

C. W. Hamm
A. Albrecht
T. Bonzel
M. Kelm
H. Lange
V. Schächinger
W. Terres
W. Voelker

Diagnostische Herzkatheteruntersuchung

Herausgegeben vom Vorstand der Deutschen Gesellschaft
für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V.
Bearbeitet im Auftrag der Kommission für Klinische Kardiologie
M. Borggrefe, M. Böhm, J. Brachmann, H.-R. Figulla, G. Hasen-
fuß, H. M. Hoffmeister, A. Osterspey, K. Rybak, U. Sechtem,
S. Silber

Prof. Dr. Christian W. Hamm (✉)
Kerckhoff Klinik GmbH
Abt. Kardiologie
Benkestr. 2–8
61231 Bad Nauheim
E-Mail: c.hamm@kerckhoff-klinik.de

Dr. Alexander Albrecht, Berlin

Prof. Dr. Tassilo Bonzel, Fulda

Prof. Dr. Malte Kelm, Aachen

Dr. Helmut Lange, Bremen

Prof. Dr. Volker Schächinger, Frankfurt am Main

Prof. Dr. Wolfram Terres, Celle

Prof. Dr. Wolfram Voelker, Würzburg

Gliederung

1	Einleitung	477
2	Voraussetzungen zur Herzkatheterunter- suchung	477
2.1	Allgemeine patientenseitige Voraussetzungen	477
2.2	Indikationsstellung	477
2.3	Einverständniserklärung	477
2.4	Voruntersuchungen	478
2.4.1	Anamnese und körperliche Untersuchung	478
2.4.2	Medikamentöse Therapie	478
2.4.3	Kardiologische Diagnostik	478
2.4.4	Laboruntersuchungen	478
2.4.5	Weitere spezielle Voruntersuchungen	479
2.5	Untersucherseitige Voraussetzungen	479
2.5.1	Persönliche Voraussetzungen („Eignungskriterien“)	479
2.5.2	Fachliche Voraussetzungen	479
2.5.3	Ausbildungsgang	479
2.5.4	Strahlenschutz	480
2.5.5	Qualitätssicherung	480
3	Untersuchungsverfahren	480
3.1	Allgemeine untersuchungstechnische Voraussetzungen	480
3.1.1	Vorbereitung	480
3.1.2	Notfallausrüstung zur Herzkatheterunter- suchung	481
3.1.3	Antikoagulation	481
3.1.4	Gefäßzugang	481
3.1.5	Kathetermaterial	482
3.1.6	Kontrastmittel	482
3.1.7	Ambulante Durchführung von Linksherz- katheteruntersuchungen	482
3.2	Der Untersuchungsgang	483
3.2.1	Standard-Vorgehen	483
3.2.2	Verschluss der Punktionsstelle	483
3.3	Spezielle Untersuchungstechniken	484

3.3.1	Koronarangiographie	484	7.2	Behandlung von Komplikationen	506
3.3.2	Angiographie des linken Ventrikels (Lävokardiographie)	485	8	Anhang	507
3.3.3	Angiographie des rechten Ventrikels	487	8.1	Schmerzcharakteristika	507
3.3.4	Darstellung der großen Venen und Pulmonalgefäße	487	8.2	Schweregrad der Angina-pectoris-Symptomatik (CCS-Klassifikation)	507
3.3.5	Darstellung der großen Arterien	487	8.3	NYHA-Klassifikation	507
3.3.6	Hämodynamische Messungen	488	8.4	TIMI-Klassifikation	508
3.3.7	Myokardbiopsie	488	8.5	Einteilung der Koronarsegmente (AHA-Klassifikation)	508
4	Krankheitsbilder	489	8.6	Methoden	509
4.1	Koronare Herzkrankheit (KHK)	489	8.7	Verzeichnis der Abkürzungen	509
4.1.1	Klinische Vordiagnostik	489	9	Literatur	509
4.1.2	Apparative Vordiagnostik	489			
4.1.3	Nicht-invasive morphologische Koronardiagnostik	490			
4.1.4	Indikation zur Koronarangiographie	490			
4.1.5	Akutes Koronarsyndrom/Myokardinfarkt	491			
4.1.6	Stumme Myokardischämie	492			
4.1.7	Atypische Symptomatik/Unklarer Thoraxschmerz	492			
4.1.8	Invasive Kontrolle nach Koronarintervention und Bypass-Operation	492			
4.1.9	Invasive Diagnostik vor nicht-kardialen Operationen	492			
4.1.10	Beurteilung von Koronarbefunden	493			
4.1.11	Funktionsstörung der koronaren Tonusregulation	495			
4.2	Reduzierte LV-Funktion/Kardiomyopathien	496			
4.3	Erkrankungen des Perikards	496			
4.4	Herzklappenfehler	496			
4.4.1	Aortenklappenstenose	496			
4.4.2	Aorteninsuffizienz	499			
4.4.3	Mitralstenose	500			
4.4.4	Mitralinsuffizienz	500			
4.4.5	Mehrklappen-Erkrankung	501			
4.4.6	Endokarditis	501			
4.5	Kongenitale Vitien	501			
4.6	Erkrankungen der Aorta und großer Leitungsarterien	502			
4.6.1	Aorta	502			
4.6.2	Carotiden und Nierenarterien	502			
4.6.3	A. mammaria vor Bypass-Operation	502			
4.7	Erkrankungen des kleinen Kreislaufes	502			
4.8	Rhythmusstörungen	502			
5	Komorbidität	503			
5.1	Niereninsuffizienz	503			
5.2	Diabetes mellitus	503			
5.3	Immunsuppression und Infektionen	504			
5.4	Anämie	504			
5.5	Hyperthyreose	504			
5.6	Kontrastmittelallergie	505			
5.7	Hohes Lebensalter	505			
6	Kontraindikationen zur Herzkatheteruntersuchung	505			
7	Komplikationen	505			
7.1	Häufigkeit von Komplikationen	505			

Präambel

Diese Leitlinie ist eine Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung (DGK), die den gegenwärtigen Erkenntnisstand wiedergibt und Ärzten und ihren Patienten die Entscheidungsfindung erleichtern soll. Die Leitlinie ersetzt nicht die ärztliche Evaluation des individuellen Patienten und die Anpassung der Diagnostik und Therapie an dessen spezifische Situation.

Die Erstellung dieser Leitlinie ist durch eine systematische Aufarbeitung und Zusammenstellung der besten verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz gekennzeichnet. Das vorgeschlagene Vorgehen ergibt sich aus der wissenschaftlichen Evidenz, wobei randomisierte, kontrollierte Studien bevorzugt werden. Der Zusammenhang zwischen der jeweiligen Empfehlung und dem zugehörigen Evidenzgrad ist gekennzeichnet.

■ Empfehlungsgrade

- I Evidenz und/oder allgemeine Übereinkunft, dass eine Therapieform oder eine diagnostische Maßnahme effektiv, nützlich oder heilsam ist
- II Widersprüchliche Evidenz und/oder unterschiedliche Meinungen über den Nutzen/Effektivität einer Therapieform oder einer diagnostischen Maßnahme
 - IIa Evidenzen/Meinungen favorisieren den Nutzen bzw. die Effektivität einer Maßnahme
 - IIb Nutzen/Effektivität einer Maßnahme ist weniger gut durch Evidenzen/Meinungen belegt
- III Evidenz und/oder allgemeine Übereinkunft, dass eine Therapieform oder eine diagnostische Maßnahme nicht effektiv, nicht möglich oder nicht heilsam und im Einzelfall schädlich ist.

■ Evidenzgrade

- A Daten aus mehreren ausreichend großen, randomisierten Studien oder Metaanalysen
- B Daten aus einer randomisierten Studie oder mehreren großen nicht randomisierten Studien
- C Konsensus-Meinung von Experten basierend auf Studien und klinischer Erfahrung

1 Einleitung

In Deutschland wurden im Jahr 2004 an 432 Zentren mehr als 710 000 diagnostische Herzkatheteruntersuchungen durchgeführt [94]. Damit ist die Zahl der Untersuchungen pro Bevölkerungsanteil und die Dichte der diagnostischen Messplätze führend in Europa [15]. Die Qualität dieser Untersuchungen wird von der Bundesgeschäftsstelle für Qualitätssicherung (BQS) erfasst. Darüber hinaus gibt es freiwillige Qualitätssicherungsmaßnahmen des Bundesverbands niedergelassener Kardiologen (BNK) und der Arbeitsgemeinschaft Leitender Kardiologischer Krankenhausärzte (ALKK). Der Maßstab für qualitätssichernde Maßnahmen sind evidenzbasierte Leitlinien der zuständigen Fachgesellschaften.

Die vorliegenden Leitlinien zur Durchführung einer diagnostischen Koronarangiographie orientieren sich an den ACC/AHA-Richtlinien für die diagnostische Koronarangiographie [81] sowie den deutschen [31, 53, 54], europäischen [36, 41] und US-amerikanischen [43] Leitlinien zur stabilen Angina pectoris und dem akuten Koronarsyndrom. Die vorliegenden Leitlinien sollen diese ergänzen bzw. aktualisieren und den spezifischen deutschen Verhältnissen gerecht werden. Weitergehende Aspekte der koronaren Intervention (PCI) sind in der Leitlinie zur perkutanen Koronarintervention [12] sowie den europäischen Leitlinien zur PCI enthalten [84]. Leitlinien zur Einrichtung und zum Betreiben von Herzkatheterräumen sind für Deutschland [52] und die USA [7] separat publiziert.

Leitlinien ersetzen keine medizinischen Lehrbücher. Zum Thema Herzkatheterdiagnostik gibt es deutsch- und englischsprachige Monographien, die allerdings die persönliche Sichtweise des Autors präsentieren. Diese Leitlinie fasst die Auffassungen verschiedener Katheterschulen zusammen und hat daraus einen Diagnostik- und Therapiestandard entwickelt, an dem man sich in der klinischen Routine orientieren kann. Wie bei allen Leitlinien kann man im Einzelfall von dem allgemein akzeptierten Standardvorgehen abweichen, wenn die Situation dies erfordert.

2 Voraussetzungen zur Herzkatheteruntersuchung

■ 2.1 Allgemeine patientenseitige Voraussetzungen

Vor Durchführung einer Herzkatheteruntersuchung müssen verschiedene patientenseitige Voraussetzungen erfüllt sein, die sich insbesondere auf Indikation, Vorgeschichte, aktuelle Symptomatik, Medikation, körperliche Untersuchung und apparative Voruntersuchungen beziehen. In der Regel ist eine sinnvolle und sichere invasive Diagnostik nur durchzuführen, wenn die in den folgenden Abschnitten näher erläuterten Voraussetzungen vollständig erfüllt sind. Dies ist umso wichtiger als immer häufiger ältere und multimorbide Patienten zur Herzkatheteruntersuchung kommen. Bei Notfällen (z.B. ST-Hebungsinfarkt) ist es gerechtfertigt eine Herzkatheteruntersuchung ausnahmsweise auch ohne vollständige Voruntersuchungen oder Informationen sofort durchzuführen.

■ 2.2 Indikationsstellung

Die Indikation zur Herzkatheteruntersuchung wird in der Regel vom primär betreuenden Arzt (Arzt in Krankenhaus oder Praxis) gestellt. Häufig ist der Arzt, der initial die Indikation zur invasiven Diagnostik stellt, kein Kardiologe und nicht selbst invasiv tätig. Der Kardiologe, der die Untersuchung vornimmt, muss immer selbst die Indikation und Voraussetzungen überprüfen, und ggf. zusätzliche Voruntersuchungen veranlassen. Die medizinische Indikation zur Herzkatheteruntersuchung wird in Abschnitt 4.1.4 ff. erläutert.

■ 2.3 Einverständniserklärung

Der Patient soll in einem Gespräch mit einem der behandelnden Ärzte spätestens am Tag vor der Untersuchung die Möglichkeit erhalten, sich sowohl über Nutzen, Risiken und Folgen der geplanten diagnostischen Untersuchung sowie einer möglichen Intervention als auch über Alternativen und andere Therapieoptionen und deren Möglichkeiten und Risiken ein umfassendes Bild zu verschaffen. Sprachlich und inhaltlich sind dabei die konkrete Situation des Patienten und sein allgemeines Krankheitsverständnis zu berücksichtigen. Sollte die Aufklärung bei elektiven Untersuchungen ausnahmsweise kurzfristiger erfolgen, muss der Patient darauf aufmerksam gemacht werden, dass er auch Bedenkzeit haben kann. Die Frist zwischen Aufklärungsgespräch und

Herzkatheter kann in Ausnahmefällen kürzer sein, wenn die Klinik des Patienten instabil erscheint. Bei schweren oder risikoreicheren Untersuchungen oder Eingriffen sollte ein Gespräch vor Vereinbarung des Termins der Untersuchung bzw. des Eingriffs erfolgen. Die Aufklärung muss insbesondere jedes Risiko umfassen (einschließlich der Risikohäufigkeit), welches dem Eingriff spezifisch anhaftet, ohne dass es auf statistische Häufigkeiten ankommt. Bei Notfall-eingriffen oder vitaler Indikation müssen dem Patienten unmittelbar und verständlich alle Informationen vermittelt werden, damit er in möglichst kurzer Zeit über die Durchführung der vorgeschlagenen Diagnostik und Behandlung entscheiden kann. Bei akuten Notfällen sollte unter Angabe von Zeugen, Zeit und Datum der Inhalt des Aufklärungsgesprächs dokumentiert werden. Die Durchführung des Aufklärungsgesprächs und dessen Inhalt muss auch bei Verwendung von entsprechenden Vordrucken individuell schriftlich dokumentiert werden. Der untersuchende Arzt muss sich vor Untersuchungsbeginn vergewissern, dass der Patient ordnungsgemäß aufgeklärt wurde.

Siehe auch Parzeller et al. 2007 [78], Empfehlungen des Deutschen Ärztetages [16] und Empfehlungen der Deutschen Krankenhausgesellschaft 2003 (www.dkgev.de) [30].

■ 2.4 Voruntersuchungen

2.4.1 Anamnese und körperliche Untersuchung

Vor Beginn einer elektiven Herzkatheteruntersuchung muss eine vollständige Anamnese vorliegen. (I-C). Hierzu zählen die Erhebung der Risikofaktoren, wesentlicher Begleiterkrankungen (z. B. Diabetes, Schilddrüse, Niereninsuffizienz), einer Blutungs- oder Thromboseneigung und bekannte Allergien, insbesondere einer evtl. bekannten Kontrastmittelallergie. Zur Einschätzung der Lebenssituation des Patienten ist eine Sozialanamnese erforderlich, die das familiäre Umfeld sowie die physische und berufliche Situation einschließt.

Die kardiale Vorgeschichte einschließlich der aktuellen Ischämiediagnostik und früherer interventioneller oder operativer Eingriffe muss im Detail vorliegen. Die aktuelle Symptomatik muss für die Indikationsstellung zur geeigneten Therapie bekannt sein, damit ein interventioneller Eingriff direkt an die diagnostische Herzkatheteruntersuchung angeschlossen werden kann.

Eine internistische Untersuchung insbesondere der Thoraxorgane und die Erhebung des Pulsstatus einschließlich einer Blutdruckmessung haben vor der Untersuchung zu erfolgen und sind zu dokumentie-

ren. Die körperliche Untersuchung ist erforderlich für differentialdiagnostische Überlegungen und gibt Hinweise auf Begleiterkrankungen sowie Informationen über den geeigneten arteriellen Zugangsweg.

2.4.2 Medikamentöse Therapie

Die Liste der Medikamente, die von den Patienten regelmäßig eingenommen werden, muss dem Untersucher vorliegen. Die antihypertensive und antischämische Therapie (z. B. Betablocker) sowie die Behandlung mit Acetylsalicylsäure (ASS) sind fortzusetzen. Clopidogrel sollte ebenfalls weitergegeben werden, außer wenn ein operativer Eingriff direkt im Anschluss geplant ist. Wenn es wahrscheinlich ist, dass der Patient interventionell behandelt werden kann und nicht kurzfristig (<5 Tage) operiert werden muss, kann eine initiale Sättigungsdosis von Clopidogrel (300 mg am Tag zuvor oder 600 mg, optimal spätestens zwei Stunden vorher) vor der Prozedur gegeben werden (I-C).

Vitamin K-Antagonisten sollten so pausiert werden, dass die diagnostische Herzkatheteruntersuchung ohne wesentlich erhöhtes Blutungsrisiko ($\text{INR} \leq 2,0$) durchgeführt werden kann. Gegebenenfalls (z. B. bei Patienten mit mechanischen Klappenprothesen) muss periprozedural eine Gerinnungshemmung mit Heparin erfolgen (I-C).

Zum Absetzen von Antidiabetika siehe 5.2.

2.4.3 Kardiologische Diagnostik

Vor einer Herzkatheteruntersuchung muss ein Ruhe-EKG vorliegen, das nicht älter als zwei Wochen ist. Bei zwischenzeitlich aufgetretener Angina pectoris ist ein Ruhe-EKG vom Untersuchungstag erforderlich. Zusätzlich ist bei elektiven Untersuchungen in der Regel eine Echokardiographie und bei KHK bzw. Verdacht auf KHK eine Belastungsuntersuchung (Belastungs-EKG, Myokardszintigraphie, Stress-Echokardiographie oder Stress-MRT) zu fordern (I-C) (siehe auch Abschnitt 4.1.2). Je nach Krankheitsbild können auch ein Langzeit-EKG, eine Langzeit-Blutdruckmessung, eine Magnetresonanztomographie (MRT) oder eine Computertomographie (CT) als Voruntersuchungen erforderlich sein (siehe auch 2.4.5 und 4.1.2).

2.4.4 Laboruntersuchungen

Zur Vermeidung von Komplikationen sollten aktuelle (max. 2 Wochen alt) Laborwerte vorliegen, auf die nur in begründeten Ausnahmefällen verzichtet werden kann. Die routinemäßige Labordiagnostik vor einer elektiven Herzkatheteruntersuchung sollte mindestens:

- Hämoglobin,
- Kreatinin,
- TSH basal

und in der Regel auch Kalium, Gerinnungswerte (z.B. INR, aPTT), Thrombozytenzahl und Leukozytenzahl umfassen. Dies gilt besonders, wenn eine einzeitige PCI in Frage kommt (I-C).

Bei akuten Koronarsyndromen ohne ST-Hebung sind zusätzlich Troponin und die CK-MB zu messen (I-C). Bei einer notfallmäßigen Indikation braucht das Ergebnis der Laboruntersuchungen nicht abgewartet werden.

2.4.5 Weitere spezielle Voruntersuchungen

Weitere Voruntersuchungen werden im Einzelfall nach klinischer Indikation erforderlich. Sie sind entweder im Rahmen differentialdiagnostischer Überlegungen (Röntgen-Thorax, CT-Thorax, Lungenszintigraphie, Bestimmung der D-Dimere, Lungenfunktionsprüfung) oder zur Planung des Eingriffs (Duplexsonographie der arteriellen Zugangswege, erweiterte Allergie- oder Gerinnungsdiagnostik) bzw. zur Risikoabschätzung (Lungenfunktionsprüfung, Blutgasanalyse, Duplexsonographie der supraaortalen Gefäße) zu veranlassen.

■ 2.5 Untersucherseitige Voraussetzungen

2.5.1 Persönliche Voraussetzungen („Eignungskriterien“)

Die Eignung eines Untersuchers zur Durchführung von Herzkatheteruntersuchungen ergibt sich aus einer Summe von persönlichen Eigenschaften, die durch Training und Schulung nur partiell beeinflussbar sind. Diese sind vor allem manuelles Geschick, Teamfähigkeit, Stressresistenz, Konzentrationsfähigkeit, analytisches Denken, Technikverständnis und Sozialkompetenz sowie Sensibilität im Umgang mit dem Patienten. Alle diese Qualifikationen bestimmen die individuelle Kompetenz und Leistungsfähigkeit im Herzkatheterlabor.

2.5.2 Fachliche Voraussetzungen

Voraussetzung für die selbstständige Durchführung und Beaufsichtigung von diagnostischen Herzkatheteruntersuchungen ist die Berechtigung zum Führen der Gebietsbezeichnung „Innere Medizin“ mit Schwerpunkt Kardiologie. Untersuchungen dürfen von Ärzten in der Weiterbildung zum Kardiologen gemacht werden, wenn gewährleistet ist, dass der

verantwortliche ärztliche Leiter des Herzkatheterlabors oder sein Vertreter die Indikationsstellung, Durchführung und Befunderstellung überwacht und die hämodynamischen und angiographischen Befunde zeitnah, d.h. in der Regel vor Beendigung der Untersuchung auf Vollständigkeit und Aussagefähigkeit überprüft.

Grundsätzliche Voraussetzung sind gute Kenntnisse in der kardiovaskulären Anatomie, Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie von Herzerkrankungen, die im Rahmen der Ausbildung in der invasiven Kardiologie mit einer mindestens 3-jährigen Tätigkeit in der Inneren Medizin, einschließlich einer 6-monatigen ganztägigen Tätigkeit in der Intensivmedizin zu erwerben sind. Speziell zu fordern sind gute EKG-Kenntnisse und Erfahrung in der Erkennung und Behandlung von internistischen Notfallsituationen (bradykarde und tachykarde Herzrhythmusstörungen, Herz-Kreislaufstillstand, Herzinfarkt, Herzinsuffizienz, Lungenödem, kardiogener und anaphylaktischer Schock). Die kardiopulmonale Reanimation mit Intubation, das Legen von Schrittmachersonden sowie die elektrische Kardioversion/Defibrillation müssen sicher beherrscht werden (I-C).

2.5.3 Ausbildungsgang

In der Vorbereitungsphase muss der Strahlenschutzkurs absolviert werden (siehe auch [52]). Die Vermittlung der notwendigen Hygienevoraussetzungen erfolgt durch den Hygienebeauftragten der Praxis/der Klinik bzw. durch den Leiter des Herzkatheterlabors. Zusätzlich muss der auszubildende Arzt in die lokalen Gegebenheiten im Herzkatheterlabor eingewiesen werden, u.a. den Platz und die Zusammensetzung des Notfallwagens, die Notfallmedikamente, die Bedienung des Defibrillators sowie die Lagerung der Katheter und anderer Materialien. Schließlich sollte der Untersucher eine testierte Einweisung in die Bedienung der Angiographieanlage und des Hämodynamik-Messplatzes erhalten, ggf. ergänzt durch spezielle computerunterstützte Lernprogramme. In dieser Vorbereitungsphase erlernt der Auszubildende die Abläufe im Katheterlabor einschließlich der Dokumentation der Hämodynamik am Registrierpult und der Qualitätssicherung.

Die Kenntnisse und Fähigkeiten für die invasive Kardiologie sollten im Rahmen eines strukturierten Ausbildungskatalogs (Curriculum) vermittelt werden. Der Ausbildungsfortgang sollte vom auszubildenden Arzt vollständig dokumentiert werden (z.B. durch Log-Buch).

Für das Training zur selbstständigen Durchführung diagnostischer Herzkatheteruntersuchungen werden von der Europäischen Gesellschaft für Kar-

diologie [90] und in den amerikanischen COCATS-Richtlinien [9] 300 Katheteruntersuchungen (davon 200 als primärer Untersucher) innerhalb von zwölf Monaten gefordert. Voraussetzung zur Durchführung von Herzkatheteruntersuchungen als Vertragsarzt der Kassenärztlichen Vereinigung ist der Nachweis von 1000 diagnostischen Herzkatheteruntersuchungen in den letzten vier Jahren [17].

