



# Indikationen zur invasiven Koronardiagnostik und Revaskularisation

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Indikationen zur invasiven Koronardiagnostik und Revaskularisation
  - 2.1. Stabile Koronare Herzerkrankung
  - 2.2. Akutes Koronarsyndrom
  - 2.3. Rhythmusstörungen und Zustand nach Kreislaufstillstand/Reanimation
  - 2.4. Herzerkrankungen mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion
    - 2.5. Klappenvitien
    - 2.6. Präoperative Diagnostik
3. Kontraindikationen zur invasiven Diagnostik und Revaskularisation
4. Indikationen zur Messung der fraktionellen Flussreserve (FFR) und zur intrakoronaren Bildgebung (IVUS, OCT)
  - 4.1. Fraktionelle Flussreserve (FFR)
  - 4.2. Intrakoronare Bildgebung (IVUS, OCT)
5. Literatur

## 1. Einleitung und Grundlagen

Die invasive Koronarangiographie im Rahmen einer diagnostischen Herzkatheteruntersuchung gestattet die Identifikation von Koronararterienstenosen und, wenn auch weitaus seltener, von anderen pathologischen Veränderungen der Koronargefäße wie Dissektionen oder Aneurysmen. Unter Hinzuziehung zusätzlicher Verfahren wie intravaskulärem Ultraschall („intravascular ultrasound“, IVUS), optischer Kohärenztomographie („optical coherence tomography“, OCT) und Druckdrahtmessung zur Bestimmung der fraktionellen Flussreserve (FFR) ist die weitere Charakterisierung atherosklerotischer Läsionen und anderer morphologischer Veränderungen sowie die Ermittlung einer von Koronarstenosen verursachten Ischämie möglich. Die invasive Koronardiagnostik (■ Tab. 1) ergänzt somit die nichtinvasiven Verfahren zur Ischämiediagnostik sowie zur Bildgebung der Koronargefäße.

Die diagnostische Aussagekraft der Koronarangiographie, ergänzt um die oben genannten Verfahren, ist außerordentlich hoch. Allerdings birgt die Notwendigkeit zum invasiven Vorgehen über einen arteriellen Gefäßzugang ein gewisses Komplikationsrisiko. Sie geht zudem mit der Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel und für Patienten und Untersucher mit der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung einher.

Die Angaben für die Häufigkeit von schweren Komplikationen aufgrund einer Koronarangiographie liegen in unselektierten Registern bei 0,63–0,3 %, darunter für Tod bei 0,05–0,10 %, für Myokardinfarkt bei 0,05–0,06 % und für Schlaganfall/TIA bei 0,03 % [1]. Die amerikanische Leitlinie der AHA/ACC aus dem Jahr 1999 [2] nennt für Komplikationen die folgenden Häufigkeiten: Tod 0,11 %, Myokardinfarkt 0,05 % und Schlaganfall 0,07 %. Bei zusätzlichen Untersuchungen wie IVUS, OCT und FFR besteht grundsätzlich das Risiko einer Verletzung der Koronararterien. Zudem ist die invasive Koronardiagnostik personal- und kostenintensiv.

Aus diesen Gründen darf die Indikation nicht leichtfertig gestellt werden, und entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen sind in Deutschland vorgeschrieben. Andererseits kann ein Vorenthalten der invasiven Koronardiagnostik zum Übersehen behandelbarer, potenziell lebensbedrohlicher Befunde führen. Die Indikationsstellung darf daher auch nicht von falscher Zurückhaltung geprägt sein.

Die invasive Koronarangiographie bildet die Grundlage für die interventionelle oder operative Revaskularisation. Von Ausnahmen abgesehen, bedingt der Nachweis von Koronarstenosen alleine aber noch keine Indikation zur Revaskularisation. Entscheidungen zur Revaskularisation können prognostisch oder symptomatisch begründet sein, und neben der individuellen Koronarmorphologie müssen sie zwingend Informationen über die Symptomatik des Patienten, das Vorliegen einer Ischämie und die Myokardvitalität be-

**Tab. 1** Komponenten der invasiven Koronaragnostik

Morphologische Diagnostik
Invasive Koronarangiographie
Intravaskulärer Ultraschall (IVUS)
„Optical coherence tomography“ (OCT)
Funktionelle Diagnostik
Druckdrahtmessung zur Bestimmung der fraktionellen Flussreserve (FFR)
Provokationstest von Koronarspasmen

