DES verwendet neuere Wirkstoffe wie Everolimus, Biolimus und Zotarolimus. Mit ihnen konnte eine höhere Effektivität bei weniger Komplikationen (frühe oder späte Stentthrombose) erreicht werden, weswegen die Zweitgenerationen-Stents die erste Generation ersetzt haben. Derzeit werden Stents untersucht, bei denen die Wirksubstanzen mittels biologisch abbaubarer Polymere am Stent angebracht werden; möglicherweise bestehen hier Vorteile im Hinblick auf späte Stentthrombosen. Außerdem konnte die Wirksamkeit und Sicherheit eines Everolimus-freisetzenden Stents mit biologisch abbaubarem Gerüst nachgewiesen werden; dieser Stent löst sich nach einigen Jahren vollständig auf, wodurch wieder ein physiologischer Zustand im Gefäß hergestellt wird. In Europa besteht dafür bereits eine Zulassung. Weitere neue Stents werden derzeit untersucht. Andere Instrumente, die bei einer Intervention zum Einsatz kommen, sind Atherektomiekateter und Thrombektomiekateter. Sie dienen der Entfernung atherosklerotischen oder thrombotischen Materials und werden ergänzend zu Ballon und Stents eingesetzt. Von diesen zusätzlichen Methoden wird am

häufigsten die so genannte Rotationsatherektomie (Rotablation) durchgeführt. Das Instrument ist – ähnlich dem Bohrgerät von Zahnärzten – mit kleinen, runden Bohrern (1,25–2,5 mm) an der Spitze eines flexiblen Drahtschafes ausgestattet. Es wird über den Führungsdraht zur Stenose geführt und rotiert dann, um atherosklerotisches Material abzuschieben. Weil die entstehenden atherosklerotischen Partikel kleiner als 25 µm sind, gelangen sie in die koronare Mikrozirkulation und verursachen selten Probleme. Besonders hilfreich ist der Einsatz dieses Instruments bei stark verkalkten Plaques, die nicht mit einem Ballon dilatiert werden können. Aufgrund der technologischen Fortschritte bei Stents kommt die Rotationsatherektomie nur relativ selten zum Einsatz. Direktionale Atherektomiekateter werden an Koronargefäßen nicht mehr eingesetzt, können aber bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit Verwendung finden. Beim akuten Myokardinfarkt mit ST-Streckenhebung kann man mit speziellen Kathetern ohne Ballon den Thrombus aspirieren, um eine Embolisation entlang der Koronararterie zu verhindern und den Blutfluss vor der Angioplastie und Stentimplantation zu verbessern. Es liegen einige Hinweise vor, dass eine manuelle Thrombusaspiration die Perfusion verbessern und die Mortalität bei einer primären PCI senken kann.

Bei einer PCI von Läsionen in degenerierten V.-saphena-Grafts kommt es, im Gegensatz zu den nativen Koronargefäßen, deutlich häufiger zu distalen Embolisationen von atherosklerotischem Material. Die Häufigkeit von Embolisationen und von Myokardinfarkten in diesen Fällen konnte mit distalen Schutzvorrichtungen reduziert werden. Meistens benutzt man ein zusammenklappbares Drahtkörnchen am Ende eines Führungsdrahts, das vor der Angioplastie im distalen Gefäßabschnitt entfaltet wird. Wenn atherosklerotisches Material abgelöst wird, kann man es mit dieser Vorrichtung auffangen. Am Ende der Intervention wird das Auffangkörnchen mit dem Material über einen Katheter geborgen.

ERFOLGE UND KOMPLIKATIONEN

Eine (angiografisch) erfolgreiche Intervention, im Sinne einer Reduktion der Stenose auf unter 20 % des Gefäßdurchmessers, gelingt in 95–99 % aller Fälle. Die Erfolgsrate ist niedriger, wenn Gefäße klein, gewunden, kalzifiziert oder komplett verschlossen sind. Den schlechtesten Erfolg (60–70 %) verzeichnet man bei chronischen Kompletterschlüssen. Hier macht der Versuch einer Revascularisierung höchstens dann Sinn, wenn der Verschluss kurzstreckig ist oder günstige anatomische Verhältnisse vorherrschen.

Schwerwiegende Komplikationen sind selten, die Mortalität beträgt allerdings 0,1–0,3 % bei elektiven Eingriffen; ein ausgedehnter Myokardinfarkt kommt in weniger als 3 % der Fälle vor, ein Schlaganfall bei unter 0,1 %. Ein eindeutig höheres Risiko haben ältere Patienten (über 65 Jahre), die sich einer Akutintervention unterziehen, niereninsuffizient sind, einen ST-Streckenhebungsinfarkt (STEMI) oder einen Kreislaufchock entwickelt haben. Zur Abschätzung des Risikos können Scoring-Systeme eingesetzt werden.

Ein Myokardinfarkt während einer PCI kann aus mehreren Gründen zustande kommen, einschließlich einem akuten thrombotischen Verschluss, einer gravierenden koronaren Gefäßdissektion, der Embolisation von thrombotischem oder atherosklerotischem Material oder dem Verschluss eines Seitenastes im Gebiet der Angioplastie. Die meisten Myokardinfarkte sind klein und machen sich nur durch einen postinterventionellen Anstieg von Kreatinphosphokinase (CK) oder Troponin bemerkbar. Nur Infarkte mit einer deutlichen Enzymauslenkung (mehr als das 3- bis 5-Fache des Referenzbereichs) sind mit einer schlechten Langzeitprognose verbunden. Stents können durch ihren stützenden Effekt koronare Dissektionen größtenteils verhindern.

