

- Distal einer über 75%igen Arterienstenose ist das Dopplersignal monophasisch.
- Zur duplexsonografischen Bestimmung des Stenosegrades kann die Errechnung der „peak velocity ratio“ herangezogen werden. Hierunter wird der Quotient aus intra- und prästenotischer systolischer Maximalgeschwindigkeit verstanden (Tab. 1.27).

Befunde bei Arterienverschlüssen:

- Fehlen der Querpulsation der Arterienwand
- fehlendes Dopplersignal im Gefäßlumen
- mögliche Binnenechos im Gefäßlumen
- fehlendes Farbsignal im Gefäßlumen
- monophasisches Dopplersignal distal des Arterienverschlusses

Befunde bei Dissektionen:

- hyperreflektierende Membran, die sich im Gefäßlumen pulsatil bewegt
- typisches dopplersonografisches Pendelflusssignal

Befunde bei Aneurysmen:

- lokalisierte Gefäßerweiterungen, evtl. mit Binnenechos im Sinne von Thromben

Apparative radiologische Diagnostik

Computertomografische Angiografie (CTA)

Mithilfe der CTA kann sowohl die anatomische Lokalisation von Stenosen und Verschlüssen bestimmt als auch eine Quantifizierung des Stenosegrades vorgenommen werden. In den bislang publizierten kleinen Fallserien konnten suprapopliteale Stenosen >50% mit einer Sensitivität von 89–100% und einer Spezifität von 100% nachgewiesen werden (Catalano et al. 2004, Ota et al.

2004). Die erforderliche Kontrastmittelmenge variierte zwischen 100 und 180 ml, die Strahlenbelastung betrug im Durchschnitt ein Viertel der Dosis einer digitalen Subtraktionsangiografie (DSA). Infrapopliteale Läsionen können im Vergleich zu anderen bildgebenden Modalitäten signifikant schlechter beurteilt werden, die Sensitivität und Spezifität des Nachweises von über 70%igen Stenosen betragen 90 und 74%. Dabei sind infrapopliteale Rekonstruktionen in Maximum Intensity Projection (MIP) solchen in Volume Rendering Technique (VRT) klar vorzuziehen (Portugaller et al. 2004) (Abb. 1.43).

Vorteile. Die Vorteile der CTA gegenüber der DSA liegen in der Möglichkeit zur Erzeugung dreidimensionaler, frei drehbarer Gefäßrekonstruktionen. Damit lassen sich exzentrische Stenosen genauer nachweisen und beurteilen. Die venöse Applikation des Kontrastmittels erzeugt eine bessere Füllung aller Kollateralf Gefäße. Der größte Vorteil liegt jedoch in der gleichzeitigen Darstellung des perivaskulären Weichgewebes, wodurch sich andere Ursachen von Gefäßverengungen oder -verschlüssen, wie z.B. Aneurysmen, ein popliteales Entrapment und die zystische Adventitiadegeneration, abbilden lassen.

Mit dem Aufkommen und der zunehmenden Verbreitung von 64- und 128-Zeilen-Systemen (Abb. 1.43) ist eine exzellente Darstellung bis in den Arcus plantaris und die A. dorsalis pedis (Abb. 1.44) möglich, sodass in absehbarer Zeit auch hier die diagnostische Angiografie zur Ausnahme werden wird.

Magnetresonanztomografische Angiografie (MRA)

Auch die MRA ermöglicht die anatomische Lokalisation aller relevanten Gefäßveränderungen. Dafür steht eine Reihe altbekannter, aber auch hochmoderner MR-angiografischer Methoden wie beispielsweise die Time-of-Flight-MRA (TOF), die Contrast enhanced Angiography (CEA) sowie die erst kürzlich möglich gewordene zeitaufgelöste MRA mittels paralleler Bildgebung zur Verfügung (Michaely et al. 2005, Nael et al. 2006).