**Tab. 2** Charakteristika der Angina Pectoris [4]

Typische Angina Pectoris	Erfüllt alle 3 der folgenden Bedingungen: Retrosternaler Brustdruck charakteristischer Qualität und Dauer Hervorgerufen durch körperliche Anstrengung oder emotionale Belastung Gebessert durch Ruhe und/oder Nitrate innerhalb von Minuten
Atypische Angina Pectoris	Erfüllt 2 der oben genannten Bedingungen
Nicht-anginöser Brustschmerz	Erfüllt keine oder nur eine der oben genannten Bedingungen

**Tab. 3** Canadian Cardiovascular Society (CCS): Stadieneinteilung der stabilen Angina Pectoris

Stadium	Definition
CCS I	Keine Einschränkung der normalen körperlichen Aktivität Angina Pectoris nur bei starken, schnellen oder anhaltenden Belastungen
CCS II	Leichte Einschränkung der normalen körperlichen Aktivität Angina Pectoris beim Gehen oder Treppensteigen mit erhöhter Geschwindigkeit oder nach Mahlzeiten Angina Pectoris bei Gehen von mehr als 100 m oder Treppensteigen von mehr als 1 Etage in normaler Geschwindigkeit, beim Bergaufgehen, Gehen in der Kälte und während emotionalem Stress
CCS III	Deutliche Einschränkung der normalen körperlichen Aktivität Angina Pectoris bei Gehen von weniger als 100 m oder nach Treppensteigen von 1 Etage in normaler Geschwindigkeit
CCS IV	Angina Pectoris bei jeder körperlichen Belastung oder bereits in Ruhe

**Tab. 4** Hochrisikopatienten auf der Basis nichtinvasiver Untersuchungsverfahren [4]

Belastungs-EKG	ST-Streckensenkung und/oder schwere Angina Pectoris unter Belastung
Ruheecho-kardiographie	Stark reduzierte systolische Funktion des linken Ventrikels (EF < 35 %) in Ruhe
Stressecho-kardiographie	Stark reduzierte systolische Funktion des linken Ventrikels (EF < 35 %) in Ruhe oder unter Belastung Wandbewegungsstörungen in ≥3 Segmenten unter Niedrigdosis-Dobutamin (10 µg/kg/min) oder bei niedriger Herzfrequenz (< 120/min) Ausgedehnte Ischämie (> 10 % des linken Ventrikels)
Myokardszintigramm	Belastungsinduziert großer Perfusionsdefekt (v. a. anterior) oder mehrere mäßig große Perfusionsdefekte (> 10 % des linken Ventrikels) Belastungsinduziert mäßig großer Perfusionsdefekt mit Dilatation des linken Ventrikels oder vermehrter Lungenaufnahme Großer fixierter Perfusionsdefekt im Tl <sup>201</sup> -Myokardszintigramm mit Dilatation des linken Ventrikels oder vermehrter Lungenaufnahme
Magnetresonanztomographie (MRT)	Ausgedehnte Ischämie (> 10 % des linken Ventrikels oder ≥2 Segmente in der Perfusions-MRT bzw. ≥3 Segmente mit Wandbewegungsstörungen in der Dobutamin-Stress-MRT)
Computertomographie	Hochrisikoanatomie (proximale 3-Gefäß-Erkrankung, Hauptstammstenose, Einbeziehung des proximalen Ramus interventricularis anterior)

rücksichtigen. Zusätzlich ist das Risiko der Revaskularisation gegenüber dem zu erwartenden Nutzen abzuwägen.

Insgesamt erfordert die invasive Koronaragnostik und Revaskularisation – mit einer Anzahl von 764.623 Eingriffen in Deutschland im Jahr 2015

allein im stationären Bereich außerordentlich häufig durchgeführt [3] – daher eine sorgfältige Indikationsstellung, die auf den Ergebnissen klinischer Studien beruht. In zahlreichen wissenschaftlich begründeten Leitlinien werden die Indikationen zur invasiven Koronardi-

agnostik und zur Revaskularisation für einzelne Krankheitsbilder erläutert. Eine zusammenfassende Darstellung klinischer Indikationen zur diagnostischen Koronarangiographie und Revaskularisation existiert allerdings nicht. Aus diesem Grund wurde dieses Positionspapier erstellt. Grundlage bilden die aktuell gültigen Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC) sowie die zugehörigen Kommentare, Stellungnahmen und Positionspapiere der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung.