2.5.4 Strahlenschutz

Der Erwerb der Fachkunde zur Anwendung von Röntgenstrahlen wird im § 18 a Abs. 2 RöV für Ärzte geregelt und erfordert den Besuch entsprechender Strahlenschutzkurse. Der leitende Arzt und Betreiber des Herzkatheterlabors ist in der Regel auch Strahlenschutzbeauftragter und hat in dieser Eigenschaft die regelmäßige Durchführung der Strahlenschutzbelehrung der Mitarbeiter, die Wartung und Konstanzprüfungen der Anlagen sowie die Kontrolle der Dosimetrie des Katheterpersonals zu überprüfen [52]. Kenntnisse über die Strahlenbelastung verschiedener Projektionen [65] und die Möglichkeiten der Strahlenreduktion durch Einblenden, gepulste Durchleuchtung, Position des Tisches und der Röhren und die Untersuchungstechnik [64] (siehe auch Kapitel 3.3.1) sowie baulichen Gegebenheiten [63] sollten vom Untersucher berücksichtigt werden (Übersicht: [56]). Siehe hierzu auch die gesonderten Leitlinien zum Betreiben eines Herzkatheterlabors [52]. Durch strukturierte Programme, die speziell die Gegebenheiten im Katheterlabor berücksichtigen, lässt sich die Strahlenbelastung für Arzt und Patient reduzieren. Die Teilnahme an entsprechenden Kursen ist deshalb zu empfehlen (I-C).

Gemäß § 18 (2) der Röntgenverordnung ist eine Arbeitsanweisung im Katheterlabor in Schriftform vorzuhalten. Ein Muster dazu wird von der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie zur Verfügung gestellt [85]. Als weitergehende Arbeitsanweisung kann diese Leitlinie im Katheterlabor hinterlegt werden.

Die Strahlenbelastung der diagnostischen Koronarangiographie sollte in der Regel unter $6000 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ (respektive $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$) liegen (Referenzwert der RöV) [18]. Liegt der Wert dauerhaft über diesem Schwellenwert, sind die Ursachen zu suchen und Abhilfemaßnahmen zu ergreifen. Der Wert wird allerdings wesentlich durch die Anlagentechnik (z.B. monoplan vs. biplan) und die Untersuchungstechnik (z.B. mit/ohne LV-Angiogramm) bestimmt. Als Ziel ist eine Strahlenbelastung anzustreben, die im Median der diagnostischen Untersuchungen bei ca. $3000 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2$ liegt [55] (I-C).

2.5.5 Qualitätssicherung

Bei jeder Katheteruntersuchung muss eine lückenlose Dokumentation der Untersuchungsschritte, der verwendeten Materialien und etwaiger Komplikationen erfolgen. Die Daten können entweder am Hämodynamik-Messplatz oder in einem gesonderten Datenbanksystem registriert werden. Die Datenbank sollte für alle wesentlichen Angaben strukturierte Eingabefelder haben, um eine statistische Aufarbeitung zu gewährleisten und eine Übertragung an die vorgeschriebenen oder empfohlenen Register zu ermöglichen. Wünschenswert ist auch eine Integration des Datenbanksystems in ein Abteilungs- oder das Klinikinformationssystem (siehe spezielle Leitlinien [52]).

3 Untersuchungsverfahren

Eine diagnostische Herzkatheteruntersuchung kann aus mehreren Untersuchungsteilen bestehen. Die anzuwendenden Techniken richten sich nach der Grunderkrankung von rechtem und linkem Herzen, der Lunge und den großen zu- und abführenden Gefäßen. Am Herzen sind insbesondere koronare, valvuläre, myokardiale, endokardiale und perikardiale Funktionsstörungen zu erfassen. Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Untersuchungstechniken und anschließend die Art der Herzkatheteruntersuchung für die wesentlichen kardialen und internistischen Erkrankungen dargestellt. Spezielle geräte-technische Aspekte von Herzkathetermessplätzen und Bestimmungen bezüglich des Strahlenschutzes und der Hygiene sind in separaten Leitlinien abgehandelt [52].

■ 3.1 Allgemeine untersuchungstechnische Voraussetzungen

3.1.1 Vorbereitung

Vor der elektiven Linksherzkatheteruntersuchung sollte der Patient ca. drei Stunden keine größeren Mahlzeiten zu sich genommen haben. Auf ausreichende Flüssigkeitszufuhr ist zu achten, ggf. mittels einer intravenösen Infusion. Bei Risikopatienten ist eine vollständige Nahrungskarenz einzuhalten (I-C).

Mit Beginn der Untersuchung muss ein intakter venöser Zugang (I-C) und eine kontinuierliche EKG-Registrierung gewährleistet sein. Eine sterile Abdeckung des Patienten und eine sorgfältige Hautdesinfektion muss durchgeführt werden. Zusätzlich zu der die Messwerte registrierenden nichtärztlichen Assistenzkraft muss ein weiterer Arzt für Notfall-

maßnahmen in räumlicher Nähe unmittelbar abrufbar sein (I-C).

Bei Bedarf und auf Wunsch kann der Patient vor Beginn der Untersuchung ein schnell wirksames Sedativum erhalten (z.B. Diazepam in Tropfenform oder Midazolam i.v.). Eine tiefe Sedierung sollte allerdings vermieden werden, um die Kooperationsfähigkeit des Patienten bei der Untersuchung nicht zu stark einzuschränken. Bei starker Sedierung sollte eine Überwachung durch Pulsoxymetrie erfolgen (I-C).

3.1.2 Notfallausrüstung zur Herzkatheteruntersuchung

Notfallinstrumente (Intubationsbesteck, Absaugsystem, Defibrillator) und Medikamente (Tab. 1) zur Behandlung von Zwischenfällen im Katheterlabor sollten direkt verfügbar sein.

3.1.3 Antikoagulation

Eine routinemäßige Gabe von Heparin zur Durchführung der Herzkatheteruntersuchung ist nicht erforderlich (I-C), wenn die Spüllösung für die Kathetersysteme mit Heparin versetzt ist (1000 IU/L). Abzuwägen ist hier die Vermeidung möglicher thrombotischer Komplikationen gegen das höhere Blutungsrisiko. Folgende klinische Situationen erfordern die Gabe eines Heparin-Bolus von 30–50 IU/kg Körpergewicht (2500–5000 IU unfractioniertes Heparin) (I-C).

- Zugang über die A. radialis oder A. brachialis
- Untersuchungsdauer über 45 min (z.B. bei Patienten mit Bypass-Darstellung)
- langwierige Passage der Aortenklappe z.B. bei Aortenstenosen (sofern unbedingt erforderlich, siehe 4.4.1)

Dieser Bolus sollte nach ca. einer Stunde wiederholt werden.

Tab. 1 Medikamente zur Notfallbehandlung

Hypotonie	NaCl-, Ringer-Lösung, HAES, ggf. Sympathomimetikum
Hypertensive Entgleisung	Nitrat s.l., Nifedipin s.l., Betablocker, Urapidil
Vagale Reaktion	Atropin, NaCl-, Ringer-Lösung
Erbrechen	Metoclopramid
Inadäquate Sinustachykardie	Betablocker, ggf. Benzodiazepine
Akute Angina pectoris	Nitrat, Betablocker
Kontrastmittelreaktion	Kortikosteroid, Antihistaminikum, H ₂ -Blocker, ggf. Adrenalin
Kardiogener Schock/ Lungenödem	Furosemid, Dopamin, Dobutamin, Adrenalin, O ₂ -Insufflation
Asystolie	Orciprenaline (Schrittmacher)
Ventrikuläre Tachykardie	Betablocker, Amiodaron

3.1.4 Gefäßzugang

Die Linksherzkatheteruntersuchung kann über die rechte/linke Arteria femoralis, die rechte/linke Arteria radialis oder die rechte/linke Arteria brachialis durchgeführt werden. Als Punktions-technik wird in der Regel die sog. modifizierte „Seldingertechnik“ (direkte Punktion der Arterie ohne Durchstechen der Gefäßhinterwand) angewendet. In der Regel sollte in die gewählte Arterie eine Schleuse gelegt werden, welche in der Folge ein weitgehend atraumatisches Einführen und Wechseln der Katheter ermöglicht (I-C). Darüber hinaus minimiert die Schleuse durch ihr hämostatisches Ventil den Blutverlust beim Katheterwechsel und ermöglicht durch ihren Seitenarm einen (arteriellen) vaskulären Zugang. Zur diagnostischen Untersuchung ist eine Schleusenlänge von etwa 10 cm ausreichend. Bei ausgeprägter Elongation und Kinking des Zugangsgefäßes (meist der A. femoralis/iliaca) sind längere Schleusen vorteilhaft. Hinsichtlich der Auswahl des Zugangsweges sollten folgende Überlegungen beachtet werden:

- Der femorale Zugang ist der einfachste Zugang und insbesondere bei großen Katheterdiametern zur Intervention (>6 French) zu bevorzugen. Er hat ein Risiko von ca. 1% für schwere Nachblutungen (Leistenhämatom, retroperitoneales Hämatom), sowie von weiteren 1% für vaskuläre Komplikationen (Pseudoaneurysma, AV-Fistel, Gefäßruptur). Die Inzidenz ist unter bestimmten komplizierenden Bedingungen (periphere arterielle Verschlusskrankheit, weibliches Geschlecht, Adipositas, Katheterdurchmesser >5 French, gerinnungshemmende Therapie) erhöht (I-C).
- Der radiale Zugang erfordert ein spezielles Training, hat dann aber eine niedrige Rate von Blutungs- bzw. Gefäßkomplikationen. In ca. 3% kommt es jedoch zum permanenten Verschluss der Arteria radialis, der allerdings bei intaktem Hohlhandbogen klinisch unbedeutend ist. Die Funktionsfähigkeit des Hohlhandbogens sollte allerdings vor Radialispunktion durch den „Allen-Test“ überprüft werden, wozu ggf. wegen der Objektivierbarkeit auch die hämoximetrische Sauerstoffmessung des Indexfingers nach Abdrücken der Arteria radialis geeignet ist (I-C).
- Für diagnostische Linksherzkatheteruntersuchungen kann bei Kathetergrößen bis 6 French auch die Arteria brachialis ohne chirurgische Freilegung (sog. „Sones-Technik“) direkt punktiert werden. Der brachiale Zugang bietet sich als Alternative an, z.B. wenn der femorale Zugang nicht möglich ist oder keine ausreichende Erfahrung für den radialen Zugang besteht (I-C). Bei einem thrombotischen Verschluss der Arteria brachialis muss ggf. eine sofortige chirurgische

Intervention zur Abwendung eines ischämischen Handtraumas erfolgen.

- Wird neben der Linksherzkatheteruntersuchung eine Katheterisierung des kleinen Kreislaufs durchgeführt, eignet sich die zum arteriellen Zugang ipsilaterale oder kontralaterale V. femoralis bzw. die V. basilica/V. cubitalis als Zugang. Auch hier sollte eine Schleuse Verwendung finden, da der Seitenarm im Bedarfsfall als venöser Zugang genutzt werden kann.

3.1.5 Kathetermaterial

Für diagnostische Herzkatheteruntersuchungen ist in der Regel ein Katheterdurchmesser von 5 French empfehlenswert, da hiermit ein sinnvoller Kompromiss zwischen Darstellungsqualität und vaskulären Komplikationen erzielt wird. Katheterdurchmesser von 4 French können bei bestimmten Indikationen (z.B. schlanker Patient, erhöhtes Blutungsrisiko, ambulante Untersuchung) sinnvoll sein; 6-French-Katheter können gewählt werden, falls eine technisch schwierige Gefäßanatomie bekannt oder mit hoher Wahrscheinlichkeit eine komplexe PCI angeschlossen werden muss.

3.1.6 Kontrastmittel

Es sollte so wenig wie möglich und so viel wie nötig Kontrastmittel verwendet werden. Daher ist der Kontrastmittelverbrauch ein Parameter im Rahmen der Qualitätssicherung, der auch von der BQS erfasst wird. Für die Darstellung eines Herzkranzgefäßes sind dabei in der Regel 5–10 ml Kontrastmittel pro Injektion ausreichend. Die Injektion in die Herzhöhlen, die Aorta oder die Pulmonalarterie erfordert größere Kontrastmittelmengen, für deren Applikation eine Injektionspumpe zu benutzen ist. Für Routineuntersuchungen (Koronarien und LV-Angiogramm) sollte der Verbrauch im Mittel unter 110 ml liegen [67] (I-C). Die maximal verabreichte Menge für die Diagnostik sollte 5 ml/kg Körpergewicht nicht übersteigen (I-C). Ggf. ist die Untersuchung abubrechen und zu einem späteren Zeitpunkt fortzusetzen.

Generell sind allgemeine (allergische, zerebrale, etc.), kardiale (Anstieg des LVEDP und der Herzfrequenz, Arrhythmien) und renale Nebenwirkungen der Kontrastmittel zu berücksichtigen (vergleiche hierzu auch die Kapitel Kontrastmittelallergie (5.6), Schilddrüsenerkrankung (5.5) und Niereninsuffizienz (5.1) sowie die vorliegenden Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie [69]).

Es wird unterschieden zwischen ionischen und nicht ionischen Kontrastmitteln bzw. dem Grad der Osmolalität (Tab. 2) [28]. Heute werden hochosmola-

Tab. 2 Röntgenkontrastmittel (Beispiele)

Ionisch/ Nicht-ionisch	Osmolalität	Struktur	Kontrastmittel (Beispiele)
Ionisch	Hochosmolar	Monomer	Diatrizoat-Natrium
	Niederosmolar	Dimer	Ioxaglat (Hexabrix®)
Nicht-ionisch	Niederosmolar	Monomer	Iohexol (Omnipaque®)
			Iopamidol (Solutrast®)
			Ioversol (Optiray®)
			Iomeprol (Imeron®)
			Iobitridol (Xenetix®)
			Iopromid (Ultravist®)
	Isoosmolar	Dimer	Iodixanol (Visipaque®)

re Kontrastmittel für die Herzkatheteruntersuchung aufgrund des hohen Nebenwirkungsrisikos nicht mehr verwendet. Es kommen überwiegend die nicht ionischen Kontrastmittel zur Anwendung, da hier im Vergleich zu ionischen Kontrastmitteln allergische Früh- und Spätreaktionen seltener auftreten (0,5–1,5%) und weniger Interaktionen mit anderen Substanzen bestehen (I-C). Unter Verwendung von ionischen Kontrastmitteln wurde allerdings eine etwas geringere Thrombozytenaktivierung beobachtet, obwohl dies nicht durch große randomisierte Studien belegt ist und klinisch fraglich relevant ist.

Die Osmolalität der niederosmolaren nicht-ionischen (monomeren) Kontrastmittel liegt mit ca. 520–820 mmol noch über der physiologischen Osmolalität. Sie ist abhängig unter anderem vom Jodgehalt (=Maß für die Röntgendichtigkeit), der für die Herzkatheteruntersuchung ca. 300 bis 370 mg/ml beträgt. Entsprechend variiert der Grad der Viskosität (ca. 4,5 bis 12 cP bei 37 °C). Um diese möglichst niedrig zu halten, sollten die Kontrastmittel auf Körpertemperatur vorgewärmt werden.

Dimere, nicht-ionische Kontrastmittel (z.B. Iodixanol) weisen im Vergleich zu monomeren nicht-ionischen Kontrastmitteln eine noch niedrigere Osmolalität im physiologischen Bereich (290 mmol/kg = isoosmolar) auf. Der Vorteil ist bisher umstritten [5, 87, 88] und beschränkt sich auf eine Studie bei Patienten mit Diabetes und stark eingeschränkter Nierenfunktion im Vergleich zu nicht-ionischen niederosmolaren Kontrastmitteln [1] sowie eine Studie, die Iodixanol mit einem ionischen Kontrastmittel vergleicht [58] (IIb-B).

3.1.7 Ambulante Durchführung von Linksherzkatheteruntersuchungen

Eine ambulante Durchführung von Linksherzkatheteruntersuchungen ist prinzipiell bei allen Patienten möglich, die folgende Bedingungen vor und nach der Untersuchung erfüllen (I-C):

- Gute Compliance für Anordnungen und ausreichender Allgemeinzustand
- Keine stationäre Behandlungsnotwendigkeit vor Beginn der Untersuchung
- Komplikationslose Durchführung der Untersuchung
- Kein Untersuchungsergebnis, das eine sofortige stationäre Überwachung erfordert
- Komplikationslose Nachüberwachungsphase
- häusliche Verhältnisse, die eine sichere Nachsorge gewährleisten.

Von vornherein sind Patienten mit drohender Dekompensation durch eingeschränkte LV-Funktion oder hochgradigem Klappenvitium und mit schwerwiegenden Begleiterkrankungen von einer ambulanten Linksherzkatheteruntersuchung auszuschließen (I-C). Auch der spezielle Patientenwunsch (Angst vor Komplikationen), ausgeprägte Adipositas, hohes Lebensalter, entfernter Wohnort und überwachungsbedürftige Begleiterkrankungen (z.B. Diabetes) können gegen eine ambulante Untersuchung sprechen (I-C).

Bei einer ambulanten Untersuchung sollte der Patient nach Einhaltung der unter 3.2.2 genannten Liegezeiten sich für mindestens 30 min in der Nähe des Überwachungsbereichs aufhalten. Nach dieser Zeit kann er die Praxis/das Krankenhaus verlassen. Die Heimfahrt oder der Transport in das zuweisende Krankenhaus können im normalen Pkw erfolgen, allerdings sollte der Patient in den ersten 24 Stunden nach einer Herzkatheteruntersuchung nicht selbst ein Kraftfahrzeug führen. Auch sollte er zur Schonung der Leiste in den ersten drei Tagen nach der Untersuchung keine schweren Lasten heben und schwere körperliche Anstrengungen vermeiden. Dem Patienten sollte eine Rufnummer mitgegeben werden, unter der er rund um die Uhr Unterstützung bei eventuell auftretenden Komplikationen erhalten kann (I-C).

■ 3.2 Der Untersuchungsgang

3.2.1 Standard-Vorgehen

Meist ist die Reihenfolge der Darstellung: linke Koronararterie, rechte Koronararterie, Bypass-Gefäße, LV-Angiogramm, zusätzliche Strukturen (Aortographie) (Tab. 3). Von dieser Reihenfolge kann entsprechend der klinischen Notwendigkeit (z.B. bei Infarkt) abgewichen werden. Einige Untersucher bevorzugen die linksventrikuläre Angiographie vor der Darstellung der Herzkranzgefäße. Vorteil dieses Vorgehens ist die frühzeitigere Information über den LV-Füllungsdruck und das Kontraktionsverhalten, wobei heute

aber diesbezügliche Informationen aus der Echokardiographie vorliegen sollten. Außerdem erhält man durch das Voranstellen der LV-Angiographie bereits Informationen über den Abgang der Koronargefäße. Möglicher Vorteil der primären Darstellung der Herzkranzgefäße kann sein, dass bei Diagnose z.B. einer hochgradigen Hauptstammstenose die Möglichkeit besteht, auf die Kontrastmittelbelastung durch die LV-Angiographie ganz zu verzichten.

Die Katheter sind über einen weichen, J-förmig gebogenen Führungsdraht unter Röntgendurchleuchtung bis in den Aortenbogen vorzuschieben. Der Untersucher hat die luftfreie Flüssigkeitsfüllung aller Katheter vor Intubation der Koronarostien sicherzustellen (I-C). Bei Sondierung der Koronargefäße ist auf eine möglichst koaxiale Lage der Katheterspitze zu achten, damit eine Traumatisierung der Gefäßwand vermieden wird. Bei atypischer Lage der Koronarostien muss entsprechend der Anatomie ggf. auf andere Konfigurationen gewechselt werden (z.B. Amplatz, Multipurpose etc.).

Die bildliche Registrierung der Angiographie sollte mit 12,5 Bildern/s für die Koronardarstellung und mit bis zu 25 Bildern/s für die Lävokardiographie erfolgen. Bei jeder Linksherzkatheteruntersuchung sollte mindestens eine Dokumentation des Drucks in der Aorta und ggf. im linken Ventrikel erfolgen (I-C).

3.2.2 Verschluss der Punktionsstelle

Nach der diagnostischen Untersuchung sollte die Entfernung der arteriellen Schleuse unmittelbar nach Beendigung der Untersuchung durch geschultes Personal erfolgen. Manuelle Kompression über mindestens 5 min ggf. auch mit Hilfe einer entsprechenden mechanischen Vorrichtung ist die Methode der Wahl zur Blutstillung (I-C). Arterielle Verschluss-Systeme können für Schleusen von ≥ 5 French zum Einsatz kommen und steigern den Komfort für den Patienten. Inwieweit auch lokale Gefäßkomplikationen hierdurch reduziert werden, ist nicht abschließend zu beurteilen. Vorteilhaft können diese Systeme bei antikoagulierten Patienten und ambulanten Untersuchungen mit großen Frenchgrößen sein. Ihr Nachteil ist, dass eine nochmalige Punktion des so verschlossenen Gefäßes für sechs Wochen in der Regel nicht empfohlen wird. Kompressions-Systeme, die eine manuelle Blutstillung ersetzen, sollten nicht bei Patienten angewendet werden, die zu adipös sind, so dass ein exakter Verschluss der Punktionsstelle nicht gewährleistet werden kann. Die anschließende Anlage eines Druckverbandes oder Auflegen eines Sandsacks nach erfolgter Blutstillung ist in den meisten Kathetereinrichtungen die Regel, obwohl nicht erwiesen ist, dass dadurch die Komplikationsrate gesenkt

werden kann. Vorteil des Verzichts auf einen Druckverband ist die schnellere Erkennung von Nachblutungen und Verringerung des Risikos von Beinvenenthrombosen. Damit sind beide Vorgehensweisen akzeptabel. Zur Vermeidung von Blutungskomplikationen sollten folgende Liegezeiten nach femoraler Punktion bei einer diagnostischen Untersuchung nicht unterschritten werden (I-C):

- 5-French-Schleuse: 3 bis 4 Stunden
- 6-French-Schleuse: 6 Stunden

Nach Ablauf der Liegezeit beziehungsweise Entfernung des Druckverbandes muss die Leiste durch Inspektion, Palpation und Auskultation auf Komplikationen (Hämatom, Fistel, Aneurysma) untersucht werden (I-C). In Abhängigkeit vom internistischen und vaskulären Status des Patienten kann auch eine längere Liege- und Überwachungsdauer nach dem Eingriff notwendig sein.

■ 3.3 Spezielle Untersuchungstechniken

3.3.1 Koronarangiographie

Die Koronarangiographie ist derzeit der Goldstandard zur morphologischen Diagnostik der Koronar-anatomie. Die Indikation ergibt sich bei klinischem Verdacht auf eine relevante koronare Herzkrankheit bzw. zum Ausschluss basierend auf klinischen Symptomen, Vorgeschichte und nicht-invasiven Untersuchungsverfahren. Es können Lokalisation, Länge, Schweregrad und Art der Obstruktion (Atherom, Thrombus, Dissektion, Spasmus und Muskelbrücke) in den epikardialen Arterien identifiziert werden. Hinweise auf die koronare Mikrozirkulation ergeben sich angiographisch anhand des Blutflusses („slow flow“-Phänomen, TIMI-Status [TIMI flow grade] [91] oder „blush grade“ [TIMI myocardial perfusion grade, TMP] [46]).

Jedes Segment der Koronargefäße sollte möglichst in zwei aufeinander senkrecht stehenden Projektionen überlagerungsfrei und unverkürzt einzusehen sein. Insbesondere sind Überlagerungen durch die Wirbelsäule und das Zwerchfell möglichst zu vermeiden. Für die Darstellung der linken Koronararterie sind in der Regel mindestens sechs und für die rechte mindestens zwei Projektionen erforderlich. Ein standardmäßiger Untersuchungsablauf ist zu empfehlen, Abweichungen in Abhängigkeit von der Anatomie sind im Einzelfall erforderlich (I-C).

Wenn möglich, sollten Projektionsebenen mit möglichst niedriger Strahlenbelastung für den Patienten und den Untersucher gewählt werden; besonders strahlenbelastend sind LAO-Projektionen, vor allem wenn sie anguliert sind [65]. Außerdem sollte

Tab. 3 Beispiel für eine Standard-Herzkatheteruntersuchung (I-C)

1. Druckmessung in der Aorta
2. Darstellung der linken Koronararterie in mindestens 6 Projektionen
3. Darstellung der rechten Koronararterie in mindestens 2 Projektionen
4. Sondierung des linken Ventrikels mit einem Pigtail-Katheter und Messung des Druckes im LV
5. Linksventrikuläres Angiogramm in RAO 30° und LAO 60°
6. Druckmessung im LV und nach Rückzug in der Aorta

das Bild so weit wie möglich eingeblendet werden und die Film- und Durchleuchtungsdauer so kurz wie möglich gehalten werden [64].