Bei Metallstents kann es zu thrombotischen Verschlüssen kommen (1–3 %), entweder akut (< 24 Stunden) oder subakut (1–30 Tage). Diese Gefahr kann verringert werden, indem man auf eine vollständige initiale Stententfaltung achtet und eine duale antithrombozytäre Therapie verordnet (Acetylsalicylsäure und ein thrombozytärer P₂Y₁₂-Rezeptor-Blocker wie Clopidogrel, Prasugrel oder Ticagrelor). Späte (30 Tage – 1 Jahr) und sehr späte (> 1 Jahr) Stentthrombosen ereignen sich insgesamt sehr selten; sie treten aber häufiger bei medikamentenfreisetzenden Stents der ersten Generation auf, weshalb in diesem Fall die duale antithrombozytäre Therapie bis zu 1 Jahr oder auch länger fortgesetzt werden muss. Bei DES der zweiten Generation kommen späte und sehr späte Stentthrombosen seltener vor, weswegen eine kürzere duale antithrombozytäre Therapie möglich ist. Ein zu frühes Absetzen der dualen antithrombozytären Therapie ist be-

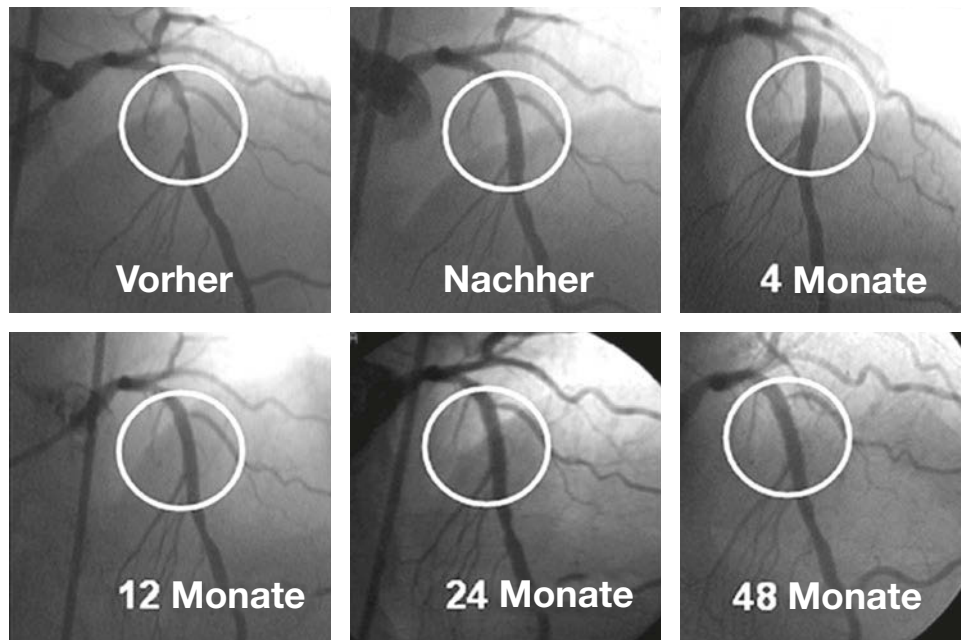


Abbildung 296e-3 Langzeitergebnisse eines der ersten Patienten, der einen mit Sirolimus beschichteten Stent in einer frühen Studie in São Paulo erhalten hat. (Aus: GW Stone, in D Baim [ed]: *Cardiac Catheterization, Angiography and Intervention*, 7th ed, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2006; mit frdl. Genehmigung.)

sonders im 1. Monat nach Implantation mit einem signifikant erhöhten Risiko für eine Stentthrombose assoziiert (3- bis 9-fach größer). Die Stentthrombose verläuft bei 10–20 % der Patienten tödlich, 30–70 % erleiden einen akuten Myokardinfarkt. Elektive Operationen, die eine Unterbrechung der antiaggregatorischen Therapie nach DES-Implantation erfordern, sollten wenn möglich frühestens nach 6 Monaten, besser erst nach 1 Jahr stattfinden.

Eine Restenose bzw. eine erneute Verengung einer dilatierten Koronarstenose ist die häufigste Komplikation der Angioplastie und kommt im ersten Jahr bei Patienten mit ausschließlicher Angioplastie in 20–50 % vor, bei Patienten mit reinem Metallstent (Bare Metal Stent, BMS) in 10–30 % und bei Patienten mit medikamentenfreisetzungsfähigen Stents (DES) in 5–15 %. Die Tatsache, dass bei einer Stentimplantation sofort danach ein größeres Lumen als bei einer Ballonangioplastie entsteht, reduziert die Rate nachfolgender Restenosen. Bei DES kommt es außerdem zu weniger Restenosen, weil ein überschüssiges Wachstum der Intima im Bereich des Stents verhindert wird. Wenn es zu keiner Restenose kommt, ist die Prognose exzellent (**Abb. 296e-3**). Klinisch wird eine Restenose als Angina pectoris oder in Form anderer rezidivierender Symptome innerhalb der ersten 9 Monate manifest. Seltener stellen sich Patienten mit Nicht-ST-Streckenhebungsinfarkt (10 %) oder ST-Streckenhebungsinfarkt (5 %) vor. Zur Diagnosestellung einer Restenose ist die Bestätigung einer maßgeblichen Stenose an der Stelle der zurückliegenden PCI nötig. Eine Reintervention der Zielläsion (Target Lesion Revascularization, TLR) bzw. des Zielgefäßes (Target Vessel Revascularization, TVR) ist definiert als angiografisch gesicherte Restenose mit nachfolgender Re-PCI oder Anlage eines koronararteriellen Bypass-Grafts (Coronary Artery Bypass Graft, CABG). Angiografisch ist die Restenosierungsrate deutlich höher als klinisch (TLR bzw. TVR), weil viele Patienten eine leichte Restenose ohne erneute Beschwerden haben. Normalerweise wird bei einer klinisch manifesten Restenose die PCI mit Ballondilatation und Setzen eines medikamentenfreisetzungsfähigen Stents wiederholt. Alternativ können In-Stent-Restenosen heutzutage auch mit medikamentenbeschichteten Ballons (DEB) nachdilatiert werden. Ist erst einmal eine Restenose aufgetreten, ist das Risiko für eine weitere Restenose größer. Zu den weiteren Risikofaktoren der Restenose zählt man Diabetes mellitus, Myokardinfarkt, langstreckige Gefäßläsionen, kleinkalibrige Gefäße und ein nicht optimales Ergebnis der ursprünglichen Intervention.