## 2. Indikationen zur Herzkatheteruntersuchung und Revaskularisation

### 2.1. Stabile koronare Herzerkrankung

Leitsymptom der koronaren Herzerkrankung ist die Angina Pectoris. Eine typische Angina Pectoris ist gekennzeichnet durch reproduzierbare, mit gleicher Intensität auftretende, anfallsartige thorakale, meist retrosternale Schmerzen, Enge oder Druckgefühl, teilweise verbunden mit Luftnot oder Angst. Die Schmerzen können in beide Arme, den Hals, den Unterkiefer, den Rücken oder den Oberbauch ausstrahlen und werden durch körperliche oder psychische Belastung, Kälte oder Windexposition ausgelöst. Die Schmerzen dauern in der Regel wenige Minuten an und bessern sich durch Ruhe oder Nitroglyzeringabe. Als „atypische Angina Pectoris“ bezeichnet man Beschwerden, die ebenfalls reproduzierbar und anfallsartig mit gleicher Intensität unter körperlicher oder psychischer Belastung, Kälte oder Windexposition auftreten.

Sie können aber einen anderen Charakter sowie eine andere Lokalisation aufweisen, in andere Körperregionen als oben beschrieben oder überhaupt nicht ausstrahlen. Ein nicht-anginöser Brustschmerz liegt vor, wenn die Beschwerden sich nicht durch körperliche oder psychische Belastung, Kälte oder Windexposition reproduzieren lassen oder wenn sie bewegungsabhängig sind (▣ Tab. 2). Hiervon abzugrenzen ist die instabile Angina Pectoris in Ruhe, die meist den gleichen Schmerzcharakter aufweist wie die typische Angina Pectoris. Ein großes Problem bei der Erhebung der Symptomatik eines Patienten sind die große Schwankungsbreite der individuellen Ausprägung und Schmerztoleranz sowie die oft deutlich geringere oder sogar fehlende Symptomatik bei langjährigen Diabetikern mit Neuropathie. Eine häufig verwendete Einteilung des Schweregrades der Angina Pectoris ist die Klassifikation der Canadian Cardiovascular Society (▣ Tab. 3).

### 2.1.1. Indikationen zur invasiven Diagnostik

Der Verdacht auf das Vorliegen einer stabilen koronaren Herzerkrankung begründet sich aus der Symptomatik des Patienten sowie aus den Ergebnissen nichtinvasiver Untersuchungen. Zu diesen gehört der Nachweis von regionalen Wandbewegungsstörungen, der Nachweis einer Ischämie oder der Nachweis von Koronararterienstenosen in der Computertomographie (CT, siehe auch ▣ Abb. 1; ▣ Tab. 4). Die entsprechenden Leitlinien der ESC [4, 5] fordern zunächst eine klinische Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Vorliegens relevanter Koronarstenosen auf der Basis von Alter, Geschlecht und Symptomen (▣ Abb. 1)<sup>1</sup>.

Liegt eine Wahrscheinlichkeit unter 15 % vor, wird zunächst keine weitere Diagnostik empfohlen. Liegt die Wahrscheinlichkeit zwischen 15 und 85 %, so ist eine nichtinvasive Diagnostik vorzunehmen. Liegt die Wahrscheinlichkeit über 85 %, so wird direkt die

<sup>1</sup> Durch den Nachweis von Wandbewegungsstörungen in der Echokardiographie wird die Wahrscheinlichkeit modifiziert.

Kardiologie DOI 10.1007/s12181-017-0156-y

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH - all rights reserved 2017

S. Achenbach · C. Naber · B. Levenson · A. Böning · V. Schächinger

## Indikationen zur invasiven Koronardiagnostik und Revaskularisation

### Zusammenfassung

Die invasive Koronardiagnostik – die neben der Koronarangiographie auch die intravaskuläre Bildgebung und die Bestimmung der fraktionellen Flussreserve umfasst – und die perkutane oder chirurgische Revaskularisation sind effektive Maßnahmen zur Diagnostik und Therapie der koronaren Herzerkrankung. Eine sorgfältige Indikationsstellung ist angesichts des prozeduralen Aufwands und des potenziellen Komplikationsrisikos unerlässlich. Gleichzeitig hängt die Indikationsstellung zur Koronarangiographie und zur Revaskularisation von der individuellen klinischen Situation des Patienten ab und bedarf, insbesondere bei stabiler klinischer Situation, der umfassenden Berücksichtigung von Symptomatik, der