Starkes Verschieben des Tisches während der Aufnahme („panning“) erschwert die Detailbeurteilung und ist zu vermeiden (I-C).

Vorsicht ist bei Kontrastmittelinjektion in kleine Koronararterien und kleinkalibrigen Bypassgefäßen geboten, da eine Myokardüberlastung mit Kontrastmittel Ischämie und Kammerflimmern auslösen kann. Das ist besonders häufig bei Injektion in die Konusarterie der rechten Kranzarterie der Fall, kann aber auch bei verschlossenen oder ostiumnahen kleinen Arterien der linken Koronararterie auftreten. Besondere Bedeutung hat auch die Vollständigkeit der Abbildung aller Koronararterien, was nach Bypassoperationen, bei kollateralisierten Verschlüssen und bei Koronaranomalien schwierig sein kann und die Kenntnis der normalen Koronaranatomie und -verteilung voraussetzt (I-C).

Tabelle 3 listet exemplarisch einen Vorschlag zur Abfolge einer Herzkatheteruntersuchung auf.

Bei der Auswahl der Projektionen ist die Strahlenbelastung zu beachten, die insbesondere bei Angulationen zunimmt (Abb. 1 a). Die vom Körper des Patienten ausgehende Streustrahlung ist für den Untersucher besonders entscheidend. Wenn die Strahlenquelle auf der gleichen Seite wie der Untersucher ist (LAO-Projektionen) und wenn andere Organe (besonders Knochen) durchstrahlt werden müssen (kraniale oder kaudale Angulationen), ist die Strahlenbelastung am höchsten (Abb. 1 b).

Einblenden, adäquate Atemtechnik und angemessene kurze Durchleuchtung/Aufnahmelänge sind weitere Maßnahmen, welche die Strahlenexposition reduzieren können.

Abbildung 2 und Tabelle 4 geben alternative Projektionen an, in denen bestimmte Bereiche der Herzkranzgefäße erfahrungsgemäß besonders gut dargestellt werden können. Die Unterschiede in der Strahlenbelastung sollte der Untersucher in die Entscheidung für bestimmte Projektionen mit einfließen lassen, sofern dies die Anatomie des Patienten und bauliche Voraussetzungen (z.B. Limitation bei biplaner Anlage) erlauben.

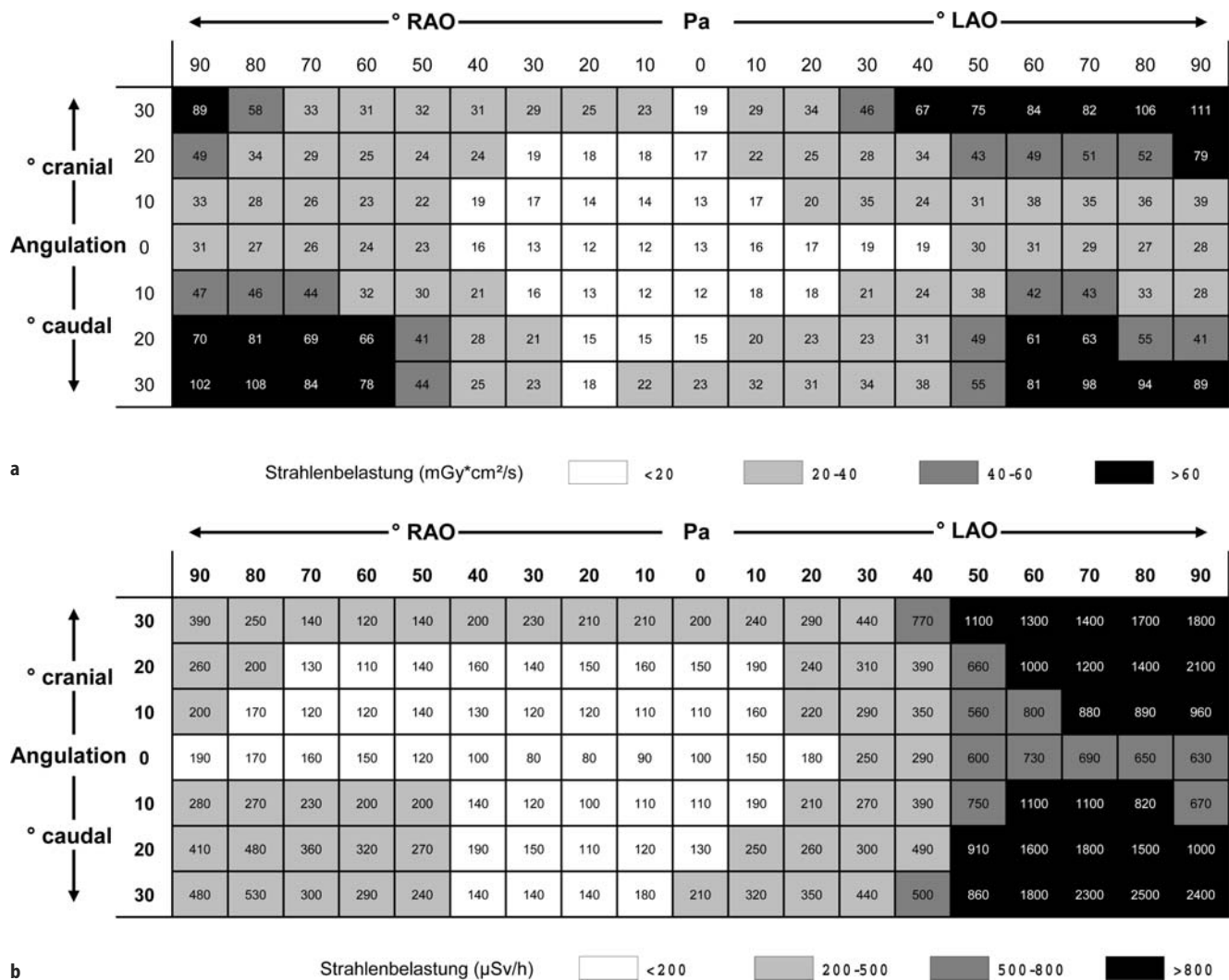


Abb. 1 a, b Strahlenbelastung verschiedener Projektionen am Phantom nach Kuon et al. [65]: **a** Strahlenbelastung für den Patienten (Zeit-adjustierte Exposition). **b** Strahlenbelastung für den Untersucher (mittlere Exposition)

Die LV-Angiographie wird in der Regel in den Projektionen RAO 30° und LAO 60° durchgeführt. Gegenüber der LAO 60° würde sich die Strahlenbelastung für den Patienten bei LAO 40° um 40% (Untersucher –60%) und für den Untersucher bei RAO 100° (soweit bautechnisch möglich) um 74% reduzieren [65].

3.3.2 Angiographie des linken Ventrikels (Lävokardiographie)

Die linksventrikuläre Funktion ist eine wesentliche prognostische Determinante des kardial kranken Patienten. Daher sollte bei koronaren, myokardialen, valvulären und bei rhythmologischen Fragestellungen eine Druckmessung und die angiographische Darstellung des linken Ventrikels durchgeführt werden (I-C). Die Lävokardiographie sollte mindestens

in einer RAO-Projektion (30°), ggf. zusätzlich in LAO (60°) erfolgen (ggf. Abweichung der Projektionen bei spezifischen Fragestellungen, z.B. LAO ggf. lateraler oder kranialer bei Mitralinsuffizienz). Eine simultane biplane Darstellung ist wegen der Kontrastmittelsparnis zu bevorzugen. Der Katheter sollte möglichst extrasystolenfrei in der Mitte des linken Ventrikels, entfernt von der Mitralklappe platziert werden. Bei volumenbelasteten Vitien, besonders bei Mitralinsuffizienz, ist ein erhöhtes Injektionsvolumen erforderlich.

Bei Patienten mit schwerer Niereninsuffizienz (Kreatinin > 2,0 mg/dl, errechnete GFR < 30 ml/min), akuter Linksinsuffizienz oder akuter Ischämie sollte auf die zusätzliche Kontrastmittelbelastung verzichtet werden und bei klinischer Indikation nur die Druckmessung im Ventrikel erfolgen.

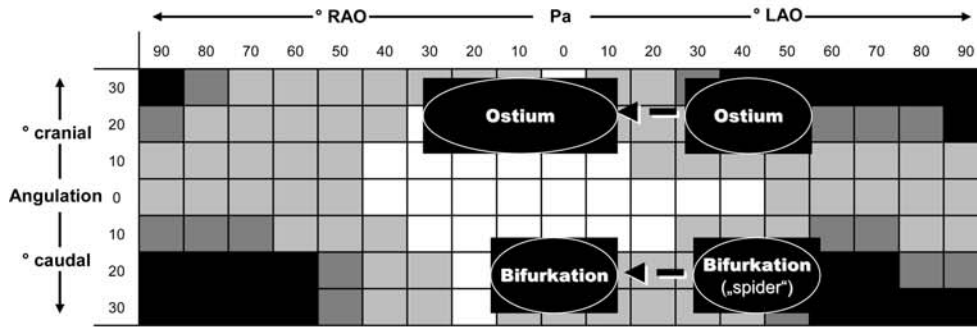
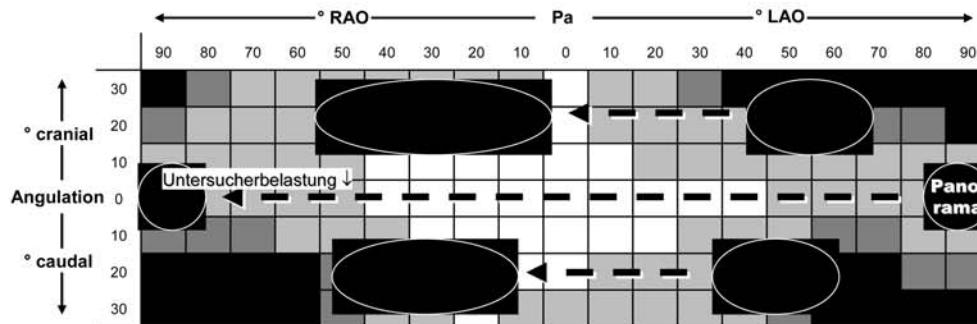
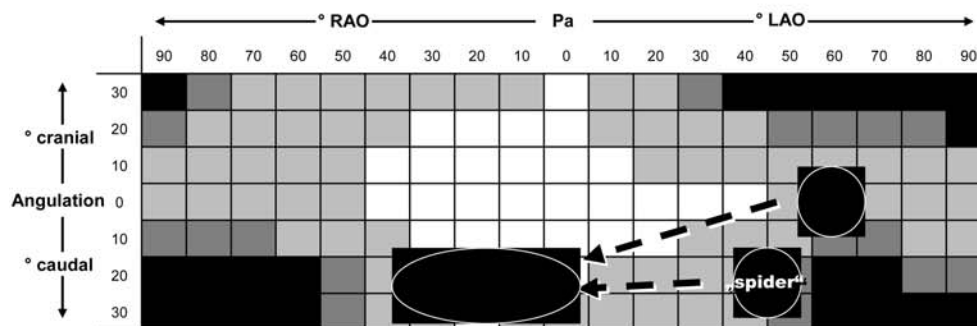
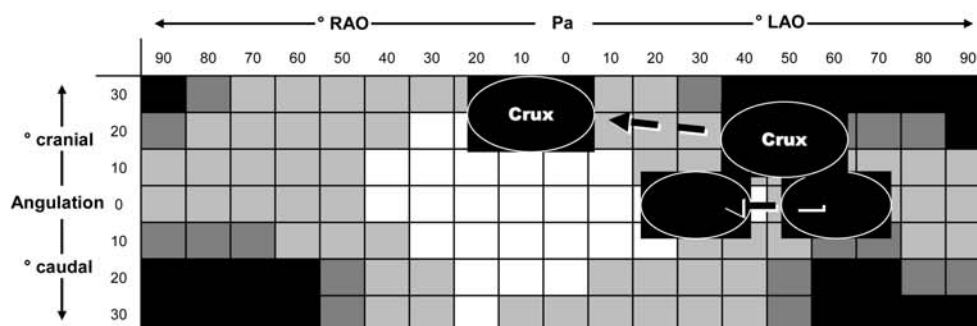
Linker Hauptstamm**RIVA/Diagonalast-Abgänge****RCX/Marginaläste****RCA/Crux**

Abb. 2 Alternative Projektionen zur optimalen Darstellung verschiedener Segmente der Herzkranzgefäße und Strahlenbelastung (Schwärzungsgrad) für den Patienten (Einteilung wie in Abb. 1 a)

Tab. 4 Projektionsempfehlungen für verschiedene Koronarbereiche unter dem Aspekt der Strahlenexposition [64, 65]. Strahlenexposition: += <20, ++=20–40, +++=40–60 und ++++=>60 mGy^{cm}²/s Fluoroskopie

Gefäßregion	Projektionen in °		Patientenexposition	Besonderheiten
RIVA Übersicht	Typisch	RAO 30	+	70% Reduktion der Untersucherexposition versus LAO 90°
		LAO 60	++	
	Alternative	RAO 5–15	+	
		LAO 90	++	
		RAO 90	++	
Hauptstamm und Bifurkation RIVA/RCX	Typisch	LAO 40, kaudal 20 (max.) = „spider“	++	Cave: LAO 60 +++
	Alternative	PA bis RAO 30, kaudal 30	+ / ++	
		PA 30 kranial PA 0 Angulation	++ +	
RIVA und RD	Typisch	LAO 40–50, kranial 20	++ / +++	Cave: kranial 30 ++++
	Alternative	PA bis RAO 10, kranial 30	+ / ++	
RCA Übersicht		LAO 40–60	+++	
RIVP mit RPLD, Crux cordis		LAO 20–40, kranial 20	+++	
RIVP mit RPLD-Ästen		PA bis RAO 30, kranial 30	++++	

Auch bei Patienten mit echokardiographisch gut darstellbarer Ventrikelfunktion oder bekannter LV-Funktion aus der Kernspintomographie kann auf die Ventrikulographie verzichtet werden.

Bei Aortenklappenstenosen mit nicht-invasiv eindeutiger Operationsindikation sollte in der Regel auf die retrograde Sondierung der Klappe verzichtet werden. Bei endokarditischem Befall der Aortenklappe, LV-Thrombus und mechanischen Herzklappen ist die Klappenpassage kontraindiziert. Die Klappenpassage bei Aortenklappen-Bioprothese ist nur bei strenger Indikation zulässig (I-C).

3.3.3 Angiographie des rechten Ventrikels

Da die Beurteilung des rechtsventrikulären Angiogramms schwierig ist, sind die Echokardiographie und die MRT heute zu bevorzugen (I-C). Die Indikation zur Angiographie des rechten Ventrikels kann sich ergeben bei angeborenen Herzfehlern, myokardialen Erkrankungen (z.B. rechtsventrikuläre Kardiomyopathie) sowie in Ausnahmefällen bei Erkrankungen der Lunge und des kleinen Kreislaufs oder zur Abschätzung der Auswirkung von linkskardialen Störungen auf den kleinen Kreislauf bzw. den rechten Ventrikel. Die bevorzugten Projektionen sind dann RAO 15° und LAO 90° bzw. entsprechend der Fragestellung (I-C). Wegen der erhöhten Perforationsgefahr sollten nur Katheter mit seitlichem Kon-

trastmittelaustritt (z.B. Pigtail-Katheter oder Berman-Katheter) angewandt werden.

3.3.4 Darstellung der großen Venen und Pulmonalgefäße

Die großen Venen und Pulmonalgefäße können heute mit hoher Qualität nicht-invasiv mittels Echokardiographie, Spiral-CT oder MRT dargestellt werden. Im Einzelfall ergibt sich die Indikation zur Darstellung der großen Venen, insbesondere der Vena cava superior und inferior bei angeborenen Vitien, Anomalien der Hohlvenen oder anderen seltenen speziellen Indikationen (z.B. Tumoreinengung). Eine Darstellung der Pulmonalarternien kann bei geplanten korrigierenden Operationen und bei V.a. Fisteln durchgeführt werden.

3.3.5 Darstellung der großen Arterien

Eine Aortographie oder Darstellung anderer großer Gefäße ist nicht Bestandteil der routinemäßigen Linksherzkatheteruntersuchung und sollte nur bei gezielter Fragestellung (siehe auch Kapitel 4.6 ff.) erfolgen (I-C). Nicht-invasive, bildgebende Verfahren sind zu bevorzugen (MRT, CT, transösophageale Echokardiographie).

Die Aortographie wird in der Regel in RAO 45° und LAO 45° durchgeführt (I-C). Der „pigtail“-Ka-

Tab. 5 Standardparameter für Injektionspumpen (zu modifizieren entsprechend Qualität der Röntgenanlage und klinischer Fragestellung)

	Volumen (ml)	Flussrate (ml/s)
Linker Ventrikel	20–30	10–15
Rechter Ventrikel	20–30	8–10
Aorta	30–40	15–20

theter ist dabei ca. 4 cm oberhalb der Aortenklappe zu positionieren. Zur ausreichenden Kontrastierung sind größere Kontrastmittelmengen mit hohem Fluss erforderlich (Tab. 5). Ggf. ist der Tisch nachzufahren, um den Aortenbogen ausreichend darzustellen.

Bei entsprechender Indikation kann die Darstellung anderer Gefäße (z. B. Carotiden, Nierenarterien, Becken-/Beingefäße) in gleicher Sitzung erfolgen. Die Indikation zu dieser Erweiterung der Untersuchung muss im Einzelfall indiziert sein und ist nicht als routinemäßige Maßnahme zu rechtfertigen (I-C).

3.3.6 Hämodynamische Messungen

Systemische Drücke sind während der Untersuchung fortlaufend über die Katheter und ggf. zusätzlich über den Seitenarm der Schleuse zu überwachen (I-C). Bei Blutdruckwerten systolisch unter 90 mmHg bzw. über 200 mmHg ist bei elektiven Untersuchungen zuerst eine medikamentöse Korrektur angezeigt (I-C).

Der enddiastolische Druck im linken Ventrikel hat prognostische Bedeutung und sollte routinemäßig vor der Lävokardiographie gemessen werden. Auf einen exakten Nullabgleich sollte dabei geachtet werden. Das Druckmanometer wird dabei üblicherweise unter Zuhilfenahme einer Schieblehre in einer Höhe von einem Drittel des Thorax positioniert. Des Weiteren sollte die Druckkurve routinemäßig beim Rückzug des Katheters vom linken Ventrikel in die Aorta dokumentiert werden, um so einen Gradienten zwischen linkem Ventrikel und der Aorta (Gradient an Aortenklappe bzw. Ausflussbahngradient) zu dokumentieren (zur Diagnostik der Aortenstenose s. Kap. 4.4.1).

Hämodynamische Untersuchungen im kleinen Kreislauf sind durch verbesserte nicht-invasive bildgebende Verfahren zunehmend seltener erforderlich und gehören deshalb nicht zur Standardherzkatheteruntersuchung (I-C). Die Indikation zur Rechtsherzkatheteruntersuchung sollte bei unklarer rechtskardial führender Symptomatik einschließlich Registrierung des pulmonalarteriellen Verschlussdruckes („pulmonary capillary wedge pressure“, PC-Druck) zur weiteren Differenzierung linkskardialer, pulmonaler und rechtskardialer Erkrankungen erfolgen.

Außerdem ergibt sich die Indikation bei der Beurteilung von Mitralklappenvitien. Bei Grenzbefunden oder bei gutachterlichen Fragestellungen kann die Bestimmung des PA-Druckes und des PC-Druckes sowohl in Ruhe als auch unter Belastung durchgeführt werden.

Die Indikation zur Bestimmung der gemischt-venösen, der zentralvenösen und der arteriellen Sauerstoffsättigung, der simultanen Druckregistrierung und des Herzzeitvolumens ergibt sich bei unklaren Symptomen der Herzinsuffizienz (NYHA II–IV; Definition im Anhang 8.3.), insbesondere zur differentialdiagnostischen Abklärung des relativen Anteils von myokardialen und valvulären Funktionsstörungen, sowie angeborenen/erworbenen Herzfehlern (I-C). Das Herzzeitvolumen (HZV) kann sowohl mittels Thermodilution als auch mittels Oxymetrie (genauer bei niedrigem HZV) bestimmt werden. Bei Shuntvitien besteht die Indikation zur Bestimmung des pulmonal-vaskulären Widerstands (PVR) und ggf. auch des systemischen Widerstands (SVR) sowie der ortsbezogenen Sauerstoffsättigungen (I-C). Mit den gemessenen Parametern können über entsprechende Formeln weitere abgeleitete Parameter wie z. B. Klapfenöffnungsflächen bestimmt werden.

3.3.7 Myokardbiopsie

Die Indikation zur Myokardbiopsie ist nach Herztransplantation zur Kontrolle der immunsuppressiven Therapie gegeben (I-A). Bei unklaren Myokard-erkrankungen (z. B. Verdacht auf Myokarditis, unklare Speichererkrankung) kann die Biopsie zur Diagnosesicherung und/oder Therapieplanung sinnvoll sein [57] (I-C). Risiken sind insbesondere bei rechtsventrikulärer Biopsie die Perforation (daher rechtsventrikulär möglichst im Septum biopsieren) und bei linksventrikulärer Biopsie die zerebrale Embolisation. Für die Myokardbiopsie sollte die INR < 2,0 sein. Für die linksventrikuläre Biopsie sollten zur Prophylaxe systemischer Embolien 5000 E Heparin verabreicht werden (I-C).

Die Lokalisation der Biopsie sollte entsprechend der vermuteten Lokalisation der zu diagnostizierenden Erkrankung so gewählt werden, dass das Risiko eines falsch negativen Befundes („sampling error“) minimiert wird. Beispielsweise sind Myokarditiden häufig nur linksventrikulär nachweisbar [68]. Wenn zuvor ein kardiales MRT zur Lokalisation der Myokarditis durchgeführt wurde, kann die Biopsie gezielt – entsprechend dem MRT-Befund – durchgeführt werden.

4 Krankheitsbilder

■ 4.1 Koronare Herzkrankheit (KHK)

Mit der Koronarangiographie werden die Anatomie der Koronargefäße sowie Lage und Ausmaß einer atherosklerotischen Lumen-Einengung der epikardialen Arterien dargestellt. Darüber hinaus kann die Morphologie (z. B. Verkalkungen, Dissektion, Thrombus) und der Blutfluss beurteilt werden. Zudem gibt die linksventrikuläre Angiographie Auskunft über das globale und regionale Kontraktionsverhalten des linken Ventrikels und ggf. über die diastolische Funktion.

Die Koronarangiographie stellt nur das Lumen der epikardialen Arterien dar, was in der Regel zur Abschätzung der hämodynamischen Relevanz von Koronarstenosen ausreichend ist. Die Gefäßwand und damit das tatsächliche Ausmaß der atherosklerotischen Wandverdickung (Plaquelast) sowie die Qualität von Plaques (z. B. Vulnerabilität für ein zukünftiges akutes Koronarsyndrom) können durch die Koronarangiographie nicht beurteilt werden [62].

4.1.1 Klinische Vordiagnostik

Die Symptomatik des Patienten, das kardiovaskuläre Risikoprofil sowie eine bekannte Manifestation einer Atherosklerose liefern wesentliche Informationen zur klinischen Einschätzung, ob eine mittels Koronarangiographie abklärungsbedürftige koronare Herzkrankheit vorliegt.

■ Symptomatik

Angina pectoris ist das Leitsymptom der KHK. Zur klinischen Charakterisierung und Einschätzung des Schweregrades von Angina pectoris sind folgende Einteilungen üblich [41, 80]:

■ Charakteristik des Thoraxschmerzes

Bei typischen Angina pectoris-Beschwerden ist die Wahrscheinlichkeit für eine KHK als Ursache hoch, atypische Beschwerden schließen eine KHK jedoch nicht aus (nach [80], siehe Anhang 8.1)

■ Schweregrad der (stabilen) Angina pectoris

Einteilung entsprechend der Canadian Cardiovascular Society (CCS)-Klasse (siehe Anhang 8.2)

■ Hinweis auf *instabile Angina pectoris* bzw. akutes Koronarsyndrom/Myokardinfarkt

Hierzu gehören Ruhe-Angina pectoris-Beschwerden, Crescendo Angina, erstmalige Angina und Postinfarkt-Angina (siehe deutsche [53] und europäische [8] Leitlinien zum Akuten Koronarsyndrom).