■ INDIKATIONEN

Die Leitlinien des American College of Cardiology (ACC) und der American Heart Association (AHA) widmen sich ausführlich den Indikationen für eine perkutane koronare Intervention bei Patienten mit stabiler oder instabiler Angina pectoris, ST-Streckenhebungsinfarkt und Nicht-ST-Streckenhebungsinfarkt (STEMI und NSTEMI) und bil-

den eine ausführliche Grundlage für die Indikationsstellung. Entsprechende Leitlinien wurden auch von der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) erarbeitet und können auf der Webseite der Fachgesellschaft eingesehen werden (www.escardio.org). Die zwei Hauptindikationen einer koronaren Revaskularisation bei Patienten mit stabiler Angina pectoris (**Kap. 293**) sind (1) die Verbesserung der Symptomatik bei Patienten, die auf eine adäquate medikamentöse Therapie nicht ansprechen und (2) die Reduktion der Mortalität bei Patienten mit schwerer koronarer Herzkrankheit. Bei Patienten mit stabiler Angina pectoris, die medikamentös gut eingestellt sind, führt eine initiale Intervention zu keiner prognostischen Verbesserung und kann verschoben werden, bis sich die Symptome verschlechtern oder Anzeichen einer schweren Ischämie in der nicht invasiven Diagnostik auftreten; dies zeigen Untersuchungen wie die Clinical-Outcomes-Utilizing-Revascularization-and-Aggressive-Drug-Evaluation(COURAGE)-Studie und die Bypass Angioplasty Revascularization Investigation 2 Diabetes (BARI-2D)-Study. Wann eine Revaskularisation indiziert ist, hängt von einer Reihe klinischer und anatomischer Faktoren ab (**Abb. 296e-4**). Die Synergy between Percutaneous Coronary Intervention with Taxus and Cardiac Surgery (SYNTAX)-Study verglich bei 1800 Patienten mit koronarer Dreifäßerkrankung oder Hauptstammstenose der linken Koronararterie eine PCI mit einem Paclitaxel-freisetzungsfähigen Stent mit einer Bypass-Operation. Die Studie fand innerhalb 1 Jahres keine Unterschiede in der Mortalität oder bei akuten Myokardinfarkten. Eine erneute Revaskularisation war in der Stent-Gruppe aber häufiger nötig (13,5 % vs. 5,9 %), während ein Schlaganfall signifikant öfter bei den operierten Patienten auftrat (2,2 % vs. 0,6 %). Der primäre Endpunkt war in Bezug auf Tod, Myokardinfarkt, Schlaganfall oder Revaskularisation in der Bypass-Gruppe signifikant besser, insbesondere bei Patienten mit sehr ausgedehnter koronarer Herzkrankheit. Die Ergebnisse nach 3 Jahren bestätigen diese Befunde. Die FREEDOM-Studie (The Future Revascularisation Evaluation in Patients with Diabetes Mellitus: Optimal Management of Multivessel Disease) konnte bei 1900 randomisierten Patienten mit Diabetes mellitus und Mehrgefäßerkrankung eine signifikant bessere Ergebnis hinsichtlich Tod, Myokardinfarkt und Schlaganfall bei einer Bypass-Operation im Vergleich zur PCI nachweisen. Die Studienlage spricht also für eine Bypass-Operation bei Patienten mit sehr schwerer koronarer Herzkrankheit mit Beteiligung des linken Hauptstamms oder Dreifäßerkrankung bzw. bei Diabetikern.

Die Wahl zwischen PCI und Bypass-Operation hängt auch vom voraussichtlichen Erfolg bzw. den Komplikationen der PCI und den Risiken einer Operation ab. Bei der PCI ist die Koronar Anatomie entscheidend. Die Lage der Läsion im Gefäß (proximal oder distal), wie stark gewunden das Gefäß ist, und das Kaliber des Gefäßes spielen eine Rolle. Zusätzlich muss die Art der Läsion beurteilt werden, also der Stenosegrad und die Länge der Stenose sowie das Vorhandensein