Vorteile. Sensitivität und Spezifität der kontrastgestützten MRA zum Nachweis von Diameterstenosen >50% im Vergleich zur DSA betragen 90–100% (Khilnani et al. 2002). Im Vergleich zur Duplexsonografie ist die Sensitivität der MRA zum Nachweis von Stenosen >50% höher (98 vs. 88%) bei vergleichbarer Spezifität (96 vs. 95%) (Visser und Hunink 2000). In einigen Studien konnte bereits gezeigt werden, dass die MRA im Vergleich zur DSA in einigen Fällen sogar besser geeignet ist, bei Patienten mit CLI bypassfähige periphere Ausflussgefäße nachzuweisen (Lapeyre et al. 2005). Insbesondere bei diabetischen Patienten können pedale

Tabelle 1.27 Beziehung zwischen Stenosegrad peripherer Arterien und Peak Velocity Ratio (PVR).

Stenose (%)	PVR
>20	>1,33
>30	>1,6
>40	>2,1
>50	>2,4
>60	>2,9
>70	>3,4
>80	>4,0
>90	>7,0

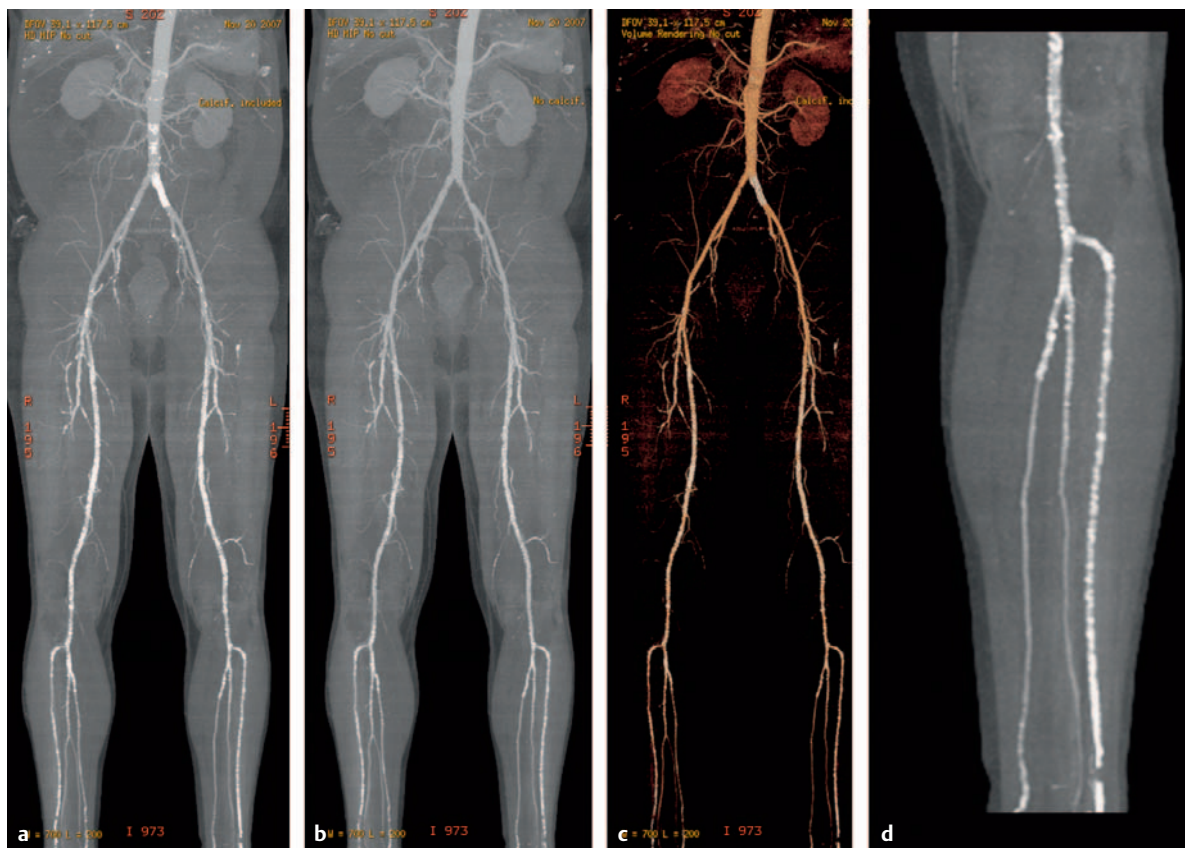


Abb. 1.43 64-Zeilen-CT-Angiografie in verschiedenen MIP-Rekonstruktionen.