■ Vorgeschichte

Faktoren, welche die Wahrscheinlichkeit für eine relevante KHK erhöhen, sollten erhoben werden [4]:

■ Kardiovaskuläre Risikofaktoren [2, 29, 38, 51]

Beeinflussbar: Arterielle Hypertonie, Hyperlipidämie, Rauchen, Niereninsuffizienz;
ein besonders hohes Risiko besteht bei Diabetes mellitus.

Nicht beeinflussbar: Männliches Geschlecht, Lebensalter, positive Familienanamnese

■ Frühere Manifestation einer Atherosklerose

Koronar: PCI, Bypass-Operation, akutes Koronarsyndrom/Myokardinfarkt.

Andere Manifestationen: periphere arterielle Verschlusskrankheit, zerebrale Atherosklerose, Apoplex.

■ Untersuchungsbefund

Der körperliche Untersuchungsbefund kann Hinweise geben auf eine Herzinsuffizienz oder mögliche Differentialdiagnosen der Thoraxschmerzen, z. B. kardiopulmonal (hypertensive Entgleisung, Perikarditis, Pleuritis) oder nicht kardial (Wirbelsäule, Magen, etc.).

4.1.2 Apparative Vordiagnostik

■ Belastungs-EKG

Zur Abklärung von Thoraxschmerzen oder bei klinischem Verdacht auf eine relevante koronare Herzkrankheit bzw. Progression einer bekannten koronaren Herzkrankheit stellt das Belastungs-EKG die Methode der ersten Wahl dar (siehe Leitlinien zur Durchführung der Ergometrie [92]).

Hinweise auf eine Ischämie können sich dabei ergeben durch Endstreckenveränderungen im EKG, Auftreten einer klinischen Symptomatik (Angina pectoris, Dyspnoe), Blutdruckabfall oder ventrikuläre Rhythmusstörungen. Darüber hinaus ergeben sich Hinweise auf die allgemeine Leistungsfähigkeit und hypertensive Blutdruckregulation.

Die Sensitivität des Belastungs-EKGs liegt allerdings nur bei ca. 70% bei einer Spezifität zwischen 70% und 85%. Dabei hängt die Genauigkeit des Belastungs-EKGs von der Vortestwahrscheinlichkeit (niedrige Vortestwahrscheinlichkeit = unpräzises Ergebnis) ab [42, 92]. Der Nachweis einer Myokardischämie in einer Belastungs-Untersuchung liefert auch eine prognostische Information [80].

■ Bildgebende Belastungs-Untersuchungen

Die Indikation für bildgebende Verfahren zum Ischämienachweis ist gegeben bei negativem bzw. nicht beurteilbarem Belastungs-EKG und klinischem Verdacht auf eine relevante koronare Herzkrankheit

oder wenn eine körperliche Belastung nicht möglich ist (pharmakologische Belastung) (I-C).

Eingesetzt wird hierzu die Stress-Echokardiographie [25] mittels körperlicher Belastung, Dobutamin [76], Dipyridamol oder Adenosin. Alternativ kann die Myokardszintigraphie zum Ischämienachweis verwendet werden [98]. Ein neueres, sensitives Verfahren stellt die Stress-Kernspintomographie (MRT) dar.

Der Nachweis von unter Ruhebedingungen akinetischen, aber noch vitalen Myokardbereichen („hibernating myocardium“) kann mit der („low dose dobutamin“) Stress-Echokardiographie [25], Szintigraphie mit Reinjektion, der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) [21] und auch mit der MRT durchgeführt werden.

Belastungs-EKG und bildgebende Verfahren liefern auch prognostische Informationen [80] (siehe Abschnitt 4.1.4).

■ Echokardiogramm

Bei Patienten, bei denen elektiv eine Koronarangiographie geplant ist, sollte vorher eine Echokardiographie-Untersuchung zur Bestimmung der linksventrikulären Funktion (regionale oder globale Wandbewegungsstörung) und möglicher Differential-/Begleitdiagnosen (z.B. Vitien, linksventrikuläre Hypertrophie, pulmonale Hypertonie) durchgeführt werden. (I-C) Hierdurch kann die Herzkatheteruntersuchung gezielt geplant werden (z.B. zusätzlich Rechtsherzkatheter, Aortenwurzelangiographie).

4.1.3 Nicht-invasive morphologische Koronardiagnostik

■ Cardio-CT

Elektronenstrahl-Tomographie (EBT) oder die Mehrzeilen-Spiral-CT-Untersuchung erlauben eine Quantifizierung des Kalkgehaltes der Koronararterien (Agatston-Score), der ein von den traditionellen Risikofaktoren unabhängiger Prädiktor für kardiovaskuläre Ereignisse ist [77]. Zu berücksichtigen sind die Strahlenbelastung und die Kosten des Verfahrens (I-C).

Das Ausmaß der Verkalkung korreliert nicht mit der hämodynamischen Relevanz von Koronarstenosen, so dass ein positiver Befund von Koronarverkalkungen im Cardio-CT allein keine Indikation zur Koronarangiographie darstellt (I-C).

Mit der Mehrzeilen-Spiral-CT der neueren Generation (16-, 64- bzw. 256-Zeiler, Dual Source) kann nach Kontrastmittelgabe auch das Lumen der proximalen Abschnitte der Koronargefäße dargestellt werden. Die Qualität der CT-Angiographie erreicht bisher aber noch nicht durchgehend die Qualität der

Koronarangiographie, so dass das Verfahren vorläufig nicht als Alternative zur Detektion von hämodynamisch relevanten Stenosen empfohlen werden kann (I-C).

In ausgesuchten Fällen kann eine CT-Untersuchung der Herzkranzgefäße eine koronare Herzkrankheit bei jüngeren Patienten mit niedrigem bis mittlerem kardiovaskulären Risiko zusätzlich unwahrscheinlich machen (I-C). Der Nachweis von Stenosierungen der proximalen Gefäßabschnitte oder des linken Hauptstamms im CT kann dann für die Indikationsstellung zur Koronarangiographie herangezogen werden. Auch hier ist jedoch die zusätzliche Strahlen- und Kontrastmittelbelastung durch die CT-Untersuchung zu berücksichtigen. Geeignet ist die CT-Angiographie zur Darstellung abnormer Gefäßabgänge bzw. -verläufe (z.B. rechte Kranzarterie zwischen Aorta und Pulmonalarterie) (I-C).

■ MRT-Koronarangiographie

Bei der MRT-Angiographie handelt es sich um ein neues Verfahren, welches bisher nur an wenigen Zentren, hauptsächlich zur wissenschaftlichen Evaluation, zur Verfügung steht. Zur Darstellung der Koronararterien ist die MRT derzeit ungeeignet (I-C).

4.1.4 Indikation zur Koronarangiographie

■ Generelle Voraussetzungen

Obwohl der angiographische Schweregrad der KHK prognostische Relevanz hat, ist die Koronarangiographie keine „Screening“-Methode zur Bestimmung des kardiovaskulären Risikos (I-C). Allgemein sollte eine Koronarangiographie durchgeführt werden, wenn

- a) eine typische klinische Symptomatik und/oder die nicht-invasive Vordiagnostik ausreichend Hinweise für eine relevante koronare Herzkrankheit liefern (I-A).
- b) die Untersuchung eine mögliche therapeutische Konsequenz hat, die Symptomatik und/oder die Prognose des Patienten zu verbessern (I-A).

D.h. Patienten, die eine eventuelle PCI oder Bypass-Operation grundsätzlich ablehnen oder die aufgrund einer fortgeschrittenen malignen Erkrankung eine kurze Lebenserwartung haben, sind von der Herzkatheteruntersuchung auszuschließen (siehe auch Abschnitt 6: Kontraindikationen zur Herzkatheteruntersuchung).

■ Allgemeine Indikation

Allgemeine Indikationen zur Koronarangiographie sind in Tab. 7 aufgelistet. Die Indikation ist gegeben bei typischer Angina-Symptomatik auf niedriger

Tab. 6 Hochrisikopatienten nach Scanlon et al. (ACC/AHA) [81]

Risikostratifizierung nach Belastungs-/bildgebenden Untersuchungen – Hochrisikopatienten
Belastungs-EKG
■ ST-Streckensenkung und/oder schwere Angina pectoris unter Belastung [81]
Ruhe-Echokardiographie
■ Stark reduzierte LV-Funktion (EF < 35%) in Ruhe
Stress-Echokardiographie
■ Stark reduzierte LV-Funktion (EF < 35%) in Ruhe oder unter Belastung
■ Wandbewegungsstörungen in > 2 Segmenten unter Niedrigdosis-Dobutamin (10 µg/kg/min) oder bei niedriger Herzfrequenz (<120/min)
■ Ausgedehnte Ischämie
Myokardszintigramm
■ Belastungs-induziert großer Perfusionsdefekt (vor allem anterior)
■ Belastungs-induziert mehrere mäßig große Perfusionsdefekte
■ Belastungs-induziert mäßig großer Perfusionsdefekt mit LV-Dilatation oder vermehrter Lungenaufnahme
■ Großer fixierter Perfusionsdefekt im Tl ²⁰¹ -Myokardszintigramm mit LV-Dilatation oder vermehrter Lungenaufnahme

Schwelle (z. B. CCS-Klasse III/IV) oder eindeutigem, großen Ischämienachweis (I-A).

Bei geringeren oder atypischen Angina-Beschwerden stützt sich die Indikation vornehmlich auf nicht-invasive Verfahren. Hiermit lassen sich Hochrisikopatienten (Mortalitätsrisiko 3% im nächsten Jahr) charakterisieren, die invasiv abgeklärt werden sollten (I-A/C) (Tab. 6) [80].

Da die Sensitivität und Spezifität sowohl der klinischen Symptomatik als auch nicht-invasiver Ischämienachweis-Methoden limitiert ist, muss die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer relevanten KHK aus der Zusammenführung verschiedener Befunde abgeschätzt werden (I-C). Die Kombination aus Symptomen (siehe Anhang: 8.1), Anamnese, Befunden und Risikofaktoren (Vortestwahrscheinlichkeit) und Ischämienachweis (Vordiagnostik) ergibt die höchste Zuverlässigkeit in Bezug auf die therapeutische Konsequenz einer Koronarangiographie [42, 92]. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Patienten mit einer thorakalen Beschwerdesymptomatik eine relevante (interventionsbedürftige) KHK zu haben, steigt abhängig von der Anzahl und Schwere der vorhandenen Risikofaktoren [4].

4.1.5 Akutes Koronarsyndrom/Myokardinfarkt

Patienten mit akutem Koronarsyndrom und erhöhtem Risiko (z. B. Troponin positiv oder ST-Senkung) profitieren von einer raschen Koronarangiographie (mit Intervention) spätestens innerhalb von 72 Stunden (I-A); möglicherweise ist bei einigen Patienten eine Angiographie sogar innerhalb von sechs

Tab. 7 Indikation zur Koronarangiographie bei V.a. KHK oder bekannter KHK (Evidenzbewertung in Hinblick auf medikamentöse oder invasive therapeutische Konsequenz)

Indikation zur Koronarangiographie	Evidenzgrad
Empfehlungsgrad I	
■ Angina pectoris der CCS-Klasse III oder IV, neu oder unter Therapie	A
■ Hochrisikokriterien bei nicht-invasiver Testung unabhängig vom Schweregrad der Angina pectoris	A/C
Empfehlungsgrad II a	
■ Angina pectoris CCS-Klasse I oder II mit Intoleranz oder fehlender Ansprechbarkeit auf eine medikamentöse Therapie, oder bei wiederkehrender Angina pectoris trotz medikamentöser Therapie	C
■ Verschlechterung eines Belastungstest-Befundes (bei identischem Protokoll)	C
■ Patienten mit Angina und Verdacht auf eine koronare Herzkrankheit (hohe Vortestwahrscheinlichkeit), bei denen aufgrund einer Behinderung oder anderer Erkrankung keine Belastungsuntersuchung durchgeführt werden kann	C
■ Verdacht auf hochgradige Stenose in den proximalen Gefäßabschnitten oder im linken Hauptstamm in der CT-Angiographie im Mehrzeilen-Spiral-CT	C
■ Individuen bei denen berufsbedingt (z. B. Fremdgefährdung) ein sicherer Ausschluss einer koronaren Herzkrankheit bei entsprechendem Verdacht (abnormale Belastungsuntersuchungen ohne Hochrisikomerkmale oder andere Risikomerkmale) unabdingbar ist	C
■ Asymptomatische Männer oder postmenopausale Frauen ohne bekannte KHK mit ≥ 2 Risikofaktoren mit abnormalem Befund in nicht-invasiven Untersuchungen	C
■ Asymptomatische Patienten mit früherem Myokardinfarkt und Ischämienachweis	C
Empfehlungsgrad II b	
■ Patienten mit stabiler Angina pectoris (CCS-Klasse I oder II) mit gutem Ansprechen auf medikamentöse Behandlung und fehlendem Ischämienachweis (Indikation im Einzelfall)	C
■ Patienten mit bekannter, invasiv gesicherter KHK ohne Änderung der Symptomatik oder nicht-invasiver Untersuchungsergebnisse	C
■ Periodische Evaluation nach Herztransplantation	C
Keine Indikation zur Koronarangiographie (siehe auch Abschnitt 6)	
■ Patient stimmt therapeutischen Konsequenzen (Revaskularisation) grundsätzlich nicht zu	C
■ Patienten bei denen aufgrund einer wesentlichen Komorbidität das Risiko der Untersuchung größer ist als der Nutzen durch Sicherung der Diagnose	C
■ Als „Screening“-Methode für eine KHK bei asymptomatischen Patienten	C
■ Nachweis von Kalk im Herz-CT (EBT oder Spiral-CT)	C

Stunden notwendig (IIa-C). Eine ausführliche Beschreibung findet sich in den aktuellen deutschen [12, 53, 54] und europäischen [8, 84, 95] Leitlinien.

Eine rasche Reperfusion ist zentrales Ziel der Behandlung von Patienten mit einem ST-Hebungs-Myokardinfarkt. Randomisierte Studien zeigen einen Vorteil der Akut-PCI im Vergleich zur Fibrinolyse, sogar bei längeren Transportwegen zu einem Interventionszentrum. Insofern ist die akute Angiographie innerhalb von 90 Minuten nach Ankunft des Rettungsdienstes mit der Möglichkeit der sofortigen PCI die bevorzugte Behandlungsmaßnahme des ST-Hebungs-Myokardinfarkts (I-A).

Indiziert ist eine Koronarangiographie auch mit dem Ziel einer ‚Rescue‘-PCI (nach Lyseversagen) oder elektiv nach einem mittels Thrombolyse zunächst erfolgreich behandelten Myokardinfarkt (siehe entsprechende Leitlinien [12, 53, 54]).

4.1.6 Stumme Myokardischämie

Ausmaß und Schweregrad einer stummen Myokardischämie sind mit der kardiovaskulären Prognose assoziiert [27]. Die gilt besonders für Patienten mit Diabetes mellitus. Bei einer stummen Myokardischämie auf niedrigem Belastungsniveau besteht eine schlechte Prognose. Es wird deshalb eine invasive Abklärung mittels Koronarangiographie empfohlen (I-C).

4.1.7 Atypische Symptomatik/ Unklarer Thoraxschmerz

Bei Patienten mit atypischen Thoraxschmerzen gelten die oben aufgeführten Empfehlungen zur Durchführung einer Koronarangiographie (Abschnitt 4.1.4).

Bei Patienten, die sich wiederholt wegen unklarer/unspezifischer Thoraxschmerzen ambulant vorstellen oder stationär aufgenommen werden, kann eine Koronarangiographie zum Ausschluss einer stenosierenden koronaren Herzkrankheit sinnvoll sein, auch wenn in der Vordiagnostik kein eindeutiger Ischämienachweis zu erhalten ist (I-C).

Dies gilt insbesondere wenn

- kein sicherer nicht-kardialer Grund der Beschwerden festgestellt werden kann
- der Patient Angst vor einer kardialen Ursache hat oder
- abnormale (aber nicht Hochrisiko-Befunde) in der Vordiagnostik bestehen.

4.1.8 Invasive Kontrolle nach Koronarintervention und Bypass-Operation

Grundsätzlich bestehen nach einer koronaren Intervention (PCI oder Bypass-Operation) die gleichen

Kriterien zur Indikationsstellung wie bei anderen Patienten mit bekannter KHK. Eine routinemäßige Angiographie ohne spezifischen Grund ist nicht indiziert, obwohl aus unkontrollierten Analysen ein Überlebensvorteil für Patienten mit Kontrollangiographie bei Patienten nach Ballondilatation [37] oder Stentimplantation [83] abzuleiten ist. In ausgewählten Fällen mit einem besonders erhöhten Risiko für eine Restenose oder für ein kardiovaskuläres Ereignis kann jedoch eine elektive Kontrollangiographie unabhängig vom nicht-invasiven Ischämienachweis angezeigt sein (I-C).

Nach koronarer Bypass-Operation kommt es bei 10% der Patienten innerhalb von zwei Monaten, bei weiteren 10% innerhalb des ersten Jahres zum Verschluss eines Bypassgefäßes [80]. Zwischen drei und fünf Jahren nach Bypass-Operation besteht eine sehr gute Offenheitsrate von Venenbypassgefäßen; nach zehn Jahren sind allerdings 40% verschlossen. Deshalb besteht bei Patienten innerhalb von zwölf Monaten nach der Bypass-Operation (Anastomosen-Stenose) oder circa zehn Jahre nach einer koronaren Bypass-Operation mit Venengrafts (Degeneration der Venengrafts) eine sehr hohe Vortestwahrscheinlichkeit für eine Bypass-Dysfunktion, so dass hier bei einer verdächtigen klinischen Symptomatik und/oder Ischämienachweis die Indikation zur Koronarangiographie großzügig gestellt werden sollte (I-C).

4.1.9 Invasive Diagnostik vor nicht-kardialen Operationen

Eine koronare Herzkrankheit stellt einen wesentlichen perioperativen Risikofaktor bei geplanten nicht-kardialen operativen Eingriffen dar. Bis zur Hälfte aller perioperativen Todesfälle bei den >65-jährigen Patienten sind auf koronare Ereignisse zurückzuführen. Das zeitgleiche Vorliegen weiterer myokardialer oder valvulärer Funktionsstörungen erhöht das perioperative Risiko für kardiovaskuläre Ereignisse. Eine besondere Risikogruppe stellen Patienten mit zerebraler Atherosklerose oder pAVK und geplanten gefäßchirurgischen Eingriffen dar, da bis zu 60% dieser Patienten eine koronare Herzkrankheit aufweisen und so einer sorgfältigen Risikostratifizierung in der operativen Vorfelddiagnostik bedürfen.

Invasive Diagnostik vor nicht-kardialen Operationen: Ausführliche Richtlinien hierzu sind von der ACC/AHA [33] veröffentlicht worden.

Die Indikation zur präoperativen diagnostischen Herzkatheteruntersuchung wird durch drei wesentliche Faktoren bestimmt: 1. dem kardiovaskulären *Risikoprofil* des Patienten, 2. den Ergebnissen der nicht-invasiven kardiologischen *Vordiagnostik*, und 3. der anstehenden *Kreislaufbelastung* in Abhängigkeit von Ausmaß und Art des geplanten operativen

Eingriffs. Dies ist individuell für jeden Patienten zu ermitteln. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass auch bei Nachweis einer myokardialen Ischämie durch die perioperative Gabe eines Betablockers die Mortalität bei vaskulären Operationen reduziert werden kann [39].

Wenn drei oder mehr der folgenden Faktoren vorliegen, sollte eine nicht-invasive Belastungsuntersuchung erfolgen, um bei einem positiven Befund eine Koronarangiographie durchzuführen [39] (I-C):

- Bekannte KHK
- Herzinsuffizienz
- Hochrisiko-Operation
- Diabetes mellitus
- Niereninsuffizienz
- Schlechte Leistungsfähigkeit

Grundsätzlich sollte präoperativ bei allen Patienten, welche eine Indikation zur Koronarangiographie haben, diese vor einem elektiven Eingriff durchgeführt werden. Darüber hinaus werden folgende Indikationen zur Koronarangiographie vor (oder nach) nicht-kardialer Operation empfohlen (zusammengefasst nach [80]).

4.1.10 Beurteilung von Koronarbefunden

Für die Beurteilung von Koronarbefunden sind folgende Fragestellungen prinzipiell von Interesse (Abb. 3):

- Stenosegrad von atherosklerotischen Koronarveränderungen
- Hämodynamische Relevanz von Koronarstenosen
- Plaquelast/Gefäßwand
- Prognose/Infarktrisiko.

■ Angiographische Beurteilung des Stenosegrades

Die koronare Herzkrankheit ist eine das gesamte Koronarsystem umfassende Erkrankung der Gefäßwand mit häufig fokal betonter Manifestation. Zu Beginn der atherosklerotischen Gefäßwandverdickung findet häufig ein „Remodeling“ der Gefäßwand statt, d. h. der Gefäßaußenumfang wird kompensatorisch größer (Plaque wächst nach außen), so dass das Gefäßlumen zunächst konstant bleibt [47]. Für die Koronarangiographie, welche lediglich das Gefäßlumen darstellt (ohne direkte Einsicht in die Gefäßwand), bedeutet dies, dass frühe Stadien der Atherosklerose im Angiogramm nicht erfasst werden können bzw. bei angiographischem Nachweis einer Lumen-Einengung das Ausmaß der tatsächlichen Plaquelast unterschätzt werden kann.

Für die klinische Beurteilung reicht jedoch die visuelle Einschätzung des Stenosegrads in der Regel aus, um eine therapeutische Entscheidung zu treffen. Im Verhältnis zu einem (möglichst angiographisch

Tab. 8 Indikation zur Koronarangiographie präoperativ

Zusätzliche Empfehlung: Indikation Koronarangiographie präoperativ	Evidenzgrad
<i>Empfehlungsgrad IIa</i>	
■ Patienten, die sich einer Hochrisiko-Operation (z. B. vaskuläre Operation [80]) unterziehen, bei unsicherem oder nicht erheblichem Befund in der Vordiagnostik	C
■ Vor elektiver Operation eines Aorten-Aneurysmas/-Dissektion bei Patienten ohne bekannte KHK	C
■ Größere nicht-kardiale Operation früh (< 6 Monate) nach akutem Myokardinfarkt	C
■ Vor Nierentransplantation (im Rahmen der Transplantatvorbereitung) [96]	C
■ Patient > 50 Jahre oder Diabetes mellitus bei unklarer oder positiver nicht-invasiver Ischämiediagnostik	
■ Patient > 50 Jahre und Diabetes mellitus	
■ Symptomatische KHK oder Herzinsuffizienz oder Z. n. Myokardinfarkt	
■ > 60 Jahre	
<i>Keine Indikation</i>	
■ Operation mit niedrigem kardialen Risiko (Endoskopie, oberflächliche Operation) bei bekannter KHK – ohne Hochrisiko-Kriterien	C
■ Asymptomatische Patienten nach koronarer Revaskularisation mit guter Leistungsfähigkeit im Belastungs-EKG	C
■ Patient < 40 Jahre vor Leber- oder Lungen-Transplantation (im Rahmen der Transplantatvorbereitung) bei unauffälliger nicht-invasiver Diagnostik	C

nicht erkrankten) Referenzsegment wird die Stenosierung (= Diameterstenose) visuell in folgende (semiquantitative) Schweregrade eingeteilt:

- < 25% Wandunregelmäßigkeiten
- 25–49% geringgradige Stenose
- 50–74% mittelgradige Stenose
- 75–89% hochgradige Stenose
- > 90% höchstgradige Stenose
- 99% subtotaler (funktioneller) Verschluss
- 100% kompletter Verschluss

Einzelheiten zur quantitativen und auch qualitativen Stenosebeurteilung finden sich in den Leitlinien zur „Interventionellen Koronartherapie“ [12].