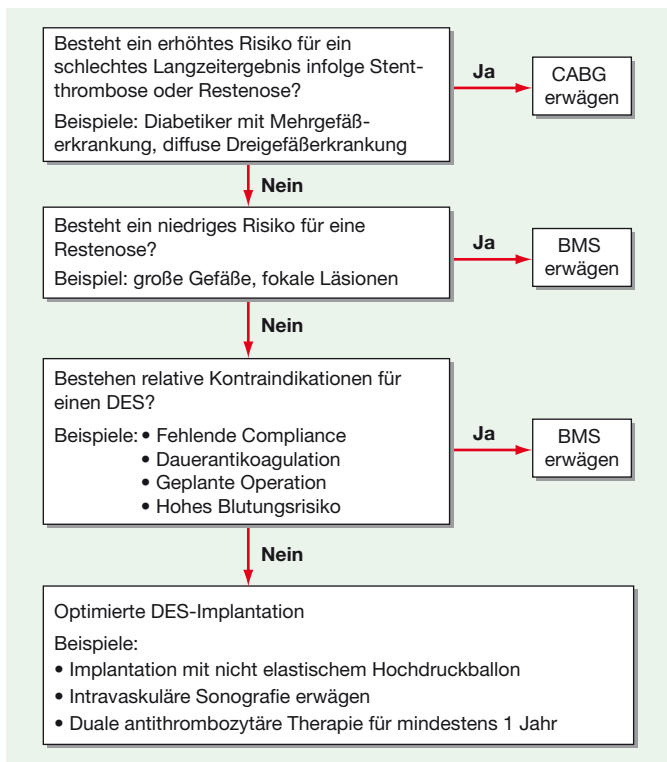


Abbildung 296e-4 Mehrere Faktoren müssen berücksichtigt werden bei der Wahl zwischen reinem Metallstent (Bare Metal Stent, BMS), medikamentenfreisetzendem Stent (Drug-eluting Stent, DES) und koronararteriellem Bypass (CABG). ACS = akutes Koronarsyndrom; STEMI = ST-Streckenhebungsinfarkt. (Aus AA Bavy, DL Bhatt: *Circulation* 116:696, 2007; mit frdl. Genehmigung.)

von Kalzifizierungen oder Thromben. Eine nicht behandelbare Läsion ist der häufigste Grund, sich gegen eine PCI zu entscheiden, meistens aufgrund eines chronischen Totalverschlusses (> 3 Monate). Unter diesen Voraussetzungen war die Erfolgsrate bisher niedrig (30–70 %) und Komplikationen treten öfter auf. Es gibt eine Klassifikation atherosklerotischer Gefäßläsionen von ACC und AHA. Die höchste Erfolgsrate besteht bei Typ-A-Läsionen (z. B. ein proximaler, nicht verkalkter, subtotaler Verschluss), die geringste Erfolgsrate und die höchste Komplikationsrate haben Typ-C-Läsionen (z. B. chronische Kompletterschlüsse). Mittelschwere Läsionen werden in Typ B1 und Typ B2 eingeteilt, je nach der Anzahl ungünstiger Faktoren. Ca. 25–30 % der Patienten sind wegen ungünstiger anatomischer Verhältnisse keine Kandidaten für eine PCI, bei geplanter Bypass-Operation ist die Anatomie nur in 5 % der Patienten ein Ausschlussgrund. Der Hauptgrund für eine Inoperabilität sind schwere Begleiterkrankungen, z. B. fortgeschrittenes Alter, schlechter Allgemeinzustand, eine schwere chronische obstruktive Lungenerkrankung (COPD) oder eine schlechte Linksherzfunktion.

Eine weitere Überlegung bei der Wahl des Verfahrens ist das Ausmaß der Revaskularisation. Bei Patienten mit Mehrgefäßerkrankung ist ein Bypass-Graft an allen Gefäßen mit signifikanter Stenose möglich, während mit der PCI aufgrund der anatomischen Verhältnisse möglicherweise nur manche Läsionen behandelbar sind. Die Beurteilung intermediärer Läsionen mittels Bestimmung der fraktionellen Flussreserve (FFR) (Kap. 272) kann helfen, interventionsbedürftige Stenosen zu ermitteln. Die FAME-Studie (Fractional Flow Reserve versus Angiography for Multivessel Evaluation) konnte zeigen, dass die Komplikationsrate um 30 % abnimmt, wenn in der PCI nur hämodynamisch relevante Läsionen (FFR < 0,80) revaskularisiert werden. Daher sollte bei der Planung der Revaskularisationsstrategie beachtet werden, dass idealerweise alle funktionell signifikanten Läsionen vollständig revaskularisiert werden. Insgesamt spielen bei jedem Patienten mit Mehrgefäßerkrankung viele Faktoren bei der Wahl des Vorgehens eine Rolle. Daher ist eine Absprache zwischen Herzchirurg, interventionellem Kardiologen und anderen behandelnden Ärzten („Herzteam“) die beste Lösung, um alle Möglichkeiten zu erörtern.

Patienten mit akutem Koronarsyndrom haben eine hohe Kurz- und Langzeitmortalität. Randomisierte klinische Studien haben gezeigt, dass eine PCI einer aufwendigen medikamentösen Therapie überlegen ist und die Mortalität und die Rate der Myokardinfarkte senkt,

wobei Hochrisikopatienten am meisten profitieren. Dazu zählen Patienten mit refraktärer Ischämie, rezidivierender Angina pectoris, erhöhten Herzenzymen, neu aufgetretenen ST-Streckensenkungen, niedriger Ejektionsfraktion, schweren Rhythmusstörungen oder kurz zurückliegender PCI bzw. Bypass-Operation. Bei Hochrisikopatienten mit akutem Koronarsyndrom wird eine PCI einer Operation meist vorgezogen, außer es liegt eine schwere Mehrgefäßerkrankung vor oder die ursächliche Läsion kann nicht entsprechend behandelt werden. Bei STEMI sind eine fibrinolytische Therapie oder die primäre PCI wirksame Strategien, um den koronaren Blutfluss innerhalb der ersten 12 Stunden nach Symptombeginn wiederherzustellen und Myokard zu retten. Die PCI ist – wenn verfügbar – das Verfahren der Wahl, weil sie zur Wiederherstellung der Perfusion effektiver als eine fibrinolytische Therapie ist. Eine PCI kann auch im Anschluss an eine Fibrinolyse erfolgen, um die Reperfusion zu verbessern, oder als Notfall-PCI bei Patienten, die nach einer Fibrinolyse keine adäquate Perfusion haben oder einen kardiogenen Schock entwickeln.