Befunde nichtinvasiver Untersuchungen und von Begleiterkrankungen. Im vorliegenden Positionspapier werden Empfehlungen für die Indikationsstellung zur invasiven Koronardiagnostik und zur koronaren Revaskularisation zusammenfassend dargestellt. Grundlagen sind, wo immer möglich, die entsprechenden Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC), die von der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung übernommen wurden.

### Schlüsselwörter

Koronarangiographie · Koronare Herzerkrankung · Revaskularisation · Indikationen · Leitlinien

## Indications for invasive diagnostic coronary procedures and revascularization

### Abstract

Invasive diagnostic coronary procedures – which in addition to invasive angiography also include intracoronary imaging and measurement of the fractional flow reserve (FFR) – as well as interventional and surgical coronary revascularization are effective measures for the diagnostic workup and treatment of patients with coronary artery disease. Nevertheless, they are invasive procedures with corresponding cost and effort, and a nonnegligible complication rate. Hence, the indication to perform invasive coronary diagnostic procedures and revascularization must be made under careful consideration of the patient's clinical situation, the results of noninvasive testing, and comorbidities, particularly in patients

with known or suspected stable coronary artery disease, rather than unstable patients or those with acute coronary syndromes. In this position statement, clinical indications for invasive diagnostic coronary procedures and for coronary revascularization are summarized, taking into account, wherever possible, respective Clinical Practice Guidelines published by the European Society of Cardiology and endorsed by the German Cardiac Society.

### Keywords

Coronary angiography · Coronary artery disease · Revascularization · Indications · Guidelines

invasive Diagnostik empfohlen (Koronarangiographie mit der Möglichkeit zur FFR), ebenso im Falle sehr typischer und im Alltag ausgeprägter Angina-Pectoris-Beschwerden (zumindest Klasse CCS 3, also gehen in der Ebene oder bei langsamem Treppensteigen 1 Etage). Es ist allerdings anzumerken, dass die Abschätzung der klinischen Vor-testwahrscheinlichkeit subjektiv ist und eine Reihe von Limitationen aufweist,

insbesondere die Klassifizierung von Beschwerden als „typisch“ oder „atypisch“ und die Einbeziehung von zusätzlichen Befunden wie das Vorliegen regionaler Wandbewegungsstörungen [6].

Ebenso wird die invasive Diagnostik empfohlen, wenn nichtinvasive Untersuchungsbefunde auf eine prognostisch relevante Ischämie hinweisen, insbesondere wenn die Symptomatik nicht medikamentös zu beherrschen ist. Eine

Alter	Typische Angina Pectoris (CCS I-II)*		Atypische Angina Pectoris		Nicht-anginöser Brustschmerz	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen
30–39 Jahre	59%	28%	29%	10%	18%	5%
40–49 Jahre	69%	37%	38%	14%	25%	8%
50–59 Jahre	77%	47%	49%	20%	34%	12%
60–69 Jahre	84%	58%	59%	28%	44%	17%
70–79 Jahre	89%	68%	69%	37%	54%	24%
≥ 80 Jahre	93%	76%	78%	47%	65%	32%

**Abb. 1** ▲ Prä-Test-Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer signifikanten koronaren Herzerkrankung in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, und Beschwerdesymptomatik (nach [4]). Prä-Test-Wahrscheinlichkeit < 15% (*grün*) = keine weitere Diagnostik; 15–85% (*gelb*) = weitere nichtinvasive Diagnostik; > 85% (*rot*) = Koronarangiographie mit der Möglichkeit zur FFR. \* Bei typischer Angina Pectoris ≥ CCS III wird ebenfalls die Koronarangiographie mit der Möglichkeit zur FFR als nächster diagnostischer Schritt empfohlen. Eine Koronarangiographie mit der Möglichkeit zur FFR wird auch empfohlen bei Vorliegen eines nichtinvasiven Nachweises von einer Ischämie in ≥10% des Myokards