■ **Beurteilung des Blutflusses:** Darüber hinaus kann auch eine grobe angiographische Beurteilung des Blutflusses vorgenommen werden. Zur Charakterisierung des Blutflusses beim akuten Myokardinfarkt hat sich die TIMI-Klassifikation etabliert [91] (siehe 8.4). Weitergehende Analysen der myokardialen Perfusion mithilfe der Koronarangiographie (z. B. TIMI-Perfusion-Grade [45], „myocardial blush“ oder „Frame count“ [44]) werden vorwiegend für wissenschaftliche Analysen genutzt.

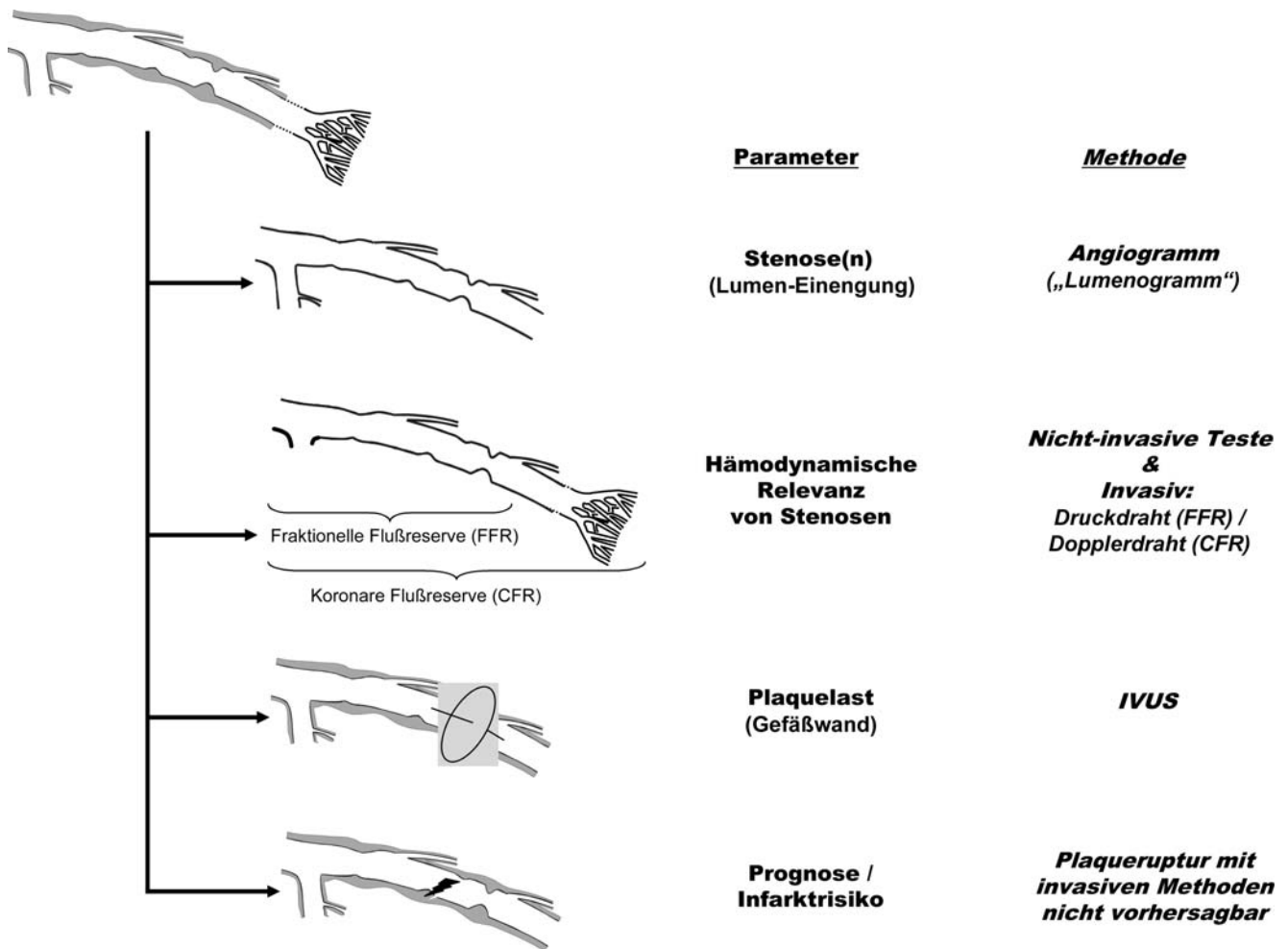


Abb. 3 Invasive Beurteilung der koronaren Atherosklerose: Zielsetzungen und Methoden

■ **Quantitative Koronaranalyse (QCA):** Mit der QCA mit automatischer Konturfundung kann der Grad der Stenose morphologisch objektiv vermessen werden. Die Methode findet im klinischen Alltag selten Anwendung und wird hauptsächlich zur Beurteilung bei klinischen Studien genutzt (I-C). Gelegentlich werden densitometrische Messungen eines vom Untersucher zu definierenden Gefäß- oder Stenosequerschnitts, ggf. in Kombination mit frei definierbaren Längenmessungen angewandt.

■ Hämodynamische Relevanz von Koronarstenosen

Ziel der Beurteilung des Koronarangiogramms ist es, die Stenosen zu identifizieren, welche zu einer hämodynamisch relevanten Einschränkung des Blutflusses in Ruhe oder unter Belastung führen, d.h. für eine Myokardischämie verantwortlich sind. Allerdings kann insbesondere bei intermediären (30–70%) Stenosen die hämodynamische Relevanz aus der ohnehin nur semiquantitativen angiographischen Be-

urteilung nicht sicher vorhergesagt werden. Selbst bei exakter Kenntnis des Stenosegrads modifizieren unter anderem die Hämodynamik (Blutdruck, LVEDP), die Vasomotorik von koronaren Leitungs- und Widerstandsgefäßen und die (angiographisch nicht sichtbare) unter Umständen diffuse Plaquelast und andere Faktoren die physiologische Relevanz der angiographisch sichtbaren Koronarstenosen [49, 61].

Aus diesem Grund ist es wichtig, die angiographischen Befunde in Relation zu anderen Befunden zu beurteilen, welche Hinweise auf eine Myokardischämie geben (z.B. Symptomatik, Belastungs-EKG oder bildgebender Ischämienachweis).

Alternativ kann es im Einzelfall sinnvoll sein die hämodynamische Relevanz von Stenosen mit weiteren intrakoronaren Kathetermessungen (z.B. intrakoronare Druckmessung oder Messung des Blutflusses; siehe unten) zu evaluieren. Intrakoronare Katheter-techniken sollten ausschließlich dann zum Einsatz kommen, wenn sich bei entsprechend positivem Re-

sultat eine invasive therapeutische Konsequenz ergibt. Die Untersuchungen sollten nur von Untersuchern mit ausreichender PCI-Erfahrung durchgeführt werden (I-C).

■ **Intrakoronare Druckmessung:** Sollte kein eindeutiger nicht-invasiver Ischämienachweis vorliegen kann ggf. invasiv mittels intrakoronarer Druckmessung unter maximaler Hyperämie (z. B. mittels Adenosin, i.v. oder intrakoronar) bestimmt werden, ob ein Druckgradient über der Stenose und damit eine hämodynamische Relevanz vorliegt [61]. Diese Methode (Bestimmung der fraktionellen Flussreserve (FFR) mittels Druckdraht) wird in den Leitlinien zur PCI ausführlicher beschrieben [12].

■ **Messung der Blutflussgeschwindigkeit/des Blutflusses:** Auch die Bestimmung der Adenosin-induzierten Blutflussgeschwindigkeit (Koronare Flussreserve, CFR) [61] mittels Dopplerdraht (bzw. des volumetrischen Blutflusses mittels Thermodilutionsdraht) kann zur Abschätzung der hämodynamischen Relevanz einer Stenose herangezogen werden, obgleich die Befunde durch die Mikrozirkulation beeinflusst werden.

■ **Beurteilung der Gefäßwand/Plaquelast**

Bei angiographisch unklarer Koronarstenosierung oder zur Kontrolle eines PCI/Stentimplantations-Ergebnisses kann eine intravaskuläre Ultraschalluntersuchung (IVUS) durchgeführt werden, wenngleich dieses keinen direkten Hinweis auf die hämodynamische Relevanz der Befunde gibt. Der IVUS wird auch im Rahmen von Studien zur Beurteilung der Gefäßwand/Plaquelast angewendet. Eine 50%ige Diameterstenose in der Koronarangiographie entspricht dabei rechnerisch einer 75%igen Flächenstenose im IVUS. Eine detaillierte Beschreibung der Methode findet sich in den Leitlinien zur Interventionellen Koronartherapie [12].

■ **Prognostische Information**

In Studien, die allerdings teilweise bereits vor Jahrzehnten durchgeführt worden sind, waren im Vergleich von medikamentöser Therapie versus Bypass-Operation folgende Koronarbefunde bei alleiniger medikamentöser Therapie mit einer reduzierten Prognose assoziiert (Übersicht bei [34]):

- signifikante Hauptstammstenose (>50%) oder ein Hauptstammäquivalent (>70%ige proximale RIVA und RCX Stenosen)
- koronare Dreifäßlerkrankung (Stenosen >50% in allen drei großen Koronargefäßen)
- Proximale RIVA-Stenose

Pathogenetisches Substrat für ein akutes Koronarsyndrom bzw. einen akuten Myokardinfarkt ist eine *vulnerable Plaque*, welche nach Ruptur oder Erosion zur Thrombenbildung und vollständigem oder partiellem Verschluss des Koronargefäßes führt [72, 73]. Allerdings kann weder die Koronarangiographie noch eine der neueren Techniken bisher zuverlässig die Vulnerabilität einer Plaque und damit das Infarktrisiko bestimmen.

4.1.11 Funktionsstörung der koronaren Tonusregulation

Weitere koronare Funktionsteste können in folgenden Ausnahmefällen ergänzend durchgeführt werden.

■ **Vasospastische Angina pectoris:** Bei Patienten mit typischer rezidivierender nitropositiver Angina oder mit transienten ST-Hebungen und normalen Koronararterien besteht klinisch der Hinweis auf eine vasospastische Angina pectoris (Prinzmetal-Angina). Bei Verdacht auf spontane oder z. B. Katheter-induzierte Koronarspasmen ist mit intrakoronarer Nitratinjektion der Ausschluss oder Nachweis fixierter Stenosen zu führen (I-C).

Der Nachweis einer vasospastischen Angina pectoris kann mittels Hyperventilation (30 Atemzüge pro min über 5 min) oder in besonders ausgesuchten Fällen durch i.c. oder i.v. Ergonovin-Injektion getestet werden (cave: schwere Vasokonstriktion bzw. Koronarokklusion) [3].

■ **Endotheliale/mikrovaskuläre Dysfunktion:** Einige Patienten mit Angina pectoris und angiographisch normalen Koronararterien zeigen Hinweise auf eine Myokardischämie in invasiven oder nicht-invasiven Untersuchungsmethoden. Als Ursache kann eine Funktionsstörung der koronaren Widerstandsgefäße vorliegen [66].

Ursache für eine Mikrozirkulationsstörung kann eine endotheliale Dysfunktion der präkapillären Widerstandsgefäße sein, welche mittels intrakoronarem Dopplerdraht (Blutflussgeschwindigkeit) oder Thermodilutionsdraht (Blutfluss) beurteilt werden kann. Mittels Eiswassertest (Cold Pressor Test) oder i.c. Infusion von Acetylcholin kann die Endothel-abhängige Blutflussregulation beurteilt werden, wohingegen mittels Gabe von Papaverin oder Adenosin die maximale koronare Flussreserve beurteilt werden kann [60]. Im Rahmen einer Endothel-Funktionsprüfung kann gleichermaßen die Vasoreaktivität der epikardialen Leitungsgefäße beurteilt werden (paradoxe Vasokonstriktion anstelle einer physiologischerweise erwarteten Vasodilatation) [82]. Diese häufig in wissenschaftlichen Protokollen eingesetzte Testung der

koronaren Vasotonus-Regulation ist nur bei einzelnen Patienten mit typischer Angina und Ausschluss hämodynamisch relevanter Koronarstenosen sinnvoll.

■ 4.2 Reduzierte LV-Funktion/Kardiomyopathien

Bei Dokumentation einer links- oder rechtsventrikulären Funktionsstörung in der nicht-invasiven Bildgebung (Echokardiographie, MRT) ist eine Koronarangiographie mit linksventrikulärem Angiogramm zur Abklärung der Genese indiziert (Tab. 9) (I-C). Zusätzlich kann eine Messung der Druckwerte im kleinen Kreislauf zur Evaluierung einer diastolischen oder systolischen Dysfunktion erforderlich sein. Bei V.a. Myokarditis, restriktiven Myokarderkrankungen und Speichererkrankungen ergibt sich zudem die Indikation zur Myokardbiopsie, sofern daraus Konsequenzen erwachsen (I-C). Ferner ist die Indikation zur Myokardbiopsie nach Herztransplantation zur Diagnosesicherung einer Abstoßungsreaktion als auch Therapiekontrolle der Immunsuppression gegeben (I-A). Alternativ ist die Möglichkeit einer echokardiographisch gesteuerten Biopsieentnahme zu prüfen.

■ 4.3 Erkrankungen des Perikards

Die Echokardiographie und das Thorax-CT (Kalknachweis) sind die primären, zu bevorzugenden nicht-invasiven Untersuchungsverfahren zur Differenzialdiagnostik zwischen einer restriktiven Perikarditis und einer restriktiven Kardiomyopathie (I-C). In unklaren Fällen ist eine invasive Untersuchung angezeigt, wobei dann simultan der links- und rechtsventrikuläre Füllungsdruck gemessen wird (I-C). Gegebenenfalls kann eine Volumenbelastung durchgeführt werden.

Leitlinien zum Management von Herzklappen-Vitien sind 2006 von den Amerikanischen Kardiologie-Gesellschaften [11] sowie 2007 von der Europäischen kardiologischen Gesellschaft (ESC) [93] erschienen.

■ 4.4 Herzklappenfehler

Die Methode der ersten Wahl zur Beurteilung von Herzklappenfehlern ist die Echokardiographie (transthorakal, ggf. transösophageal). An Bedeutung gewinnt hier auch die Kernspintomographie (MRT) (I-C).

Mit der Koronarangiographie wird eine begleitende koronare Herzkrankheit oder Koronar-anomalie nachgewiesen oder ausgeschlossen, z. B. vor einer geplanten operativen Therapie eines Klappen-vitiums.

Besteht aufgrund dieser nicht-invasiven Untersuchungen eindeutig eine Indikation zur Operation (gute Beurteilbarkeit der Untersuchungen, Kriterien für OP sicher erfüllt) so ist eine zusätzliche Evaluation der hämodynamischen Relevanz der Klappen-erkrankung mittels Herzkatheter nicht mehr notwendig und die Untersuchung kann auf die Koronarangiographie beschränkt werden (I-C). Eine Koronarangiographie muss bei Patienten mit Risiko für eine KHK vor einer Herzoperation durchgeführt werden [11]. Hierzu gehören Patienten mit Thoraxschmerzen bzw. Angina pectoris, Ischämienachweis, reduzierter LV-Funktion, Vorgeschichte einer koronaren Herzkrankheit, höherem Alter (Männer > 45 Jahre, Frauen > 50 Jahre) oder mit kardiovaskulären Risikofaktoren (I-C).

Bei der Entscheidung über eine Herzoperation wird dabei das Operationsrisiko der hämodynamischen Relevanz des Vitiums und der damit verbundenen Prognose gegenübergestellt. Das Operationsrisiko in Verbindung mit einer KHK lässt sich anhand des EuroScores abschätzen [74] (www.euroscore.org).

4.4.1 Aortenklappenstenose

Das häufigste Vitium ist heute die degenerative Aortenklappenstenose, die in mehr als 35% von einer koronaren Herzkrankheit begleitet ist, so dass vor einer Operation eine Koronarangiographie durchgeführt werden sollte (I-C).

Bezüglich der (invasiven) Evaluation der Aortenklappenstenose wird ein stufenweises Vorgehen vor-

Tab. 9 Indikation zur Koronarangiographie bei reduzierter LV-Funktion/Kardiomyopathie

Indikation Koronarangiographie: gestörte LV-Funktion	Evidenzgrad
<i>Empfehlungsgrad I</i>	
■ Herzinsuffizienz mit reduzierter LV-Funktion mit Angina pectoris oder Ischämienachweis	A
■ Indikation zur Herztransplantation	C
<i>Empfehlungsgrad IIa</i>	
■ Ätiologisch nicht geklärte reduzierte LV-Funktion	B
■ Normale LV-Funktion, aber rezidivierende Herzinsuffizienz (zum Ausschluss/Nachweis einer KHK)	C
■ Abnahme der LV-Funktion oder Zunahme des LV-Diameters (bei gleicher Messmethode) bei bekannter KHK	C
■ Patienten mit hypertropher Kardiomyopathie und Angina pectoris	C
<i>Empfehlungsgrad IIb</i>	
■ Bekannte ischämische Herzkrankheit mit Linksherzdekompensation ohne Nachweis einer Myokardischämie (soweit keine der oben genannten Indikationen vorliegt)	C

Tab. 10 Allgemeine Indikationen zur invasiven Diagnostik bei Klappenvitien (nach [11])

Indikation Koronarangiographie: Klappenvitien	
Indikationen für Koronarangiographie:	
■	Nachweis/Ausschluss der Differentialdiagnose KHK
■	Geplante Klappen-Operation bei Risiko für KHK
Indikationen für invasive Diagnostik der hämodynamischen Relevanz eines Klappenvitiums:	
■	Nicht-konklusive oder diskrepante Befunde bezüglich klinischer Symptomatik und/oder apparativer Befunde (Echokardiographie, MRT)

geschlagen [11, 20, 50, 70, 75, 89]. Wenn aufgrund der nicht-invasiven Vordiagnostik (Anamnese, transthorakales und transösophageales Echokardiogramm) die Indikation zum Aortenklappenersatz eindeutig ist, muss die Aortenklappe während der Herzkatheteruntersuchung nicht hämodynamisch ausgemessen werden, d.h. nicht mit dem Katheter passiert werden, da dies ein Risiko für zerebrale Ischämien birgt (I-C).

Die Graduierung der Aortenklappenstenose ist in Tab. 11 definiert.

Eine Passage der Herzklappe mit dem Katheter sollte dann vorgenommen werden, wenn die Vorbefunde nicht eindeutig konklusiv sind (z.B. Diskrepanz der klinischen/verschiedenen apparativen Befunde, schwierige Ausmessung der Aortenöffnungsfläche (AÖF) oder zusätzliche, assoziierte Klappenvitien) oder wenn bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion und einer Aortenöffnungsfläche $< 1,0 \text{ cm}^2$ der Gradient über der Aortenklappe im Echokardiogramm unterhalb oder im Grenzbereich der Schwelle zur Indikation für eine Klappenersatz-Operation (40 mmHg) liegt [11, 93] (Abb. 4) (Dpmean = mittlerer Druckgradient, *nicht* maximaler instantaner Gradient, *nicht* der „Peak to peak“-Gradient).

Wenn bei Verdacht auf eine hochgradige Aortenstenose die Entscheidung zu einer invasiven Ausmes-

sung fällt, sollte zusätzlich eine Rechtsherzkatheteruntersuchung zur Bestimmung des Herzzeitvolumens durchgeführt werden, damit die Aortenöffnungsfläche berechnet werden kann. Bei niedrigem Herzzeitvolumen (eingeschränkte LV-Funktion) ist die oxymetrische HZV-Bestimmung nach der Fick-Methode zuverlässiger als die Thermodilution.

Eine simultane Messung des mittleren Druckgradienten über die Aortenklappe mit zwei „Pigtail-Kathetern“ im linken Ventrikel und in der Aortenwurzel (oder einem Doppellumen-Pigtail) ist die zuverlässigste Methode. Bei guter Aufzeichnungsqualität ist aber der Rückzugsgradient meist ausreichend verwertbar (I-C). Eine simultane Messung des Aortendruckes in der A. femoralis ist nicht geeignet, da neben der zeitlichen Verzögerung auch die Druckamplitude in der A. femoralis unterschiedlich zur Aorta ascendens ist und bei grenzwertigen Befunden zu falschen Schlussfolgerungen führt.

Bei Patienten mit *stark reduzierter Pumpfunktion* und einem *niedrigen mittleren Druckgradienten* kann dieser aufgrund eines erniedrigten Herzzeitvolumens eventuell das Ausmaß der Stenosierung unterschätzen („Low flow/low gradient stenosis“, Gradient $< 30 \text{ mmHg}$) [11, 24]. Die Gorlin-Formel zur Kalkulation der AÖF gilt nur bei normalem Herzzeitvolumen, bzw. normalem Fluss während der Ejektionszeit (= Herzzeitvolumen/Herzfrequenz * Ejektionszeit, normal $> 200 \text{ ml/s}$).

In diesem Falle oder bei diskrepanter Klinik kann mittels i.v. Dobutamin (low-dose)-Stimulation (z.B. während der Herzkatheteruntersuchung oder im Echokardiogramm) die tatsächliche Relevanz der Aortenklappenstenose und die Aussichten einer Klappenersatz-Operation geklärt werden [70, 75] (Abb. 4).

Dabei wird unterschieden in:

- eine nur *geringe (relative) Stenose* (keine OP-Indikation),
- eine Aortenstenose *ohne kontraktile Reserve* (Anstieg des Schlagvolumens um weniger als 20%, mittlerer Gradient bleibt $< 50 \text{ mmHg}$) (= schlechte Prognose bei OP) oder
- eine *hochgradige Aortenstenose mit kontraktile Reserve* (AÖF unter Belastung $\leq 1 \text{ cm}^2$, Anstieg des Schlagvolumens um $> 20\%$, Anstieg des mittleren Gradienten über der Aortenklappe auf $> 50 \text{ mmHg}$) (= Indikation zur OP [93]).

Abzuwägen bei der Dobutamin-Untersuchung ist der mögliche Nutzen gegenüber den Risiken, d.h. Kontraindikationen und Komorbiditäten (z.B. Linksherzdekompensation, erhöhter LVEDP ($> 20 \text{ mmHg}$), kritische Koronarstenosen, ventrikuläre Tachykardie).