■ ANDERE INTERVENTIONEN
Strukturelle Herzerkrankungen

Interventionen bei strukturellen Erkrankungen des Herzens (angeborene Herzfehler beim Erwachsenen und Herzklappenerkrankungen) sind ein wichtiger Bereich der interventionellen Kardiologie, der zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Die häufigste perkutane Intervention bei Herzfehlern des erwachsenen Patienten ist der Verschluss von Vorhofseptumdefekten (Kap. 282). Wie bei einer diagnostischen Rechtsherzkatheterisierung wird ein Katheter über die V. femoralis in den rechten Vorhof vorgeschoben. Echokardiografisch und unter Durchleuchtung kann der Defekt genau lokalisiert und mit verschiedenen Instrumenten verschlossen werden. Bei allen Techniken kommt ein atrialer platzierter Doppelschirm zum Einsatz, der aus Metallmaschen besteht und mit einer Membran ausgekleidet ist. Die beiden Schirmteile werden in Richtung Septum zusammgezogen, um den Defekt abzuschließen. Am häufigsten wird der Amplatzer-Okkluder (AGA Medical, Minneapolis, Minnesota) verwendet. Die Erfolgsrate beträgt bei geeigneten Patienten 85–95 %, Komplikationen sind selten (embolische Verschleppungen des Okkluders, Infektionen, Erosionen). Der Verschluss eines persistierenden Foramen ovale geschieht in ähnlicher Weise. Ein Foramen-ovale-Verschluss kommt bei Patienten infrage, die trotz entsprechender Antikoagulation bzw. antithrombozytärer Therapie rezidivierende Insulte mit paradoxer Embolie erlitten haben. Allerdings konnte bislang kein therapeutischer Vorteil nachgewiesen werden. In der CLOSURE-I-Studie wurden 909 Patienten mit unerklärtem Schlaganfall bzw. TIA und persistierendem Foramen ovale randomisiert. Ein Verschluss erbrachte keinen Vorteil im Hinblick auf den primären Endpunkt (30-Tages-Mortalität, 2-Jahres-Mortalität infolge neurologischer Ursachen und Schlaganfall/TIA innerhalb von 2 Jahren). Weitere Studien bestätigen diese Ergebnisse. Der Einsatz der Methode bei Migräne stellt keine zugelassene Indikation dar und wird zurzeit klinisch erforscht.

Die Behandlung von Herzklappenerkrankungen ist das sich am raschesten entwickelnde Gebiet der interventionellen Kardiologie. Bis vor Kurzem war die einzige verfügbare Technik die Ballonvalvuloplastie zur Behandlung von Aorten-, Mitralklappen- oder Pulmonalstenosen (Kap. 283). Die Valvuloplastie der Mitralklappe ist die Methode der Wahl für Patienten mit einer symptomatischen postreumatischen Mitralklappenstenose und günstigen anatomischen Voraussetzungen. Der Erfolg entspricht dem einer chirurgischen Kommissurotomie und hängt in hohem Ausmaß vom echokardiografischen Erscheinungsbild der Klappe ab. Die beste Situation findet sich bei einer Verwachsung der Kommissuren ohne Kalzifizierung, ohne subchordale Verwachsungen und ohne relevante Mitralsuffizienz. Der Zugang erfolgt über die V. femoralis und transseptal. Ein langer Katheter mit Nadelspitze wird über den rechten Vorhof auf Höhe des Foramen ovale durch das Septum in den linken Vorhof eingebracht. Ein Führungsdraht wird in den linken Ventrikel vorgeschoben und ein Ballonkatheter zur Dilatation auf Höhe der Mitralklappe platziert. Der Ballon wird bis zu einem festgelegten Durchmesser aufgeblasen, wodurch die Klappenöffnung vergrößert wird. Am häufigsten wird ein so genannter Inoue-Ballonkatheter verwendet. Durch diese Methode werden kommissurale Verwachsungen gesprengt und die Mitralklappenöffnungsfläche normalerweise verdoppelt. Bei guten anatomischen Verhältnissen liegt die Erfolgsrate bei 95 %, ernsthafte Komplikationen sind selten (1–2 %). Die häufigsten Komplikationen sind eine Tamponade durch

Fehlpunktion ins Perikard und eine schwere Mitralsuffizienz als Resultat des Eingriffs.

Von den Klappeninsuffizienzen kann nur eine schwere Mitralklappeninsuffizienz effektiv interventionell behandelt werden (MitraClip, Fa. Abbott). Bei dieser Prozedur wird ein Katheter transseptal in den linken Vorhof eingebracht. Ein spezieller Katheter mit Metallclip am distalen Ende wird anschließend durch die Mitralklappe geführt und dann retrahiert, um die mittleren Anteile des anterioren und posterioren Klappensegels zu fassen und aneinanderzuclippen. Der Clip erzeugt eine doppelte Öffnung der Mitralklappe und ermöglicht so eine Reduktion der Insuffizienz, ähnlich wie nach einer chirurgischen Rekonstruktion (Alfieri-Operation). In der EVEREST-II-Studie (Endovascular Edge-to-Edge Repair Study) zeigte sich, dass die Rekonstruktion mit diesem System zwar sicher, aber weniger effektiv als eine chirurgische Rekonstruktion war. Der Einsatz beschränkt sich derzeit auf Patienten, die sich für einen operativen Eingriff nicht eignen, insbesondere, wenn die Klappeninsuffizienz funktionell bedingt ist.