- a** Mit Kalzifizierungen und Fremdmaterial (Stent in der linken A. iliaca communis).
- b** Ohne Kalzifizierungen und Stent mit realistischer und bis vor Kurzem nicht möglicher Darstellung auch des perfundierten Stentlumens.

c VR-Rekonstruktion.

d Vergrößerung der Unterschenkelgefäße mit Darstellung eines kurzen Verschlusses in der A. tibialis anterior. Eine DSA erübrigt sich.

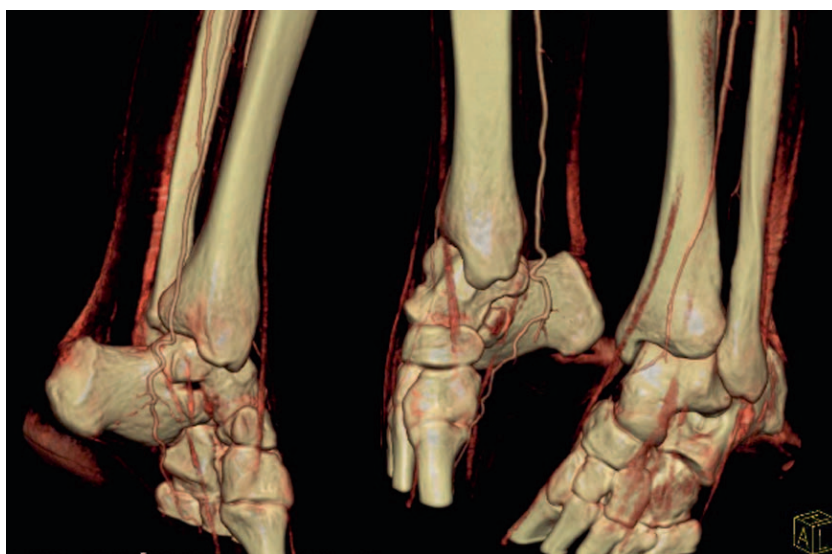


Abb. 1.44 64-Zeilen-CTA der Fußarterien.