Bei einer „Low-Gradient“-Aortenstenose mit einem Druckgradienten $< 20 \text{ mmHg}$ wird aufgrund einer oh-

Tab. 11 Klassifikation der Aortenstenose (nach [11])

Stenosegrad	Geringgradig (leicht)	Mittelgradig (moderat)	Hochgradig (schwer)
Mittlerer Gradient (mmHg)*	< 25	25–40	> 40 *
Klappenöffnungsfläche (cm^2)	$> 1,5$	1,0–1,5	$< 1,0$
Klappenöffnungsfläche pro Körperoberfläche (cm^2/m^2)			$< 0,6$

* abhängig vom Herzzeitvolumen: Bei stark reduzierter Pumpfunktion kann eine hochgradige Stenose auch bei einem Gradient $< 30 \text{ mmHg}$ bestehen (siehe Text)

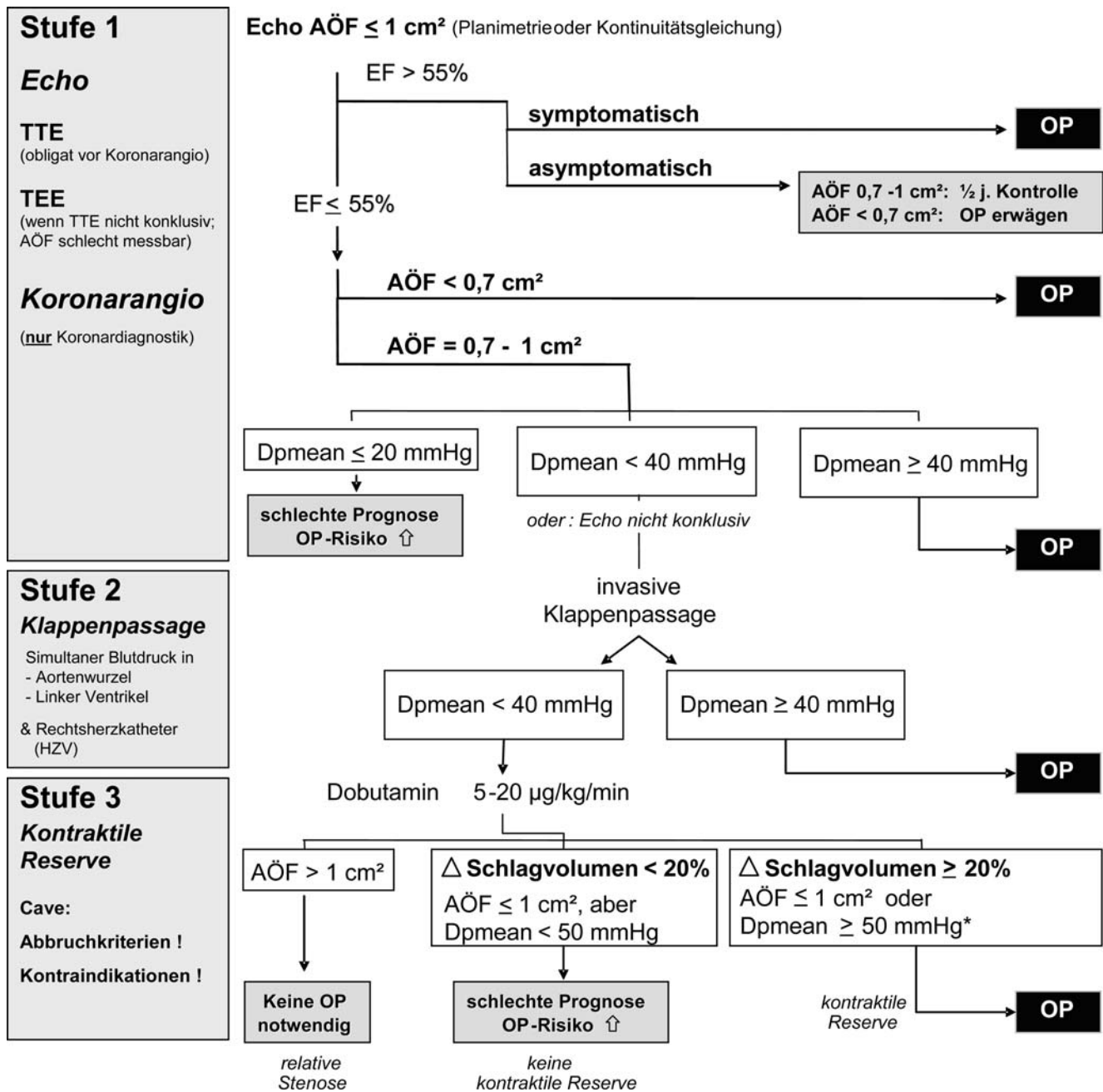


Abb. 4 Stufenweises Vorgehen zur invasiven Abklärung bei Verdacht auf eine hochgradige Aortenstenose. AÖF = Aortenklappenöffnungsfläche. OP = Aortenklappenersatz-Operation. Dpmean = Mittlerer Gradient über der

Aortenklappe. Koronarangio = Koronarangiogramm. * $\geq 50 \text{ mmHg}$ nach ESC-Leitlinien [93]/ $\geq 30 \text{ mmHg}$ nach [24, 70, 75]

nehin schlechten Prognose in der Regel keine Aortenklappenersatz-Operation durchgeführt, so dass hier keine Dobutamin-Untersuchung sinnvoll ist.

Kriterien für die Operationsindikation einer Aortenklappenstenose sind [11, 93]:

Symptomatische Aortenstenose

- Hochgradige Aortenstenose (mittlerer Gradient $> 40 \text{ mmHg}$) – mit guter oder reduzierter LV-Funktion.
- Bei reduzierter LV-Funktion Aortenstenose mit niedrigem Gradienten ($< 40 \text{ mmHg}$), wenn eine kontraktile Reserve besteht (mittlerer Gradient

unter Belastung [z.B. Dobutamin] > 50 mmHg [93]. Bei Patienten mit einem Gradienten unter Belastung von < 30 mmHg ist keine Aortenklappenersatz-Operation sinnvoll [70, 75].

Asymptomatische Aortenstenose

- Bei sehr hochgradiger Aortenstenose (AÖF < 0,7 cm²) sollte eine OP in Erwägung gezogen werden (in Abwägung mit OP-Risiko) (bei AÖF 0,7–1,0 cm² zumindest halbjährliche echokardiographische Kontrollen durchführen).
- Bei im Alltag asymptomatischen Patienten mit normaler LV-Funktion und hochgradiger Aortenstenose kann eine Operation erwogen werden, bei niedriger OP-Mortalität, zu erwartender rascher Progression (schwere Verkalkung) oder Beschwerdeprovokation unter Belastung.
- Hochgradige (I-C), oder moderate (IIa-B) Aortenstenose und Operation an Koronararterien (Bypass-OP), Aorta oder anderen Herzklappen.
- Hochgradige Aortenstenose mit abnormaler Reaktion unter Belastung (Symptome oder asymptotische Hypotension).

Zur Festlegung des richtigen Zeitpunkts zum Klappenersatz kann bei Patienten mit asymptomatischer oder grenzwertiger Aortenstenose bzw. Patienten mit Dyspnoe aber messtechnisch geringgradiger Aortenstenose die Bestimmung natriuretischer Peptide (BNP, NT-proBNP) (Hinweis für Herzinsuffizienz, Anstieg der Werte im Verlauf) hinzugezogen werden (I-C).

4.4.2 Aorteninsuffizienz

Methoden der ersten Wahl zur Beurteilung der Aorteninsuffizienz sind die nicht-invasiven Untersuchungstechniken wie das transthorakale und das transösophageale Echokardiogramm bzw. soweit verfügbar die MRT (I-C). Eine Herzkatheteruntersuchung mit Aortenwurzel-Angiographie ist indiziert, wenn die klinischen und nicht-invasiven Befunde diskrepant bzw. nicht konklusiv sind (I-C).

Der angiographische Schweregrad der Aorteninsuffizienz wird nach dem Rückstrom in den linken Ventrikel beurteilt:

- Grad I: minimaler Kontrastmittelreflux in den LV, nur Klappenebene (keine komplette Kontrastierung des LV).
- Grad II: Kontrastmittelreflux bis zur Mitte des LV. Kontrastierung des gesamten LV allenfalls nach mehreren Herzzyklen, mit geringerer Dichte als in Aorta.
- Grad III: Kontrastmittelreflux bis zur Herzspitze. Komplette Kontrastierung des LV mit Dichte identisch wie in Aorta.

Tab. 12 Klassifikation der Aortenklappeninsuffizienz (nach [11])

Insuffizienzgrad	Geringgradig (leicht)	Mittelgradig (moderat)	Hochgradig (schwer)
Angiographie (Grad)	I	II	III–IV
Echokardiographie			
■ Farbdoppler	Zentraler Jet, Breite < 25% LVOT	dazwischen	Zentraler Jet, Breite > 65% LVOT
■ Doppler Vena contracta (cm)	< 0,3	0,3–0,6	> 0,6
Regurgitationsfraktion (%)	< 30	30–49	> 50
Zusätzliches Zeichen			
■ Linker Ventrikel			vergrößert

Grad IV: Kontrastmittelreflux bis Herzspitze während der ersten Diastole. LV stärker kontrastiert als Aorta.

Die Klassifikation der Aortenklappeninsuffizienz ist in Tab. 12 zusammengefasst.

Kriterien für die Operationsindikation einer Aorteninsuffizienz sind [11]:

Symptomatische Aorteninsuffizienz

- hochgradige Aorteninsuffizienz (unabhängig von der LV-Funktion)

Asymptomatische Aorteninsuffizienz

- hochgradige Aorteninsuffizienz mit reduzierter LV-Funktion (EF < 50%)
- hochgradige Aorteninsuffizienz mit normaler LV-Funktion (EF > 50%), aber dilatiertem linken Ventrikel* (LVEDD > 75 mm oder LVESD > 55 mm)
- hochgradige Aorteninsuffizienz mit normaler LV-Funktion (EF > 50%), dilatiertem linken Ventrikel* (LVEDD > 70 mm oder LVESD > 50 mm) [93], insbesondere wenn die Ventrikelgröße zunimmt oder die Belastbarkeit abnimmt oder das Belastungs-EKG (Hämodynamik) pathologisch ist [11]
- Angina pectoris CCS II – ohne KHK
- geplante Bypass-OP oder Aorta ascendens-Operation (mittel- oder hochgradige Aorteninsuffizienz).

Die Indikation für die diagnostische Koronarangiographie besteht bei Patienten, bei denen die Operation einer chronischen Aorteninsuffizienz beabsichtigt

* ggf. niedrigere Werte bei kleiner Körpergröße

ist und zugleich ein Risiko für eine KHK besteht (I-C) (siehe 4.4).

4.4.3 Mitralstenose

Die Echokardiographie ist die Methode der ersten Wahl zur Beurteilung der Relevanz einer Mitralstenose (I-C). Eine zusätzliche Evaluation mit der Herzkatheteruntersuchung ist indiziert, wenn eine Diskrepanz zwischen den echokardiographischen Doppler-Befunden (transmitraler Gradient, Mitralöffnungsfläche (MÖF) und mittlerer pulmonalarterieller Druck) und dem klinischen Status besteht. Bei sicherer Indikation zu einer chirurgischen Therapie der Mitralklappenstenose (Mitralklappenersatz oder Rekonstruktion) ist eine zusätzliche invasive Ausmessung nicht mehr notwendig (I-C). Zur Indikation einer präoperativen Koronarangiographie siehe Abschnitt 4.4.

Die Klassifikation der Mitralklappenstenose ist in Tab. 13 zusammengefasst.

An invasiven Untersuchungen zur Abklärung der hämodynamischen Wertigkeit einer Mitralstenose stehen zwei Techniken zur Verfügung:

- Messung des Gradienten über die Mitralklappe mittels simultaner Aufzeichnung des Drucks im linken Ventrikel und in PC-Position mit einem Einschwemmkatheter. Eine transseptale Punktion mit direkter Messung des linksatrialen Druckes ist heute nicht mehr indiziert und sollte nur dann durchgeführt werden, wenn in gleicher Sitzung eine Mitralklappenvalvuloplastie geplant ist.
- Rechtsherzkatheter unter Belastung. Diese sollte dann durchgeführt werden, wenn die klinische Symptomatik und die Ruhe-Hämodynamik diskrepant sind (IIa-C).

Zur invasiven Behandlung der Mitralstenose stehen die perkutane Valvuloplastie (PTMC) und die operative Rekonstruktion bzw. Klappenersatz-OP zur Verfügung. Die Eignung der Mitralklappenstenose für eine PTMC wird im echokardiographischen Wilkins-Score beschrieben [93, 97] (immobile Klappe, stark verdickte Segel, Beteiligung des Halteapparates und schwere Verkalkung, Score <9 eher ungeeignet für eine PTMC).

Tab. 13 Klassifikation der Mitralklappenstenose (nach [11])

Stenosegrad	Geringgradig (leicht)	Mittelgradig (moderat)	Hochgradig (schwer)
Mittlerer Gradient (mmHg)	< 5	5–10	> 10
Pa-Druck (mmHg)	< 30	30–50	> 50
Mitralöffnungsfläche (cm ²)	> 1,5	1,0–1,5	< 1,0

Die Indikationen zur Operation oder PTMC einer Mitralklappenstenose sind [11]:

Mitralklappenvalvuloplastie (PTMC)

- Klappe morphologisch geeignet zur Sprengung ohne linksatrialen Thrombus und ohne schwere Mitralinsuffizienz und
 - Moderate bis schwere Mitralstenose (MÖF ≤ 1,5 cm²) und NYHA II–IV (I-C)
 - Moderate bis schwere Mitralstenose (MÖF ≤ 1,5 cm²) und pulmonale Hypertonie in Ruhe (Pa_{syst} > 50 mmHg) oder unter Belastung (Pa_{syst} > 60 mmHg) (I-C)
- Aufgrund der Unbeweglichkeit der Mitralsegel und Verkalkung weniger für die PTMC geeignet (ohne schwere Mitralinsuffizienz und ohne linksatrialen Thrombus), aber hohes Operationsrisiko:
 - Moderate bis schwere Mitralstenose (MÖF ≤ 1,5 cm²) und NYHA III–IV (IIa-C).

Mitralklappenersatz oder Mitralrekonstruktion:

- Patient ist kein Kandidat zur Mitralklappenvalvuloplastie (PTMC) und
 - Moderate bis schwere Mitralstenose (MÖF ≤ 1,5 cm²) und NYHA III–IV (I-C) oder
 - Moderate bis schwere Mitralstenose (MÖF ≤ 1,5 cm²) und schwere pulmonale Hypertonie (PA-Mitteldruck > 60 mmHg) mit NYHA II (IIa-C).

4.4.4 Mitralinsuffizienz

Der Schweregrad einer Mitralinsuffizienz lässt sich nicht-invasiv mittels Echokardiographie feststellen. Ein linksventrikuläres Angiogramm im Rahmen einer Koronarangiographie dient zur Sicherung der Diagnose. Angiographisch wird die Mitralinsuffizienz entsprechend dem Kontrastmittelreflux in vier Grade eingeteilt:

- Grad I: Diskreter Reflux im Bereich der Klappen-ebene
- Grad II: Deutliche Kontrastierung des linken Vorhofs, aber geringer als im Ventrikel. Komplette Füllung von LA erst nach mehreren Herzzyklen
- Grad III: Vollständige, frühe Kontrastierung des gesamten linken Vorhofs. Gleiche Kontrastmitteldichte in LA wie in LV
- Grad IV: Vollständige Kontrastierung des gesamten linken Vorhofs bis in die Pulmonalvenen während der ersten Systole. Zunahme der Kontrastierung mit jeder Herzaktion; Dichte in LA höher als in LV.

Tab. 14 Klassifikation der Mitralklappeninsuffizienz (nach [11])

Insuffizienzgrad	Geringgradig (leicht)	Mittelgradig (moderat)	Hochgradig (schwer)
Angiographie (Grad)	I	II	III–IV
Echokardiographie			
■ Farbdoppler	Kleiner zentraler Jet, < 20% LA (< 4 cm ²)	dazwischen	Großer zentraler Jet, > 40% LA
■ Doppler Vena contracta (cm)	< 0,3	0,3–0,69	> 0,7
Regurgitationsfraktion (%)	< 30	30–49	> 50
Zusätzliche Zeichen			
■ Linker Vorhof			vergrößert
■ Linker Ventrikel			vergrößert

Die Klassifikation der Mitralklappeninsuffizienz ist in Tab. 14 zusammengefasst.

Bei großem linken Vorhof kann der Schweregrad der Mitralklappeninsuffizienz unterschätzt werden.

Eine Koronarangiographie ist indiziert bei Patienten mit Risiko für eine KHK (s.o.) oder wenn eine Myokardischämie als mögliche Ursache der Mitralklappeninsuffizienz vermutet wird (I-C) (siehe 4.4).

Hämodynamische Messungen mittels Rechtsherzkatheter sind indiziert, wenn

- die nicht-invasiven Untersuchungen nicht konklusiv oder diskrepant sind bezüglich Schweregrad der Mitralklappeninsuffizienz oder Notwendigkeit für eine Operation;
- eine Diskrepanz zwischen klinischer Symptomatik und den nicht-invasiven Befunden besteht.

Bei Diskrepanz zwischen klinischer Symptomatik und Ruhe-Hämodynamik kann auch ein Rechtsherzkatheter unter Belastung durchgeführt werden. Beurteilt wird im Rechtsherzkatheter der pulmonalarterielle Druck (PA-Druck), die v-Welle und der pulmonalarterielle Widerstand (PVR).

Kriterien für die Operationsindikation einer schweren (hochgradigen) Mitralklappeninsuffizienz (angiographischer Grad III und IV) (Klappenersatz oder –bevorzugt –rekonstruktion) sind [11]:

Symptomatische Patienten (NYHA II–IV):

- Akute schwere Mitralklappeninsuffizienz (I-C)
- Schwere Mitralklappeninsuffizienz ohne schwere LV-Dysfunktion (EF > 30% und LVESD ≤ 55 mm) (I-C)
- Schwere Mitralklappeninsuffizienz mit schwerer LV-Dysfunktion (EF < 30% und/oder LVESD > 55 mm), wenn Halteapparat/Sehnenfäden durch Operation wahrscheinlich erhalten werden können (IIa-C).

Asymptomatische Patienten:

- Schwere Mitralklappeninsuffizienz mit normaler LV-Funktion (EF ≥ 60% und LVESD < 40 mm), wenn
 - Vorhofflimmern besteht (IIa-C) oder
 - eine pulmonale Hypertonie besteht (Pa_{syst} in Ruhe > 50 mmHg oder unter Belastung > 60 mmHg) (IIa-C) oder
 - eine Mitralklappenrekonstruktion mit hoher Wahrscheinlichkeit möglich ist
- Schwere Mitralklappeninsuffizienz mit reduzierter LV-Funktion (EF ≤ 60% und/oder vergrößertem LV-endsystolischem Volumen, LVESD (AHA > 40 mm [11]), ESC > 45 mm [93]) (I-C).

4.4.5 Mehrklappen-Erkrankung

Die Evaluation von multiplen Herzklappenerkrankungen verlangt eine exakte Strategie bei der invasiven Untersuchung [11]. Stenosierende Vitien mit Befall mehrerer Klappen bedürfen der simultanen intrakardialen Druckmessung vor und hinter der betroffenen Klappe zur Abschätzung des Schweregrades, insbesondere bei niedrigem Herzzeitvolumen oder wenn nicht-invasive Techniken (Echokardiographie) keine ausreichenden Informationen liefern. Bei der angiographischen Darstellung von mehreren Klappeninsuffizienzen ist die Kontrastmittelmenge zu beachten. Insuffizienzen der Trikuspidal- und der Pulmonalklappe erfordern nur in begründeten Ausnahmefällen eine angiographische Darstellung.

4.4.6 Endokarditis

Der klinische Verdacht auf eine frische Endokarditis stellt eine Kontraindikation für die Passage der betroffenen Klappen dar. Eine präoperative Koronarangiographie bei Endokarditis ist zurückhaltend zu stellen und hängt ab vom kardiovaskulären Risiko des Patienten (Alter, Risikofaktoren, nicht-invasive Diagnostik) (I-C). Bei V.a. eine Embolisation in die Koronararterien ist jedoch umgehend eine Koronarangiographie indiziert [80] (I-C).

■ 4.5 Kongenitale Vitien

Kongenitale Herzvitien im Erwachsenenalter sind selten, werden aber zunehmend häufiger beobachtet. Aufgrund von palliativen oder korrekativen Operationen erreichen heute viele Patienten mit kongenitalen Herzvitien das Erwachsenenalter (GUCH = „grown-up congenital hearts“) mit der Notwendigkeit weiterer kardiologischer Betreuung [32, 86]. Die beste Bildgebung bei angeborenen Herzfehlern bietet heute die Echokardiographie und die MRT, ggf. auch das Mehrzeilen-Spiral-CT [79], so dass eine nachgeschal-

tete Herzkatheteruntersuchung nur zur Klärung spezieller Fragen eingesetzt werden muss [40, 80]. Bei komplexen Vitien sollte die invasive Diagnostik bevorzugt an entsprechenden Zentren durchgeführt werden, welche eine Expertise sowohl in der Erwachsenen- als auch in der Kinderkardiologie haben (I-C).

Vor einer geplanten Operation eines kongenitalen Vitiums ist eine Koronarangiographie ggf. zum Ausschluss bzw. Nachweis von Koronar fisteln oder atypischen Abgängen der Koronararterien indiziert bzw. bei einer Operation im höheren Lebensalter zum Ausschluss einer koronaren Herzkrankheit [80] (I-C) (siehe 4.4).

■ 4.6 Erkrankungen der Aorta und großer Leitungsarterien

4.6.1 Aorta

Zur Darstellung von Erkrankungen der Aorta sind nach Verfügbarkeit nicht-invasive bildgebende Verfahren (MRT, CT, transösophageale Echokardiographie) zu bevorzugen (I-C).

Die angiographische Darstellung der Aorta ascendens (siehe Kap. 3.3.5) kann durchgeführt werden bei V.a. Aortenektasie und Aneurysma dissecans, insbesondere bei Patienten mit Aortenklappenvitium und schwerer arterieller Hypertonie. Die Sensitivität der Aortographie in der Detektion verschiedener Subtypen der Aortendissektion ist jedoch limitiert [35]. Bei hämodynamisch instabilen Patienten mit Aortendissektion sollte auf die Angiographie verzichtet werden, da die hierdurch bedingte Zeitverzögerung bis zur Operation für diese Patienten prognostisch ungünstig ist [35] (I-A).

Die Darstellung der Aorta ascendens und des angrenzenden Bogens kann bei fluoroskopisch nachgewiesener Verkalkung und geplanter aortokoronarer Bypass-Operation zur Abschätzung des intraoperativen Risikos hilfreich sein oder nach erfolgter Bypass-Operation dabei helfen, die Abgänge der Bypässe aufzufinden (I-C).

Bei V.a. Aortenisthmusstenose sollte eine simultane Druckmessung proximal und distal vorgenommen werden.

4.6.2 Carotiden und Nierenarterien

Duplex-Sonographie, MRT und MSCT sind die zu bevorzugenden nicht-invasiven Untersuchungsverfahren zur Darstellung der Carotiden und der Nierenarterien (I-C). Eine routinemäßige angiographische Darstellung ist nicht durchzuführen.

Eine Darstellung der Nierenarterien im Rahmen einer Herzkatheteruntersuchung kann bei Patienten

mit arterieller Hypertonie und Verdacht auf Nierenarterienstenosen angezeigt sein (I-C).

4.6.3 A. mammaria vor Bypass-Operation

Die Indikation zur Darstellung der A. mammaria interna vor geplanter koronarer Bypass-Operation im Rahmen der diagnostischen Herzkatheteruntersuchung ist nur gegeben bei V.a. Lageanomalie oder vorgeschaltetem Verschluss bzw. Stenose der proximalen A. subclavia (I-C).

■ 4.7 Erkrankungen des kleinen Kreislaufs

Viele Erkrankungen des kleinen Kreislaufs können sehr gut nicht-invasiv beurteilt werden (z.B. Echokardiographie, Spiral-CT bei V.a. Lungenembolie oder MRT bei V.a. arrhythmogene rechtsventrikuläre Dysplasie).

Bei klinischen Zeichen der Rechtsherz-Insuffizienz kann sich die Indikation zur Messung der Hämodynamik im Pulmonalkreislauf ergeben. Zur Abgrenzung begleitender linkskardialer Ursachen sollte eine Druckmessung im PC-Bereich erfolgen. Die Bestimmung des pulmonalarteriellen Widerstands (PVR) liefert prognostische Informationen vor einem kardiochirurgischen Eingriff an der Mitralklappe und ist bei angeborenen Shuntvitien obligat.

■ 4.8 Rhythmusstörungen

Bei unklaren lebensbedrohlichen ventrikulären Rhythmusstörungen ergibt sich die Indikation zur diagnostischen Herzkatheteruntersuchung mit Darstellung der Koronarien und der Ventrikelfunktion zur weiteren Ursachenfindung der koronaren und/oder myokardialen Genese der Rhythmusstörung und weiteren Therapieplanung (I-C). Die Indikation zur Herzkatheteruntersuchung bei supraventrikulären Rhythmusstörungen sollte immer in Zusammenhang mit dem individuellen kardiovaskulären Risikoprofil des Patienten und den Ergebnissen der nicht-invasiven Vorfelddiagnostik gestellt werden (Tab. 15).