Auch eine hochgradige Aortenstenose kann mit einer Ballonvalvuloplastie behandelt werden. In diesem Fall erfolgt der Zugang retrograd über die A. femoralis; der Ballon wird auf Höhe der Aortenklappe aufgeblasen, um diese zu erweitern. Die initiale Erfolgsrate (Klappenöffnungsfläche > 1 cm²) ist mit 50 % relativ niedrig, nach 6–12 Monaten kommt es bei 25–50 % der Patienten zu einer Restenose. Wegen des geringen Erfolgs ist das Verfahren meistens entweder auf Patienten beschränkt, die für eine Operation nicht infrage kommen, oder es kommt überbrückend bis zum operativen oder interventionellen Klappenersatz zum Einsatz. Aufgrund dieser Voraussetzungen ist die mittelfristige Mortalität hoch (10 %). Fälle mit Restenose und erneuter Aortenklappenvalvuloplastie sind beschrieben.

Für Hochrisikopatienten, die für einen operativen Ersatz der Aortenklappe nicht geeignet sind, steht mittlerweile die Möglichkeit eines perkutanen Aortenklappenersatzes (TAVI) zur Verfügung. Derzeit sind zwei Klappenmodelle zugelassen: Die Edwards SAPIEN Valve (Edwards Lifescience, Irvine, California) und das CoreValve ReValving System (Medtronic, Minneapolis, Minnesota). In Follow-up-Studien an 10.000 Patienten weltweit fanden sich keine Hinweise für eine Restenose oder eine mittelfristige schwere Dysfunktion des Klappenersatzes. Das CoreValve entfaltet sich von selbst, das Edwards-Valve wird mit einem Ballon entfaltet. Die Schleuse ist großlumig (14–22 French); am häufigsten wird (wenn möglich) ein retrograder Zugang über die A. femoralis gewählt. Bei Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit kann ein Zugang über die A. subclavia oder ein transapikaler Zugang nach chirurgischer Freilegung erfolgen. Nach einer Ballonvalvuloplastie wird der Klappenersatz durch Aufblasen eines Ballons am Aortenring fixiert. Die Erfolgsrate beträgt 80–90 % und die 30-Tages-Mortalität beträgt 10–15 %. Das ist insofern nicht überraschend, als sich zum jetzigen Zeitpunkt nur Hochrisikopatienten der Prozedur unterziehen. Die randomisierte PARTNER-Studie (Placement of Aortic Transcatheter Valve), bei der das Edwards-System untersucht wurde, ergab in der TAVI-Gruppe im Vergleich zur medikamentösen Behandlung eine 55%ige Reduktion der 1-Jahres-Mortalität und eine Reduktion des Risikos für schwere Komplikatio-

nen. In einer weiteren randomisierten Studie zeigte sich bei Hochrisikopatienten mit TAVI ein ähnliches Ergebnis nach 1 Jahr. In der Folge wurde das System für Patienten mit schwergradiger Aortenklappenstenose und hohem bzw. maximalem Risiko zugelassen.

Bei Pulmonalklappenstenose ist ebenfalls eine perkutane Ballonvalvuloplastie mit anschließendem Klappenersatz (Melody-Stent, Fa. Medtronic) möglich. Interventionen an der Trikuspidalklappe werden derzeit nur experimentell untersucht.

■ INTERVENTIONEN AN PERIPHEREN ARTERIEN

In den USA zählen Interventionen bei symptomatischen Stenosen der Karotiden, der Nierengefäße, der Aorta und der peripheren Gefäße ebenfalls zu den Aufgaben der interventionellen Kardiologie. In Europa werden perkutane interventionelle Verfahren bei Erkrankungen der Extremitätenarterien, der Nierenarterien und der Aorta vorwiegend von interventionellen Radiologen und interventionell tätigen Angiologen, bei Stenosen der Karotiden auch von Neuroradiologen durchgeführt. In einzelnen Zentren werden diese Verfahren auch zunehmend von interventionell tätigen Kardiologen angeboten. Daten aus randomisierten klinischen Studien sprechen für den Einsatz von Karotisstents bei Patienten mit hohem Risiko für Komplikationen bei einer Thrombendarteriektomie der Karotis (Abb. 296e-5). Kürzlich durchgeführte Studien zeigen ähnliche Ergebnisse für Karotisstents und Karotisendarteriektomie bei Patienten mit mittlerem Risiko, wobei je nach individuellem Risiko für einen periinterventionellen Schlaganfall oder Myokardinfarkt eine Prozedur besser als die andere geeignet sein kann. Der Erfolg bei peripheren Gefäßinterventionen hat zugenommen, auch bei langstreckigen Gefäßverschlüssen, die früher chirurgisch mit einem Bypass versorgt wurden (Abb. 296e-6). Für Interventionen an peripheren Gefäßen ist für Kardiologen in Deutschland eine zusätzliche Ausbildung erforderlich, für die es bisher noch keine gesetzlichen Regelungen gibt. Eine genauere Diskussion der Technik und des Erfolgs dieser Methoden erfolgt im Kapitel über periphere Gefäßkrankheiten (Kap. 302).