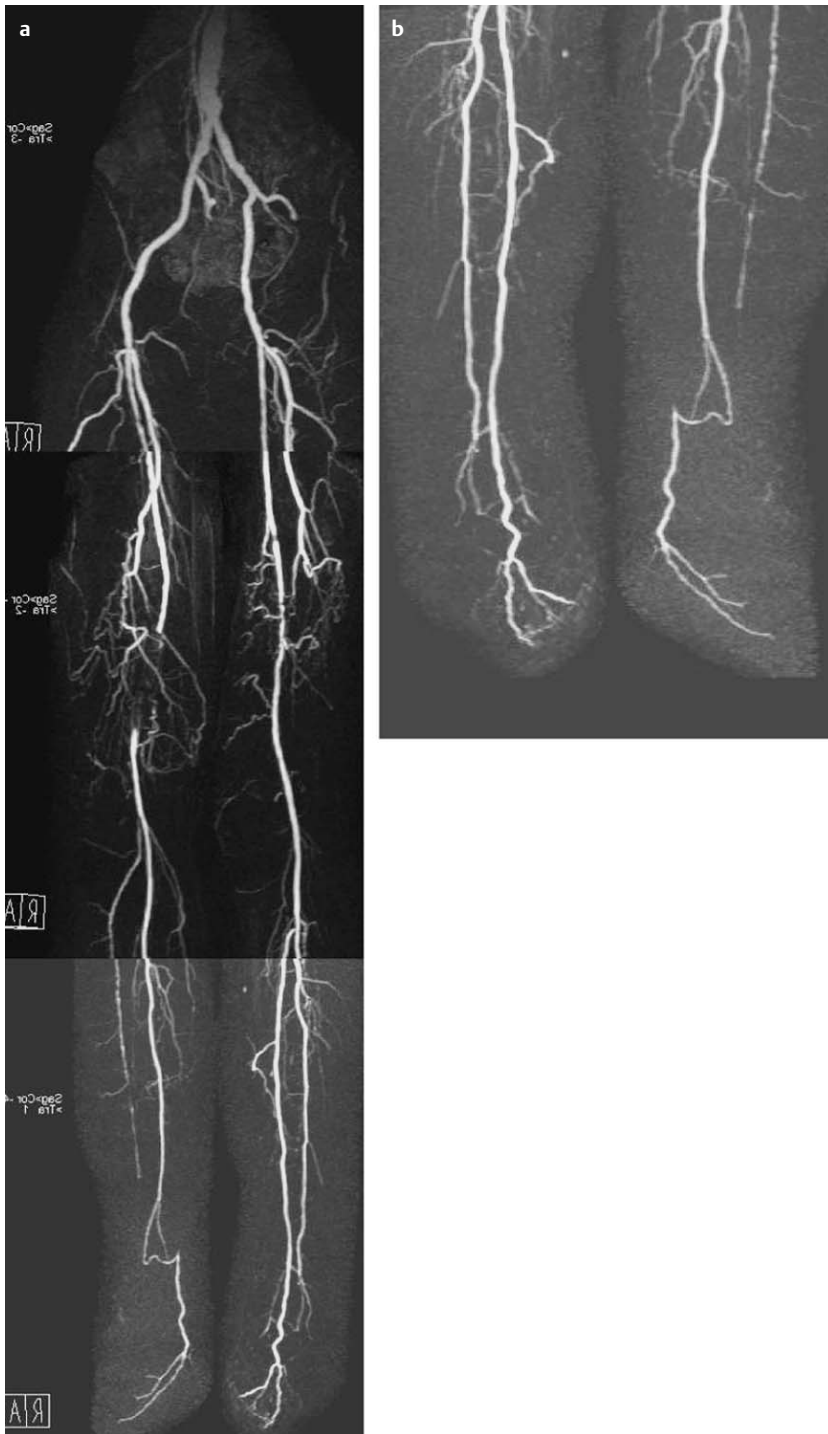


Abb. 1.45 Hochauflösende kontrastmittelgestützte MRA, isotrope Voxelgröße deutlich unter 1 mm^3 , Messzeit unter 60 s, 3-Tesla-MRT.

bypassfähige Gefäße vorhanden sein, die sich mit der MRA manchmal besser detektieren lassen. An dieser Stelle muss aber klargestellt werden, dass dies nur für eine High-End-MRA mit niedrigstmöglicher isotroper Voxelgröße von unter einem mm^3 gilt (Abb. 1.45), und das Problem der venösen Überlagerung beispielsweise durch eine dedizierte Untersuchungstechnik wie die

Anwendung der Hybridtechnik oder eine zeitaufgelöste MRA vermieden werden muss (Rieger et al. 2005).

Kontraindikationen. Kontraindikationen zur MRA sind magnetische Metallimplantate, Herzschrittmacher sowie eine $\text{GFR} < 30 \text{ ml/min/1,73 m}^2$ (z.B. Dialysepatienten) und Patienten mit akutem Nierenversagen auf-

grund eines hepatorenenalen Syndroms oder im Anschluss an eine Lebertransplantation. Bei letztgenannten Patienten bzw. im Falle einer GFR $< 30 \text{ ml/min/1,73 m}^2$ kann eine durch gadoliniumhaltige Kontrastmittelgabe induzierte nephrogene systemische Fibrose entstehen. Dieses Krankheitsbild ist charakterisiert durch eine Sklerosierung der Haut und anderer Organe mit Kontraktur- und Ödembildung. Die Mortalität der Erkrankung liegt bei 5%. In den genannten Fällen muss daher die Gabe von Gadolinium vermieden werden.

Nachteile. Nachteile der MRA sind auch die eingeschränkte Bildbeurteilbarkeit bei Bewegungsunruhe und die mögliche Überschätzung des Stenosegrades bei dünnlumigen, verkalkten Gefäßen.