Tab. 15 Indikation zur Koronarangiographie bei Rhythmusstörungen

Empfehlung: Indikation Koronarangiographie	Evidenzgrad
<i>Empfehlungsgrad I</i>	
■ Patienten nach erfolgreicher Reanimation bei plötzlichem Herztod und vor ICD-Implantation	B/C
■ Anhaltende monomorphe Kammertachykardie (> 30 s)	B
■ Nicht-anhaltende (< 30 s) polymorphe Kammertachykardie	B

5 Komorbidität

■ 5.1 Niereninsuffizienz

Empfehlungen zur Prophylaxe der durch Kontrastmittel induzierten Nephropathie sind bereits publiziert [69]. Zur Beurteilung der Niereninsuffizienz sollte statt des Kreatinins die glomeruläre Filtrationsrate (GFR) herangezogen werden, die nach der Cockcroft-Gault-Formel [26] oder MDRD-Formel [14] berechnet werden kann.

■ **Risikofaktoren für Kontrastmittel-induzierte Niereninsuffizienz** (=postangiographischer Anstieg des Kreatinin um >20% oder 0,3 mg/dl bei Ausgangswerten im Normbereich)

- Vorbestehende Niereninsuffizienz (Kreatinin $\geq 1,4$ mg/dl oder errechnete GFR < 60 ml/min) [1, 59]
- Diabetes mellitus
- Plasmozytom
- Wiederholte Kontrastmittel-Gabe und hohe Kontrastmittel-Menge (> 4 ml/kg Körpergewicht oder > 300 ml)
- Exsikkose
- Niedriges HZV
- Nephrotoxische Begleitmedikation: z.B. nichtsteroidale Antirheumatika, Ciclosporin, Methotrexat, Aminoglykoside
- Hohes Lebensalter (> 75 Jahre)
- Begleiterkrankungen (Hypertonie, Proteinurie, Leberzirrhose).

■ Prophylaxe

Patienten mit vorbestehender schwerer Niereninsuffizienz (GFR < 30 ml/min, Diabetes mellitus GFR < 60 ml/min), Plasmozytom und wiederholter großer Kontrastmittelgabe sollten eine Prophylaxe erhalten (I-C) [6].

- Verwendung niederosmolarer Kontrastmittel
- Minimierung der Kontrastmittelmenge (Ziel: 30–40 ml bei Koronarangiographie)
- Vermeiden nephrotoxischer Begleitmedikamente
- Ausreichende Hydratation mit 1 ml/kg/Std. 0,9% NaCl-Lösung über ca. 24 Stunden i.v., beginnend 2–12 Stunden vor Kontrastmittelexposition (I-A/C)
(Achtung: Bei Patienten mit manifester Herzinsuffizienz oder hochgradiger Aortenstenose Gefahr der Dekompensation)
- Optional zusätzlich Gabe von 600 mg N-Acetylcystein (oral oder i.v.) in vier Dosen im Abstand von zwölf Stunden beginnend einen Tag vor der Katheteruntersuchung [10, 13, 28, 59, 69] bzw. erste i.v. Gabe unmittelbar vor der Untersuchung in Notfällen [30] (IIa-A).

■ Indikation zur Dialyse

Kompensierte Niereninsuffizienz:

- Keine generelle Empfehlung, da kein gesicherter Nutzen.
- Im Einzelfall, abhängig von Kontrastmittelmenge. Möglichkeit der Volumenbelastung, Kreatinin-Erhöhung (glomeruläre Filtrationsrate [GFR] < 20 ml/min, bei Diabetes mellitus < 30 ml/min). Falls eine Dialyse notwendig ist, muss diese direkt im Anschluss an die Untersuchung durchgeführt werden (I-C). Alle gängigen Kontrastmittel sind dialysierbar.

Terminale Niereninsuffizienz:

Bei terminaler Niereninsuffizienz ist lediglich aufgrund der Volumenbilanzierung der Termin der Herzkatheteruntersuchung und nächsten Dialyse (Hämodialyse, CAPD) zeitnah (in den nachfolgenden Stunden) zu koordinieren.

■ 5.2 Diabetes mellitus

Patienten mit Diabetes mellitus haben häufig schwere Gefäßveränderungen nicht nur im Koronarbereich, sondern auch in anderen Gefäßbezirken (Niere, Kopf, Peripherie). Das ist bei der Planung der Herzkatheteruntersuchung, insbesondere bei der Kontrastmittelmenge, zu berücksichtigen und muss bei der Indikationsstellung einfließen. Zu beachten ist auch die antidiabetische Therapie (Tab. 16).

Tab. 16 Verhalten bei Herzkatheter bezüglich der Diabetes-Medikation

Sulfonylharnstoffe und Repaglinide	Müssen bei Nüchternphasen pausiert werden (Hypoglykämiegefahr). Bei längerer Wartezeit/Untersuchungsdauer ggf. mehrfach BZ-Kontrollen und bedarfsweise Gabe von Alt-Insulin s.c.
Biguanide (Metformin)	Metformin sollte direkt vor, während und 48 Std. nach Kontrastmittelexposition aufgrund des erhöhten Risikos einer Laktatazidose pausiert werden (elektive Untersuchungen). Gilt besonders bei bekannter Einschränkung der Nierenfunktion. Wiederaufnahme der Therapie nach Kontrolle der Nierenfunktion
Thiazolidindione (Glitazone)	Keine ausreichenden Daten. Wahrscheinlich keine Hypoglykämien, keine ausreichenden Erfahrungen mit Kontrastmittel-Exposition. Sollten am Untersuchungstag pausiert werden
Acarbose	Kein Absetzen/Pausieren erforderlich
Insulin	Gabe von 50% des Verzögerungsinsulins (bei Mischinsulinen 50% des Verzögerungsinsulinanteils), zunächst kein Alt-Insulin. Bei längerer Nüchternphase wiederholt Blutzucker-Messungen und zusätzliche Gabe von Alt-Insulin s.c. je nach Bedarf

■ 5.3 Immunsuppression und Infektionen

Die Durchführung einer diagnostischen Herzkatheteruntersuchung bei immunsupprimierten Patienten, insbesondere solchen mit Z.n. Transplantation, bedarf einer besonderen Sorgfalt zur Verhinderung von Infektionskonstellationen. Patienten mit potentiell kontaminösen Infektionen (z.B. Hepatitis B oder C, HIV) sollten am Ende eines Untersuchungstages untersucht werden, damit anschließend der Herzkatheterraum einer Grundreinigung unterzogen werden kann.

Bei Patienten mit Fieber oder ungeklärter Leukozytose sind elektive Herzkatheteruntersuchungen zu verschieben (Ausnahme: Endokarditis präoperativ) und erst eine Genesung bzw. Abklärung abzuwarten (I-C).

■ 5.4 Anämie

Bei Patienten mit schwerer, unklarer Anämie (<10 g/dl) sollte zuerst eine Abklärung vor der Herzkatheteruntersuchung erfolgen (I-C). Mögliche Blutungsquellen sind insbesondere bei einer möglichen PCI mit Gabe von Antikoagulantien und Plättchenhemmern abzuklären. Bei vitaler Indikation sind Blutkonserven bereitzuhalten. Der Blutverlust während der Untersuchung sollte minimiert werden. Diese Maßnahmen gelten nicht für Patienten mit Anämie wegen chronischer Niereninsuffizienz (Dialysepatient).

■ 5.5 Hyperthyreose

Auf eine Hyperthyreose ist insbesondere in Endemiegebieten zu achten. Der TSH-Wert hat bei allen elektiven Untersuchungen vor Untersuchungsbeginn vorzuziehen (I-C).

Bei Risikopatienten wird häufig Perchlorat zusammen mit einem Thyreostatikum wie Thiamazol zur Prophylaxe einer Jod-induzierten Hyperthyreose eingesetzt. Perchlorat wird nach oraler Verabreichung rasch resorbiert, die maximalen Gewebespiegel in der Schilddrüse sind etwa nach vier Stunden erreicht. Die Blockade der Jodaufnahme hält nur wenige Stunden an, sodass mehrmalige tägliche Gaben erforderlich sind. Da durch die In vivo-Dejodierung jodhaltiger Röntgen-Kontrastmittel täglich Jodmengen von einigen Milligramm frei werden, muss Perchlorat wegen der geringeren Affinität in entsprechend höherer Dosierung (bis zu 1 g pro Tag) prolongiert verabreicht gegeben werden.

Seltene, schwerwiegende Nebenwirkungen von Perchlorat oder Thiamazol vor allem bei längerer

Therapie (3–8 Wochen) sind Leukopenien bis hin zur Agranulozytose.

Falls eine Koronarangiographie dringend indiziert ist, kann unter den folgenden Laborkonstellationen folgende medikamentöse Prophylaxe durchgeführt werden (I-C):

- **Latente Hyperthyreose** (TSH <0,1 mE/l, FT3, FT4 im Normbereich)
 - szintigraphisch nachgewiesener geringer Autonomie
 - Struma nodosa
 - Perchlorat 3×20 Tropfen/die über 14 Tage (= 1200 mg/die)
 - Thiamazol 20 mg/die über 14 Tage
 - Beginn mindestens 2–4 h vor Kontrastmittelapplikation.
- **Grenzwertige Laborkonstellation** (TSH 0,1–0,4 mE/l, FT3, FT4 im Normbereich)
 - Perchlorat 3×20 Tropfen/die über 14 Tage (= 1200 mg/die)
 - Beginn mindestens 2–4 h vor Kontrastmittelapplikation.

Bei einer **notfallmäßigen** Herzkatheteruntersuchung ist folgendes Vorgehen zu empfehlen (I-C):

- TSH abnehmen,
- bei Hinweisen auf Schilddrüsenerkrankungen Perchlorat 50 Tropfen,

Tab. 17 Relative Kontraindikationen einer Koronarangiographie und mögliche Maßnahmen

Zustand	Mögliche Maßnahmen
■ Dekompensierende Herzinsuffizienz	– Medikamentöse Dekompensation – Bei akutem Koronarsyndrom/Myokardinfarkt jedoch prognostischer Vorteil durch rasche Koronarintervention
■ Akute respiratorische Insuffizienz	– Intubation und Beatmung
■ Akutes oder drohendes Nierenversagen	– Vorbehandlung bei stabiler KHK – Bei akutem Koronarsyndrom prognostischen Nutzen der invasiven Therapie abwägen
■ Unklare Entzündungskonstellation	– Diagnostik und ggf. antibiotische Therapie
■ Zerebrale Dysfunktion und akuter Hirninfarkt	– Bei akutem Koronarsyndrom prognostischen Nutzen der invasiven Therapie abwägen
■ Tumorerkrankungen mit verkürzter Lebenserwartung	– ggf. symptomatische Indikation
■ Gravierende Gerinnungsproblematik und akute Blutungen	– ggf. Substitution von Gerinnungsfaktoren und Blutkonserven
■ Unklare Vorgeschichte hinsichtlich Allergien und anaphylaktischen Reaktionen	– Vorbehandlung mit Kortikoiden und H ₁ - und H ₂ -Blockern

- Herzkatheter durchführen,
- Nachträgliche TSH-Bestimmung:
 - normal: Perchlorat absetzen,
 - erniedrigt: weiter entsprechende Therapie (s. o.).

■ 5.6 Kontrastmittelallergie

Eine Kontrastmittelallergie ist anzunehmen bei Entwicklung von Hautausschlag, Dyspnoe (Bronchospasmus) oder Kreislaufstörungen (Tachykardie, Blutdruckabfall) nach Kontrastmittelexposition. Übelkeit, Erbrechen oder passagere Sehstörungen sind Kontrastmittelunverträglichkeiten, aber in der Regel keine Allergien.

In der Regel können schwerwiegende allergische Reaktionen vermieden werden, indem bis zu 2 Stunden oral bzw. i.v. direkt vor Herzkatheteruntersuchung folgende Medikamente verabreicht werden: (I-C)

- Kortikosteroid: z. B. 100 mg Prednisolon i.v. *
 - H₁-Blocker: z. B. 2 mg Clemastin i.v. *
 - H₂-Blocker: z. B. 200–400 mg Cimetidin i.v. *
- (* oder vergleichbare Präparate).

■ 5.7 Hohes Lebensalter

Nicht das chronologische sondern das biologische Alter des Patienten und sein soziales und persönliches Umfeld und die Lebensqualität bestimmen die Indikation zur Herzkatheteruntersuchung. Dies ist individuell zu entscheiden. Hohes Lebensalter allein schließt die Indikation nicht aus (I-C).

6 Kontraindikationen zur Herzkatheteruntersuchung

Es gibt keine absoluten Kontraindikationen zur diagnostischen Herzkatheteruntersuchung. Dagegen sind eine Reihe von *relativen* Kontraindikationen zu nennen, die im Einzelfall abgewogen werden müssen hinsichtlich Nutzen-Risiko-Relation für die Prognose. Gegebenenfalls erlaubt eine weiterführende Diagnostik und Behandlung der bestehenden Komorbiditäten die Durchführung einer Koronarangiographie im Verlauf.

7 Komplikationen

■ 7.1 Häufigkeit von Komplikationen

Komplikationen bei elektiven Herzkatheteruntersuchungen sind selten. Zu unterscheiden ist zwischen schwerwiegenden Komplikationen (Tod, Myokardinfarkt, Schlaganfall) (sog. MACCE = major adverse cardiac and cerebrovascular events) und leichteren Komplikationen bzw. Nebenwirkungen. Viele Statistiken trennen nicht nach Komplikationen im Rahmen elektiver und notfallmäßiger Eingriffe (z. B. kardiogener Schock). Außerdem lassen sich Komplikationen bei Diagnostik und ggf. nachfolgender Intervention in vielen Registern nicht auseinanderhalten. Komplikationen können auch verzögert nach der Herzkatheteruntersuchung auftreten, wodurch die Häufigkeit auch vom Erfassungszeitraum abhängt.

Das Risiko für Komplikationen steigt mit dem Lebensalter und der Komorbidität (Schock, akuter Myokardinfarkt, Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Herzklappenerkrankung, instabile Angina pectoris, Diabetes mellitus). Die Angaben für MACCE liegen in unselektionierten Registern bei 0,63% bis 0,3%, darunter für Tod bei 0,05% bis 0,10%, für Myokardinfarkt bei 0,05% bis 0,06% und für Schlaganfall/TIA bei 0,03% [19, 67, 71]. Die amerikanische Leitlinie vom AHA/ACC aus dem Jahre 1999 [80] nennt für Komplikationen die folgenden Häufigkeiten: Tod 0,11%, Myokardinfarkt 0,05% und Schlaganfall 0,07%. Insgesamt sollte die Rate schwerer Komplikationen unter 1% liegen [7]; bei ausschließlich elektiven diagnostischen Untersuchungen ist von einer Komplikationsrate von <0,05% auszugehen.

Zu den schweren, aber nicht unmittelbar lebensbedrohlichen Komplikationen zählen der koronare Gefäßverschluss (Luft oder Thrombus), Linksherzdekompensation, periphere Gefäßkomplikationen (Perforation), größere, transfusionsbedürftige Einblutungen, Lungenembolien und anaphylaktischer Schock.

Zu den typischen, passageren Nebenwirkungen und nicht zu den schweren Komplikationen rechnen vagotone Reaktionen, Bradykardie, Asystolie, supraventrikuläre Tachykardien, Kammerflimmern, Kammerflattern und Kontrastmittelreaktionen. Die Häufigkeit ist nur teilweise durch entsprechende Maßnahmen bzw. die Untersuchungstechnik (s. o.) zu beeinflussen. Außerdem sind Komplikationen an der Punktionsstelle (Blutung, Aneurysma, Infektion) in Abhängigkeit von den Folgewirkungen als große oder kleine Komplikation einzuordnen.

■ 7.2 Behandlung von Komplikationen

Durch die Kenntnis von Untersuchungsbefunden, Begleiterkrankungen und medikamentöser Therapie lassen sich die Risiken einer Herzkatheteruntersuchung minimieren. Das rechtzeitige Erkennen von Komplikationen und die angemessene Reaktion durch gut geschultes Personal können schwerwiegende Komplikationen abwenden. Die Abläufe während einer Notfallsituation sind mit dem Assistenzpersonal einzuüben, damit alle Maßnahmen im Ernstfall ohne Reibungsverluste geordnet vorgenommen werden können (I-C). Dazu zählt der fachkundige Umgang mit Notfallmedikamenten (Tab. 1), die sachgerechte, sofortige Defibrillation bzw. das Legen einer temporären Schrittmachersonde. Werden auch Schockpatienten behandelt, sollten auch gute Kenntnisse im Umgang mit der aortalen Ballonpumpe vorhanden sein.

Bei einem **koronaren Gefäßverschluss** ist differentialdiagnostisch zu klären, ob es sich um einen Gefäßspasmus (Behandlungsmaßnahme: Nitroglycerin intrakoronar), eine Luftembolie (Behandlungsmaßnahme: kräftige Kochsalzinjektion), eine Dissektion oder Thrombembolie handelt. Bei Letzteren ist eine sofortige Gefäßrekanalisation ggf. mit Stentimplantation erforderlich (I-C).

Bei **neurologischen Komplikationen** ist die Untersuchung sofort abubrechen. In Abhängigkeit vom Schweregrad der Ausfälle ist ein Neurologe hinzuzuziehen. Kleinere Störungen sind häufig nach Flüssigkeitsgabe und Heparin (sofern kein Blutungsverdacht besteht) rasch reversibel. Bei vollständigen Paresen

ist mit dem Neurologen die Indikation zu einer fibrinolytischen Therapie zu prüfen. Für neurologische Komplikationen sollte ein Strategieplan (Verlegung in „stroke unit“) vorliegen, damit keine Zeitverluste entstehen (I-C).

Schwere Komplikationen im Bereich der **Punktionsstelle** treten in ca. 0,5% aller Eingriffe auf. Die Inzidenz kann durch die richtige Punktions Technik und sorgfältige Kompressionsmaßnahmen minimiert werden. Eine sorgfältige Inspektion und Auskultation der Punktionsstelle ist erforderlich, bevor der Patient mobilisiert wird (I-C). Kleinere Hämatome verlangen eine längere Beobachtungszeit, da zweizeitige Blutungen im Intervall vorkommen können. Eine duplexsonographische Untersuchung zur Ursachenabklärung ist anzustreben (I-C). Bei ausgeprägtem Hämatom mit einem Hämoglobinabfall > 3 g/dl ist ein Gefäßchirurg hinzuzuziehen und ggf. eine Transfusion vorzunehmen. Eine **retroperitoneale Blutung** ist bei starkem Hämoglobinabfall und/oder Angabe von Rückenbeschwerden in Erwägung zu ziehen und sollte durch entsprechende Bildgebung (MR, CT) abgeklärt werden (I-C).

Bei Nachweis eines **Aneurysma spurium** ist eine erneute sonographisch gesteuerte Gefäßkompression vorzunehmen. Eine Alternative ist die sonographisch gesteuerte Thrombininjektion (I-C). Ein gefäßchirurgischer Eingriff ist dadurch in der Regel vermeidbar.

Bei Verdacht auf einen **Gefäßverschluss** im Bereich der punktierten Extremität ist eine entsprechende Bildgebung vorzunehmen, um interventionelle oder gefäßchirurgische Abhilfe zu schaffen.

8 Anhang

8.1 Schmerzcharakteristika

Bezeichnung	Charakteristika	Wahrscheinlichkeit einer KHK
Typische (stabile) Angina pectoris	■ Retrosternaler Druck oder Brennen ■ Ausstrahlung in Arm(e)/Hals/Kiefer/Schulter ggf. auch Rücken/Oberbauch ■ Ausgelöst durch Belastung/Besserung in Ruhe ■ Dauer > 1 min und < 5–10 min ■ Besserung auf Nitroglycerin	Hohe Wahrscheinlichkeit für stenosierende KHK (89%)
Atypische Angina pectoris	■ Linksthorakales Ziehen ■ Nicht sicher belastungsabhängig ■ Längere Dauer ■ keine sichere Besserung auf Nitroglycerin	KHK möglich (50%) Bei Frauen mit KHK ist atypische Angina pectoris häufiger als bei Männern
Unspezifische Thoraxschmerzen/ Hinweis auf nicht-koronare Erkrankung	■ Atmungsabhängige Schmerzen (z. B. Pleuritis, Perikarditis) ■ Ausstrahlung in Rücken (z. B. Aortendissektion) ■ Abdominelle Schmerzen ■ Schmerzen assoziiert mit Bewegungsapparat	KHK wenig wahrscheinlich, aber nicht ausgeschlossen
Stumme Ischämie	■ Keine Thoraxschmerzen ■ Dyspnoe kann ein „Angina-Äquivalent“ sein - Häufiger bei ■ Diabetes mellitus ■ hohem Alter ■ Frauen ■ Hypertonie ■ Polyneuropathie ■ Nach Herztransplantation	

Modifiziert nach [23, 80]

8.2 Schweregrad der Angina pectoris-Symptomatik (CCS-Klassifikation)

CCS	Definition	Beispiel
I	<i>Keine Angina bei normaler körperlicher Aktivität</i>	Angina nur bei großer, schneller oder prolongierter Anstrengung
II	<i>Geringe Einschränkung der körperlichen Aktivität</i>	Angina tritt auf beim Bergaufgehen, Treppensteigen von > 1 Etage, schnellem Treppensteigen, bei Kälteexposition oder unter emotionalem Stress oder nur in den frühen Morgenstunden
III	<i>Deutlich eingeschränkte körperliche Belastbarkeit</i>	Angina tritt auf beim Treppensteigen von 1 Etage oder beim Gehen von mehreren hundert Meter in der Ebene mit normaler Geschwindigkeit
IV	<i>Keine körperliche Aktivität ohne Angina möglich</i>	Beschwerden können auch in Ruhe auftreten

Nach [22]

8.3 NYHA-Klassifikation

NYHA	Definition	Beispiel
I	<i>Keine Limitation der körperlichen Belastbarkeit</i>	Keine Beschwerden bei normaler körperlicher Aktivität
II	<i>Geringe Einschränkung der körperlichen Belastbarkeit</i>	Normale körperliche Belastung geht mit Müdigkeit, Dyspnoe, Palpitationen oder Angina einher
III	<i>Deutlich eingeschränkte körperliche Belastbarkeit. Keine Beschwerden in Ruhe</i>	Geringe körperliche Belastung geht mit Müdigkeit, Palpitationen, Dyspnoe oder Angina einher
IV	<i>Keine körperliche Aktivität ohne Beschwerden</i>	Herzinsuffizienz-Symptome oder Angina in Ruhe – Zunahme bei jeder körperlichen Belastung

Einteilung für Patienten mit kardialer Erkrankung (nach [48])

8.4 TIMI-Klassifikation

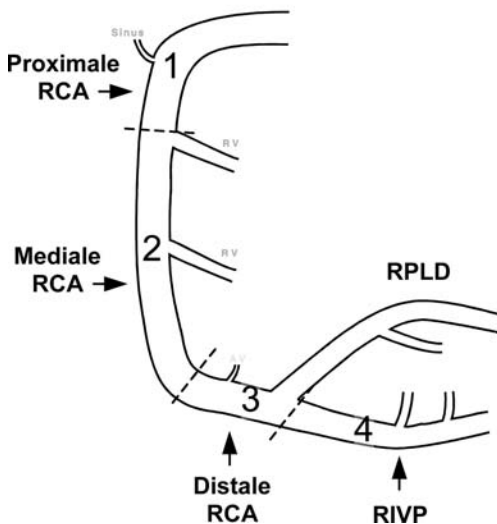
TIMI	Definition	Beschreibung
0	<i>Keine Perfusion</i>	Kein antegrader Fluss über die Verschlussstelle hinaus nachweisbar
1	<i>Minimale Perfusion</i>	Das Kontrastmittel passiert die Verschlussstelle nur schwach, ohne das gesamte Koronargefäß distal zu füllen
2	<i>Partielle Perfusion</i>	Das Kontrastmittel passiert die Verschlussstelle und füllt das distale Gefäß vollständig. Kontrastmittelfüllung oder -auswaschung ist verzögert gegenüber anderen Gefäßabschnitten
3	<i>Vollständige Perfusion</i>	Normale Kontrastmittelfüllung und -auswaschung

Nach [91]

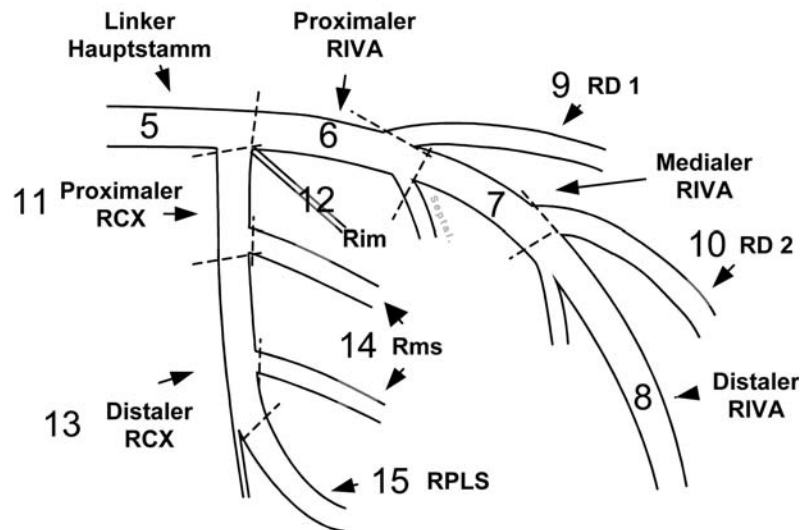
8.5 Einteilung der Koronarsegmente (AHA-Klassifikation)

Die Äste der Koronararterien werden in Anlehnung an die Klassifikation der ‚American Heart Association‘ bezeichnet [4].