Verfahren zur Kreislaufunterstützung

Um eine PCI bei hämodynamisch instabilen Patienten sicher durchführen zu können, sind manchmal Verfahren zur Kreislaufunterstützung nötig. Diese eignen sich auch zur präoperativen Stabilisierung von Patienten. Das meisteingesetzte Verfahren ist die intraaortale Ballonpumpe, die in den frühen 1960er-Jahren entwickelt wurde. Ein Katheter mit einem Durchmesser von 7–10 F und einem Ballonvolumen von 25–50 ml wird über die A. femoralis retrograd in die Aorta descendens eingeführt und unterhalb des Aortenbogens platziert. Ein Inflationssystem mit Helium wird angeschlossen. Der Ballon wird in der frühen Diastole aufgeblasen und mitdiastolisch abgelassen. Das Ergebnis ist ein höherer Blutdruck in der frühen Diastole, ein niedrigerer systolischer Druck und ein niedrigerer Druck in der späten Diastole durch die Verschiebung von Blut aus der Aorta descendens (Gegenpulsation). Der koronare Blutfluss nimmt zu und die Nachlast nimmt ab. Zu den Kontraindikationen zählen eine Aorteninsuffizienz, eine Aortendissektion und eine schwere periphere arterielle Ver-

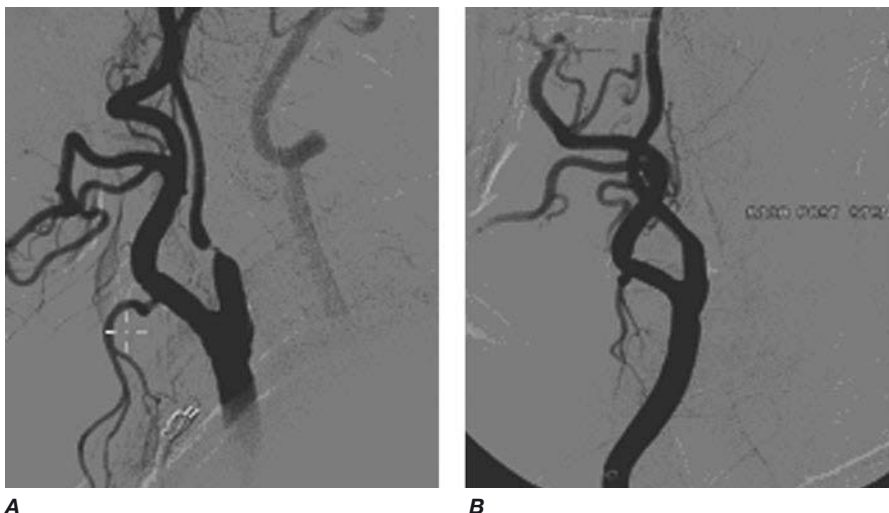


Abbildung 296e-5 Beispiel eines Hochrisikopatienten, der eine Revaskularisation der A. carotis benötigt, aber nicht für eine chirurgische Thrombendarteriektomie infrage kommt. Stenting der A. carotis mit ausgezeichnetem angiografischem Ergebnis. (Aus M Belkin, DL Bhatt 119:2302, 2009; mit frdl. Genehmigung.)

Suttorp et al., Harrisons Innere Medizin (ISBN 978-3-940615-50-3), © 2016 ABW Wissenschaftsverlag

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form an Dritte weitergegeben werden!

All rights reserved. Usage subject to terms and conditions of license.

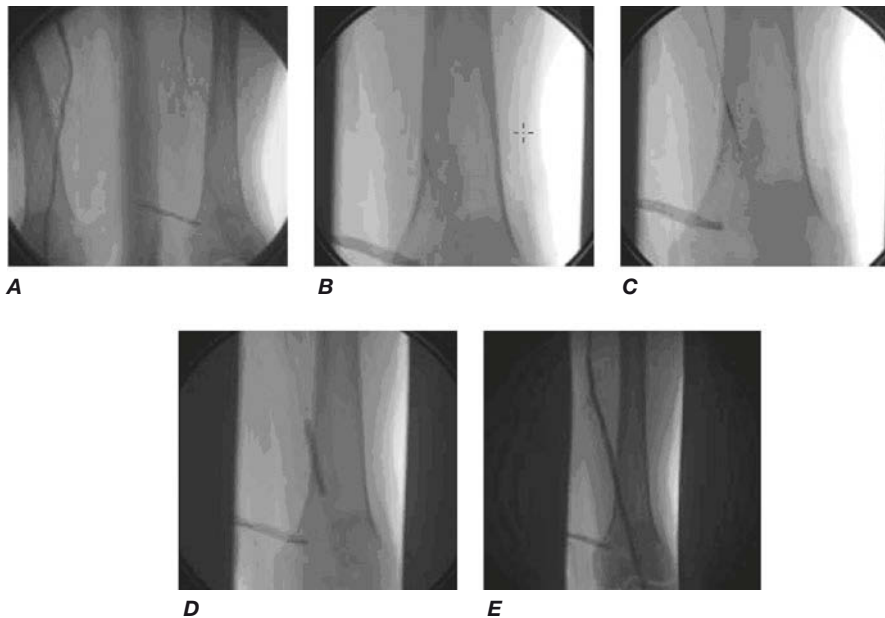


Abbildung 296e-6 Interventionen an peripheren Gefäßen sind hocheffektiv bei der Behandlung von Läsionen, die zuvor nur chirurgisch behandelt werden konnten. **A.** Kompletverschluss der A. femoralis superficialis. **B.** Draht und Katheter werden im subintimalen Raum vorgeführt. **C.** Ein intravaskulärer Ultraschall wird im subintimalen Raum durchgeführt, um die retrograde Platzierung des Drahts durch das verschlossene Gefäß zu steuern. **D.** Ballondilatation des Verschlusses. **E.** Stentimplantation mit ausgezeichnetem angiografischem Ergebnis. (Aus A Al Mahameed, DL Bhatt: *Cleve Clin J Med* 73:S45, 2006; mit frdl. Genehmigung.)

schlusskrankheit. Die Hauptkomplikationen sind vaskulärer oder thrombotischer Genese. Um die thrombotischen Komplikationen zu verhindern, wird Heparin verabreicht.