Im Falle nicht eindeutiger Befunde im Bereich der peripheren Arterien sowie vor operativen Arterieneingriffen ist der Einsatz eines untersucherunabhängigen bildgebenden Verfahrens obligat. In diesem Falle ist der MRA der Vorzug zu geben.

Invasive Bildgebung

Digitale Subtraktionsangiografie (DSA)

Die DSA stellt aufgrund ihrer exzellenten Datenlage zurzeit noch den Referenzstandard, aber nicht mehr den Goldstandard der prätherapeutischen Bildgebung bei der CLI dar. Sie muss entsprechend der Fragestellung erfolgen, eine einfache Übersichtsangiografie ist zur Therapieplanung bei CLI nicht ausreichend und muss strikt abgelehnt werden. Die bestmögliche Kontrastierung wird nur durch Injektion des Kontrastmittels möglichst dicht am Zielgefäß erreicht. Deshalb sollte die Darstellung der kruralen Strombahn nur mittels selektiver ipsi- oder kontralateraler Kontrastierung der betroffenen Extremität erfolgen. Eine zweite Ebene ist manchmal erforderlich, um in der Projektion nicht überlagerungsfrei dargestellte exzentrische Stenosen zu demaskieren. Die selektive antegrade DSA wird nur noch bei einer sog. „DSA in PTA-Bereitschaft“ angewendet, wenn die Indikation zur Intervention und die Läsionslokalisation, z.B. auf der Basis einer farbkodierten Duplexsonografie (FKDS), bereits erfolgten.

Risiken. Die DSA birgt einige relevante Risiken. Bei 1–6% der transfemorale Zugänge entwickeln die Patienten Hämatome, arteriovenöse Fisteln oder Pseudoaneurysmata, die in 20–40% der Fälle einer operativen Sanierung bedürfen. Die Kontrastmittelgabe ist mit einem 0,1%igen Risiko einer schweren allergischen Reaktion behaftet. Zudem besteht eine relevante Nephrotoxizität, die bei Patienten mit eingeschränkter

Nierenfunktion, Diabetes, Herzinsuffizienz oder Dehydratation noch zunimmt. Im Zweifelsfall sollte niedrigosmolare Kontrastmitteln mit geringerer Nephrotoxizität, wie z.B. Iodixanol, der Vorzug gegeben werden oder vor Applikation eine Konditionierung des Patienten durch parenterale Applikation von N-Acetylcystein erfolgen.

Aufgrund der Risiken und möglicher Komplikationen (Tab. 1.28) sollte der Einsatz der Arteriografie nach sorgfältiger Risikoabwägung erfolgen. Die intravenöse DSA ist heute obsolet und wird gutachterlich meist als Kunstfehler bewertet.

Durchführung. In Seldinger-Technik wird ein Pigtail-Katheter (4–5 F) von transfemorale oder transbrachial in die Aorta vorgeschoben. Nach Kontrastmittelinjektion lassen sich die Aorta, Aortenbogen-, Arm- und Becken-/Beinarterien darstellen. Die Darstellung des Aortenbogens und seiner Äste erfolgt durch Platzieren der Katheterspitze in Höhe der Aortenwurzel. Zur Becken-/Beinarterienangiografie beidseits wird der Katheter in die Aorta abdominalis platziert. Die Kontrastmittelapplika-

Tabelle 1.28 Mögliche Komplikationen der Arteriografie und ihre Häufigkeit (Schunk 1994).

Allergische/allergoide Reaktionen:	bis 4%
• hiervon Larynxödem, Asthmaanfall, Schock	0,1%
Tödliche Zwischenfälle:	
• ionische Kontrastmittel	1:25 000
• nicht ionische Kontrastmittel	1:2 000 000
Renale Dysfunktion	0,5–35%
Behandlungsbedürftige Blutungen:	
• transfemorale Punktionen	1,7%
• translumbale Aortenpunktion	2,9%
• transaxillärer Zugang	3,3%
• transbrachialer Zugang	7%
Aneurysma spurium	0,3%
AV-Fistel	<0,3%
Vasospasmus	<2%
Arterielle Thrombose	<0,8%
Thromboembolie	<0,6%
Arteriendissektion	2%
Mortalität	0,025%