Rechte Koronararterie (RCA)



Linke Koronararterie (LCA)



Abkürzung Name (engl. Abkürzung)

- RIVA(RIA) = Ramus interventricularis anterior (LAD)
- RD = Ramus diagonalis
- RCX = Ramus circumflexus (LCX)
- Rim = Ramus intermedius
- Rms = Ramus marginalis (obtuse marginal, OM)
- RPLS = Ramus posterolateralis sinister
- RPLD = Ramus posterolateralis dexter (PLSA)
- RIVP(RIP) = Ramus interventricularis posterior (PDA)

8.6 Methoden

Diese Leitlinien wurden erstellt von einer Kommission, die von der Klinischen Kommission der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie berufen war und alle Versorgungssektoren in Deutschland repräsentiert. Die Empfehlungen wurden in gemeinsamen Sitzungen im Konsens nach bestem Wissen nach den Qualitätskriterien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie und der AWMF (<http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/II-quali.htm>) ausgearbeitet. Es fanden nur Studien, Metaanalysen oder Kommentare Berücksichtigung, die als vollständiges Manuskript bis August 2007 veröffentlicht und in der MEDLINE Datenbank erfasst waren. Die Erstellung des Manuskripts erfolgte ohne Unterstützung oder Einflussnahme Dritter. Mögliche Interessenskonflikte der Autoren sind bei der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie hinterlegt.

8.7 Verzeichnis der Abkürzungen

ACS	Akutes Koronarsyndrom
ASS	Acetylsalicylsäure
BNP	Brain type natriuretic peptide
BQS	Bundesgeschäftsstelle für Qualitätssicherung
CCS	Canadian Cardiovascular Society (Angina-Klassifikation)

CT	Computertomographie
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
GP IIb/IIIa	Glykoprotein IIb/IIIa
HAES	Hydroxyäthylstärke(lösung)
HZV	Herzzeitvolumen
IABP	intra-aortale Ballon-Gegenpulsation
INR	international normalized ratio
i.v.	intravenös
IVUS	intravaskuläre Ultraschalluntersuchung
KHK	Koronare Herzkrankheit
LAO	links anterior oblique
LV	linker Ventrikel
LVEDP	linksventrikulärer endsystolischer Druck
NSTEMI	Nicht-ST-Streckenhebungs-Infarkt
NYHA	New York Heart Association (Herzinsuffizienz-Einteilung)
MRT	Magnetresonanztomographie
PA	Pulmonalarterie
PC	Pulmonalkapillar(-druck)
QCA	Quantitative Coronararterien Analyse
PAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PCI	perkutane coronare Intervention
PVR	pulmonal-vaskulärer Widerstand
RAO	rechts anterior oblique
RV	rechter Ventrikel
SVR	systemischer vaskulärer Widerstand
TIMI	Thrombolysis in myocardial infarction
TSH	Thyreidea-stimulierendes Hormon

■ **Danksagung** Herr Dr. E. Kuon hat beratend die Ausführungen zur Strahlenbelastung mitgestaltet. Herr Prof. Fassbinder, Fulda, hat uns dankenswerterweise bei dem Kapitel zur Niereninsuffizienz beraten. Die Herrn Prof. Maisch, Schultheiss und Sechtem haben die Empfehlungen zur Myokardbiopsie mitgestaltet.

9 Literatur

- Aspelin P, Aubry P, Fransson SG, Strasser R, Willenbrock R, Berg KJ (2003) Nephrotoxic effects in high-risk patients undergoing angiography. *N Engl J Med* 348:491–499
- Assmann G, Cullen P, Schulte H (2002) Simple scoring scheme for calculating the risk of acute coronary events based on the 10-year follow-up of the prospective cardiovascular Münster (PROCAM) study. *Circulation* 105:310–315
- Auch-Schwelk W (1998) Koronarer Spasmus – ein klinisch relevantes Problem? *Herz* 23:106–115
- Austen WG, Edwards JE, Frye RL et al (1975) A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association. *Circulation* 51, Suppl 4:5–40
- Baker CS, Wragg A, Kumar S, De Palma R, Baker LR, Knight CJ (2003) A rapid protocol for the prevention of contrast-induced renal dysfunction: the RAPPID study. *J Am Coll Cardiol* 41:2114–2118
- Barrett BJ, Parfrey PS (2006) Clinical practice. Preventing nephropathy induced by contrast medium. *N Engl J Med* 354:379–386
- Bashore TM, Bates ER, Berger PB et al (2001) American College of Cardiology/Society for Cardiac Angiography and Interventions Clinical Expert Consensus Document on cardiac catheterization laboratory standards. A report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol* 37:2170–2214
- Bassand JP, Hamm CW, Ardissino D et al (2007) Guidelines for the diagnosis and treatment of non-ST-segment elevation acute coronary syndromes. The task force for the diagnosis and treatment of non-ST-segment elevation acute coronary syndromes of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 28:1598–1660
- Beller GA, Bonow RO, Fuster V (2002) ACC revised recommendations for training in adult cardiovascular medicine. Core Cardiology Training II (COCATS 2) (revision of the 1995 COCATS training statement). *J Am Coll Cardiol* 39:1242–1246
- Birck R, Krzossok S, Markowitz F, Schnulle P, van der Woude FJ, Braun C (2003) Acetylcysteine for prevention of contrast nephropathy: meta-analysis. *Lancet* 362:598–603

11. Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K et al (2006) ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing Committee to Revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease) developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol* 48:e1–148
12. Bonzel T, Erbel R, Hamm CW et al (2007) Leitlinie Interventionelle Koronartherapie. *Clin Res Cardiol im Druck*
13. Briguori C, Colombo A, Airolidi F et al (2004) N-Acetylcysteine versus fentanyl mesylate to prevent contrast agent-associated nephrotoxicity. *J Am Coll Cardiol* 44:762–765
14. Brosius FC 3rd, Hostetter TH, Kelepouris E et al (2006) Detection of chronic kidney disease in patients with or at increased risk of cardiovascular disease: a science advisory from the American Heart Association Kidney and Cardiovascular Disease Council; the Councils on High Blood Pressure Research, Cardiovascular Disease in the Young, and Epidemiology and Prevention; and the Quality of Care and Outcomes Research Interdisciplinary Working Group: developed in collaboration with the National Kidney Foundation. *Circulation* 114:1083–1087
15. Bruckenberg E (2006) 18. Herzbericht 2005 mit Transplantationschirurgie, Hannover [online: <http://www.herzbericht.de/>], abgerufen 20.6.2007
16. Bundesärztekammer (1990) Empfehlungen zur Patientenaufklärung. *Dtsch Ärzteblatt* 87:C-807–C809 [online: http://www.aekwl.de/fileadmin/rechtsabteilung/doc/baek_patientenaufkl_190490.pdf]
17. Bundesärztekammer (1999) Bekanntmachung: Voraussetzungen gemäß §135 Abs. 2 SGB V zur Ausführung und Abrechnung invasiv kardiologischer Leistungen (Vereinbarung zur invasiven Kardiologie). *Dtsch Ärzteblatt* 96:A2386–2388 [online: <http://www.aerzteblatt.de/v4/archiv/artikel.asp?src=suche&id=19092>]
18. Bundesamt für Strahlenschutz (2003) Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen vom 10. Juli 2003. *Bundesanzeiger* 143:17503
19. Bundesgeschäftsstelle Qualitätssicherung gGmbH (2004) BQS Qualitätsreport 2003. [online: <http://www.bqs-qualitaetsreport.de/Webs/bqs/qualrep/2003/ergebnisse/>] abgerufen 2.12.2005
20. Burwash IG, Thomas DD, Sadahiro M et al (1994) Dependence of Gorlin formula and continuity equation valve areas on transvalvular volume flow rate in valvular aortic stenosis. *Circulation* 89:827–835
21. Camici PG (2000) Positron emission tomography and myocardial imaging. *Heart* 83:475–480
22. Campeau L (1976) Letter: Grading of angina pectoris. *Circulation* 54:522–523
23. Chaitman BR, Bourassa MG, Davis K et al (1981) Angiographic prevalence of high-risk coronary artery disease in patient subsets (CASS). *Circulation* 64:360–367
24. Chambers J (2006) Low “gradient”, low flow aortic stenosis. *Heart* 92: 554–558
25. Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP et al (2003) ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). *Circulation* 108:1146–1162
26. Cockcroft DW, Gault MH (1976) Prediction of creatinine clearance from serum creatinine. *Nephron* 16:31–41
27. Cohn PE, Fox KM, Daly C (2003) Silent myocardial ischemia. *Circulation* 108:1263–1277
28. Cox CD, Tsikouris JP (2004) Preventing contrast nephropathy: what is the best strategy? A review of the literature. *J Clin Pharmacol* 44:327–337
29. De Backer G, Ambrosioni E, Borch-Johnsen K et al (2003) European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. Third Joint Task Force of European and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice. *Eur Heart J* 24:1601–1610
30. Deutsche Krankenhausgesellschaft. Patientenrechte in Deutschland (Broschüre), 28.3.2003 [online: <http://www.dkgev.de/dkgev.php/cat/116/aid/238/title/Patientenrechte+in+Deutschland+%28Broschue%29>] abgerufen 2.12.2005
31. Dietz R, Rauch B (2003) Leitlinie zur Diagnose und Behandlung der chronischen koronaren Herzerkrankung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung (DGK). *Z Kardiol* 92:501–521
32. Driscoll D, Allen HD, Atkins DL et al (1994) Guidelines for evaluation and management of common congenital cardiac problems in infants, children, and adolescents. A statement for healthcare professionals from the Committee on Congenital Cardiac Defects of the Council on Cardiovascular Disease in the Young, American Heart Association. *Circulation* 90: 2180–2188
33. Eagle KA, Berger PB, Calkins H et al (2002) ACC/AHA guideline update for perioperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery – executive summary a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1996 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery). *Circulation* 105:1257–1267
34. Eagle KA, Guyton RA, Davidoff R et al (2004) ACC/AHA 2004 guideline update for coronary artery bypass graft surgery: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1999 Guidelines for Coronary Artery Bypass Graft Surgery). *Circulation* 110:e340–e437
35. Erbel R, Alfonso F, Boileau C et al (2001) Diagnosis and management of aortic dissection. *Eur Heart J* 22: 1642–1681
36. Erhardt L, Herlitz J, Bossaert L et al (2002) Task force on the management of chest pain. *Eur Heart J* 23:1153–1176
37. Espinola-Klein C, Rupprecht HJ, Erbel R, Nafe B, Brennecke R, Meyer J (1998) Impact of restenosis 10 years after coronary angioplasty. *Eur Heart J* 19:1047–1053
38. European Society of Cardiology (2006) Deutsche Version EuroHeart Score [online: http://www.escardio.org/knowledge/decision_tools/heartscore/de/] abgerufen 2.5.2006
39. Fleisher LA, Eagle KA (2001) Clinical practice. Lowering cardiac risk in noncardiac surgery. *N Engl J Med* 345:1677–1682

40. Fox JM, Bjornsen KD, Mahoney LT, Fagan TE, Skorton DJ (2003) Congenital heart disease in adults: catheterization laboratory considerations. *Catheter Cardiovasc Interv* 58:219–231
41. Fox K, Garcia MA, Ardissino D et al (2006) Guidelines on the management of stable angina pectoris: executive summary. The Task Force on the Management of Stable Angina Pectoris of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 27:1341–1381
42. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT et al (2002) ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *Circulation* 106:1883–1892
43. Gibbons RJ, Abrams J, Chatterjee K et al (2003) ACC/AHA 2002 guideline update for the management of patients with chronic stable angina – summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on the Management of Patients With Chronic Stable Angina). *Circulation* 107:149–158
44. Gibson CM, Cannon CP, Daley WL et al (1996) TIMI frame count: a quantitative method of assessing coronary artery flow. *Circulation* 93: 879–888
45. Gibson CM, Cannon CP, Murphy SA, et al (2000) Relationship of TIMI myocardial perfusion grade to mortality after administration of thrombolytic drugs. *Circulation* 101:125–130
46. Gibson CM, Cannon CP, Murphy SA, Marble SJ, Barron HV, Braunwald E (2002) Relationship of the TIMI myocardial perfusion grades, flow grades, frame count, and percutaneous coronary intervention to long-term outcomes after thrombolytic administration in acute myocardial infarction. *Circulation* 105:1909–1913
47. Glagov S, Weisenberg E, Zarins CK, Stankunavicius T, Kolettis GJ (1987) Compensatory enlargement of human atherosclerotic coronary arteries. *N Engl J Med* 316:1371–1375
48. Goldman L, Hashimoto B, Cook EF, Loscalzo A (1981) Comparative reproducibility and validity of systems for assessing cardiovascular functional class: advantages of a new specific activity scale. *Circulation* 64: 1227–1234
49. Gould KL, Kirkeeide RL, Buchi M (1990) Coronary flow reserve as a physiologic measure of stenosis severity. *J Am Coll Cardiol* 15:459–474
50. Grayburn PA, Eichhorn EJ (2002) Dobutamine challenge for low-gradient aortic stenosis. *Circulation* 106: 763–765
51. Grundy SM, Pasternak R, Greenland P, Smith S Jr, Fuster V (1999) Assessment of cardiovascular risk by use of multiple-risk-factor assessment equations: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association and the American College of Cardiology. *Circulation* 100: 1481–1492
52. Hamm CW, Bösenberg H, Brennecke R et al (2001) Leitlinien zur Einrichtung und zum Betreiben von Herzkatheterräumen (1. Neufassung). *Z Kardiol* 90:367–376
53. Hamm CW (2004) Leitlinien: Akutes Koronarsyndrom, Teil 1: ACS ohne persistierende ST-Hebung. *Z Kardiol* 93:72–90
54. Hamm CW (2004) Leitlinien: Akutes Koronarsyndrom, Teil 2: Akutes Koronarsyndrom mit ST-Hebung. *Z Kardiol* 93:324–341
55. Hart D, Hillier MC, Wall BF (2002) Doses to patients from medical x-ray examinations in the UK – 2000 Review. National Radiology Protection Board NRPB-W14 [online: http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/w_series_reports/2002/nrpb_w14.pdf]
56. Hirshfeld JW Jr, Balter S, Brinker JA et al (2005) ACCF/AHA/HRS/SCAI clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. *Circulation* 111:511–532
57. Hufnagel G, Pankuweit S, Richter A, Schönlau U, Maisch B (2000) The European Study of Epidemiology and Treatment of Cardiac Inflammatory Diseases (ESETCID). First epidemiological results. *Herz* 25:279–285
58. Jo SH, Youn TJ, Koo BK et al (2006) Renal toxicity evaluation and comparison between visipaque (iodixanol) and hexabrix (ioxaglate) in patients with renal insufficiency undergoing coronary angiography: the RECOVER study: a randomized controlled trial. *J Am Coll Cardiol* 48: 924–930
59. Kay J, Chow WH, Chan TM et al (2003) Acetylcysteine for prevention of acute deterioration of renal function following elective coronary angiography and intervention: a randomized controlled trial. *JAMA* 289:553–558
60. Kelm M, Schäfer S, Preik M, Schoebel FC, Preik-Steinhoff H, Strauer BE (1997) Koronare Vasomotion bei der koronaren Herzerkrankung – Bedeutung epikardialer und mikrozirkulatorischer Gefäße für die Myokardperfusion. *Z Kardiol* 86, Suppl 1:33–41
61. Kern MJ (2000) Coronary physiology revisited: practical insights from the cardiac catheterization laboratory. *Circulation* 101:1344–1351
62. Kern MJ, Meier B (2001) Evaluation of the culprit plaque and the physiological significance of coronary atherosclerotic narrowings. *Circulation* 103: 3142–3149
63. Kuon E, Schmitt M, Dahm JB (2002) Significant reduction of radiation exposure to operator and staff during cardiac interventions by analysis of radiation leakage and improved lead shielding. *Am J Cardiol* 89:44–49
64. Kuon E, Glaser C, Dahm JB (2003) Effective techniques for reduction of radiation dosage to patients undergoing invasive cardiac procedures. *Br J Radiol* 76:406–413
65. Kuon E, Dahm JB, Empen K, Robinson DM, Reuter G, Wucherer M (2004) Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol* 44:1420–1428
66. Langes K, Nienaber CA, Meinertz T (1997) Angina pectoris bei normalen Koronararterien (Mikrovaskular-Angina/Syndrom X). *Dtsch Med Wochenschr* 122:33–38
67. Levenson B, Albrecht A, Göhring S et al (2003) 4. Bericht des Bundesverbandes Niedergelassener Kardiologen zur Qualitätssicherung in der diagnostischen und therapeutischen Invasivkardiologie 1999–2002. *Herz* 28: 335–347
68. Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A et al (2004) Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. *Circulation* 109:1250–1258
69. Möckel M, Bahr F, Leuner C, Kuhn H, Dietz R (2002) Empfehlungen zur Prophylaxe der durch Röntgen-Kontrastmittel (RKM) induzierten Nephropathie. *Z Kardiol* 91:719–726

70. Monin JL, Quere JP, Monchi M et al (2003) Low-gradient aortic stenosis: operative risk stratification and predictors for long-term outcome: a multicenter study using dobutamine stress hemodynamics. *Circulation* 108:319–324
71. Mühlberger V, Barbier V, Pachinger O (2004) Koronarangiographie und PCI in Österreich im Jahr 2003. *J Kardiol* 11:403–412
72. Naghavi M, Libby P, Falk E et al (2003) From vulnerable plaque to vulnerable patient: a call for new definitions and risk assessment strategies: Part I. *Circulation* 108:1664–1672
73. Naghavi M, Libby P, Falk E et al (2003) From vulnerable plaque to vulnerable patient: a call for new definitions and risk assessment strategies: Part II. *Circulation* 108:1772–1778
74. Nashef SA, Roques F, Michel P, Gauducheau E, Lemeshow S, Salamon R (1999) European system for cardiac operative risk evaluation (EuroSCORE). *Eur J Cardiothorac Surg* 16: 9–13
75. Nishimura RA, Grantham JA, Connolly HM, Schaff HV, Higano ST, Holmes DR Jr (2002) Low-output, low-gradient aortic stenosis in patients with depressed left ventricular systolic function: the clinical utility of the dobutamine challenge in the catheterization laboratory. *Circulation* 106: 809–813
76. Nixdorff U (2002) Dobutamin wurde für die Indikation Stressechokardiographie zugelassen (Stellungnahme der Kommission für Klinische Kardiologie über die Anwendung von Dobutamin zur Stressechokardiographie). [online: <http://www.dgk.org/Aktuelles/DSE-Zulassung.pdf>] abgerufen 2. 12. 2005
77. O'Rourke RA, Brundage BH, Froelicher VF et al (2000) American College of Cardiology/American Heart Association Expert Consensus document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation* 102:126–140
78. Parzeller M, Wenk M, Zedler B, Rothschild M (2007) Aufklärung und Einwilligung bei ärztlichen Eingriffen. *Dtsch Arzteblatt* 104:A576–584 [online: <http://www.aerzteblatt.de/v4/archiv/pdf.asp?id=54690>]
79. Samyn MM (2004) A review of the complementary information available with cardiac magnetic resonance imaging and multi-slice computed tomography (CT) during the study of congenital heart disease. *Int J Cardiovasc Imaging* 20:569–578
80. Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM et al (1999) ACC/AHA guidelines for coronary angiography. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Coronary Angiography). Developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *J Am Coll Cardiol* 33: 1756–1824
81. Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM et al (1999) ACC/AHA guidelines for coronary angiography: executive summary and recommendations. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Coronary Angiography) developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Circulation* 99:2345–2357
82. Schächinger V, Zeiher AM (2001) Prognostic implications of endothelial dysfunction: does it mean anything? *Coron Artery Dis* 12:435–443
83. Schühlen H, Kastrati A, Mehili J, Hausleiter J, Pache J, Dirschinger J, Schomig A (2004) Restenosis detected by routine angiographic follow-up and late mortality after coronary stent placement. *Am Heart J* 147:317–322
84. Silber S, Albertsson P, Aviles FF et al (2005) Guidelines for percutaneous coronary interventions. The Task Force for Percutaneous Coronary Interventions of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 26:804–847
85. Silber S, Hoffmeister HM, Drexler C, Schächinger V, Kuon E (2005) Arbeitsanweisung im HKL gem. § 18 Abs. (2) Röntgenverordnung für eine Röntgeneinrichtung zur Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen als Muster. *Clin Res Cardiol* 95, Suppl 4:72–75 [online: http://leitlinien.dgk.org/images/pdf/leitlinien_volltext/2005-07_arbeitsanweisung_hkl.pdf]
86. Somerville J (1997) Management of adults with congenital heart disease: an increasing problem. *Annu Rev Med* 48:283–293
87. Stone GW, McCullough PA, Tumlin JA et al (2003) Fenoldopam mesylate for the prevention of contrast-induced nephropathy: a randomized controlled trial. *JAMA* 290:2284–2291
88. Sutton AG, Finn P, Grech ED, Hall JA, Stewart MJ, Davies A, de Belder MA (2001) Early and late reactions after the use of iopamidol 340, ioxaglate 320, and iodixanol 320 in cardiac catheterization. *Am Heart J* 141:677–683
89. Takeda S, Rimington H, Chambers J (1999) The relation between transaortic pressure difference and flow during dobutamine stress echocardiography in patients with aortic stenosis. *Heart* 82:11–14
90. The study group Clinical Issues, working group Coronary Circulation, of the European Society of Cardiology (1996) Recommendations for training and quality control in coronary angioplasty. *Eur Heart J* 17: 1477–1481
91. TIMI study group (1985) The Thrombolysis in Myocardial Infarction (TIMI) trial: phase I findings. *N Engl J Med* 312:932–936
92. Trappe HJ, Löllgen H (2000) Leitlinien zur Ergometrie. *Z Kardiol* 89: 821–831
93. Vahanian A, Baumgartner H, Bax J et al (2007) Guidelines on the management of valvular heart disease: The Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 28:230–268
94. van Buuren F, Horstkotte D (2006) 21. Herzbericht über die Leistungszahlen der Herzkatheterlabore in der Bundesrepublik Deutschland. *Clin Res Cardiol* 95:383–387
95. Van de Werf F, Ardissino D, Betriu A et al (2003) Management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. The Task Force on the Management of Acute Myocardial Infarction of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 24:28–66
96. Werner W, Sperschneider H, Schubert J (2003) Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Urologie: Nierentransplantation (AWMF online), 15.1.2003 [online: <http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/ll-na/043-023.htm>] abgerufen 2. 12. 2005
97. Wilkins GT, Weyman AE, Abascal VM, Block PC, Palacios IF (1988) Percutaneous balloon dilatation of the mitral valve: an analysis of echocardiographic variables related to outcome and the mechanism of dilatation. *Br Heart J* 60:299–308
98. Zimmermann R, vom Dahl J, Schafers M, Schwaiger M (2002) Positionsbericht nuklearkardiologische Diagnostik – Update. *Z Kardiol* 91: 88–92