Ein weiteres möglicherweise nützliches Verfahren ist das Impella-System (Abiomed, Danvers, Massachusetts). Ein Katheter wird perkutan über die A. femoralis in den linken Ventrikel geführt. Der Katheter hat eine kleine Mikroaxialpumpe an der Spitze, die bis zu 2,5–5 l Blut pro Minute aus dem linken Ventrikel in die Aorta pumpen kann. Zu den weiteren Methoden der Kreislaufunterstützung zählt das TandemHeart (CardiacAssist, Pittsburgh, Pennsylvania), bei dem ein großer 21-French-Katheter über die V. femoralis und den rechten Vorhof transseptal im linken Vorhof und ein weiterer Katheter in der A. femoralis platziert wird. Dabei kommt eine Zentrifugalpumpe mit einer Pumpleistung von 5 l/min zum Einsatz. Mögliche Indikationen sind Patienten mit Schock, STEMI oder Hochrisiko-PCI. Des Weiteren stellt die extrakorporale Membranoxygenierung über große Kanülen in der A. und V. femoralis eine Option dar.

Interventionen bei Lungenembolie

Zur Behandlung einer tiefen Beinvenenthrombose erfolgt eine intravenöse Antikoagulation und die Platzierung eines Schirms in der V. cava inferior bei rezidivierenden Pulmonalembolien. Das postphlebische Syndrom ist eine ernsthafte Erkrankung, bei der es infolge einer chronischen venösen Abflussbehinderung zu chronischen Beinödemen und venösen Ulzera kommt. Erste vorläufige Studien legen einen möglichen Erfolg mechanischer Behandlungsansätze nahe und eine große Untersuchung zu dieser Fragestellung wird gerade durchgeführt.

Eine massive (manchmal auch submassive) Lungenembolie sollte mit Fibrinolytika behandelt werden. Eine chirurgische pulmonale Embolektomie stellt eine Behandlungsoption bei Patienten mit massiver Lungenembolie und hämodynamischer Instabilität dar, wenn eine systemische Fibrinolyse kontraindiziert ist oder erfolglos war. Derzeit befinden sich interventionelle kathetergestützte Techniken zur Behandlung einer massiven oder submassiven Lungenembolie in Entwicklung; erste Untersuchungen zeigen vielversprechende Ergebnisse. Zu den eingesetzten Techniken zählen die Aspiration des Thrombus mit einem großlumigen Katheter (10 French), die Infusion eines Fibrinolytikums in den Thrombus mit anschließender Aspiration, die ultraschallgestützte Katheterthrombolysen und die rheolytische Thrombektomie. Die Erfolgsrate dieser Techniken liegt bei 80–90 %. Schwere Komplikationen treten bei 2–4 % der Patienten auf.

Interventionen bei therapierefraktärer Hypertonie

Die Erkenntnis, dass die renale sympathische Innervation für die Blutdruckregulation von großer Bedeutung ist, hat dazu geführt, dass die selektive renale Sympathikusdenervation als Behandlungsmethode bei therapierefraktärer Hypertonie entwickelt wurde. Bei dieser Prozedur wird mittels Katheter eine Radiofrequenzdenervation mit niedriger Energie entlang beider Nierenarterien durchgeführt. In der randomisierten Symplicity-HTN-2-Studie führte die renale Denervation zu einer signifikant stärkeren Blutdruckabnahme als eine medikamentöse Therapie. Das Symplicity-System (Medtronic) wurde in Europa zugelassen, obwohl die randomisierte und verblindete Symplicity-HTN-3-Studie in den USA keine Wirksamkeit zeigen konnte.

ZUSAMMENFASSUNG

Die interventionelle Kardiologie erweitert laufend ihre Möglichkeiten. Die interventionelle Behandlung der koronaren Herzkrankheit, auch bei schwierigen anatomischen Voraussetzungen, entwickelt sich weiter und verdrängt zunehmend die Bypass-Chirurgie. Technologische Fortschritte wie medikamentenfreisetzende Stents der zweiten Generation oder Aspirationskatheter verbessern die Ergebnisse von PCIs. Die PCI kann weitere ischämische Ereignisse bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom verhindern. Bei stabilen KHK-Patienten spielt die PCI eine wichtige Rolle bei der Verbesserung der Symptomatik. Auch zerebrovaskuläre und periphere Gefäßerkrankungen können erfolgreich interventionell behandelt werden. Zunehmend werden auch strukturelle Herzkrankheiten perkutan behandelt und mit großer Wahrscheinlichkeit werden dadurch in Zukunft chirurgische Eingriffe am offenen Herzen seltener notwendig sein.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- ROFFI R, PATRONO C, COLLET JP et al: 2015 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J* 37(3):267–315, 2016
- STEG PG, JAMES SK, ATAR D et al: ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J* 33(20):2569–619, 2012
- THE TASK FORCE ON THE MANAGEMENT OF STABLE CORONARY ARTERY DISEASE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY: 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease. *Eur Heart J* 34(38):2949–3003, 2013