prognostisch relevante Ischämie wird angenommen, wenn 10 % des linksventrikulären Myokards oder mehr von der Ischämie betroffen sind. Bei widersprüchlichen Befunden mehrerer nichtinvasiver Untersuchungsverfahren wird empfohlen, eine invasive Diagnostik zu erwägen. Wurde als nichtinvasives Untersuchungsverfahren die CT-Angiographie eingesetzt, so weisen die ESC-Leitlinien darauf hin, dass eine mögliche Überschätzung des Stenosegrades insbesondere bei verkalkten Gefäßsegmenten zu berücksichtigen sei und dass vor der invasiven Diagnostik zunächst ein Ischämienachweis erwogen werden sollte (▣ Tab. 5).

Bei Patienten mit bereits bekannter KHK und Zustand nach Revaskularisation wird das routinemäßige Durchführen einer „Kontrollangiographie“ ohne klinische oder nichtinvasive Befunde, die auf eine erneute Ischämie- verursachende Stenose hinweisen, in der Regel nicht empfohlen. Nur nach Hochrisiko-PCI (z. B. linker Hauptstamm) kann unabhängig vom Symptomstatus eine Kontrollangiographie nach 3 bis 12 Monaten erwogen werden [4].

Seltene Indikationen zur invasiven Koronarangiographie umfassen unter anderem die Kontrolle nach Herztransplantation und ggf. die unter Umständen

erforderliche Risikoabschätzung bei Patienten mit Hochrisikoberufen und anders nicht zu klärendem klinischem Verdacht auf das Vorliegen von Koronarstenosen.

**Patienten mit Verdacht auf stabile koronare Herzerkrankung und eingeschränkter linksventrikulärer Funktion.** Bei Patienten mit typischer Angina Pectoris, bei denen erstmals eine eingeschränkte linksventrikuläre Funktion (EF < 50 %) ohne erkennbare, unmittelbare Ursache (z. B. Tachymyopathie bei tachykardem Vorhofflimmern) diagnostiziert wird, wird die Durchführung einer Koronarangiographie empfohlen [4]. Dies gilt allerdings nur für Patienten, bei denen der klinische Zustand grundsätzlich eine koronare Revaskularisation erlaubt. Liegt bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion der nichtinvasive Nachweis einer reversiblen Belastungsischämie vor, sollte ebenfalls eine Koronarangiographie erfolgen.

Bei avitalem Myokard ist theoretisch kein Nutzen einer interventionellen oder operativen Revaskularisation zu erwarten. Der Wert diagnostischer Verfahren zur Bestimmung der Vitalität wurde allerdings durch die STICH-Studie infrage gestellt, bei der das Ergebnis einer Vitalitätsdiagnostik das Outcome der chirurgischen Revaskularisation im Vergleich zur medikamentösen Behandlung bei fortgeschrittener Herzinsuffizienz nicht beeinflusste [5, 7, 8]. Für die Indikation zur

invasiven Diagnostik ist daher das Ergebnis einer evtl. Vitalitätsdiagnostik nur im Kontext mit anderen Entscheidungskriterien zu werten.

**Koronarangiographie bei Verdacht auf eine vasospastische Angina Pectoris.**

Eine vasospastische Angina Pectoris muss vermutet werden, wenn typische Angina Pectoris v. a. in Ruhe auftritt und kein akutes, thrombotisches Ereignis vorliegt. Die nicht selten heftigen Schmerzen sind meist von kurzer Dauer (0,5–5 min) und können gehäuft innerhalb von 20–30 min auftreten, oft am frühen Morgen oder nachts. Die Beschwerden sprechen unmittelbar auf orale bzw. sublinguale Nitratgaben an. Während die meisten Patienten sich gut belasten können, treten die Beschwerden bei ca. 25 % der Patienten auch unter Belastung auf. Falls transiente ST-Strecken-Hebungen auftreten, ist die Diagnose leicht zu sichern. In der nichtinvasiven oder invasiven Diagnostik finden sich keine Hinweise auf relevante Koronarstenosen.

Intrakoronare Gaben von Ergonovin bzw. Acetylcholin können zur direkten Provokation von Koronarstenosen genutzt werden, aber auch die intravenöse Gabe von Ergonovin unter EKG-Kontrolle zur Dokumentation von ST-Strecken-Hebungen ist diagnostisch beweisend.

**Tab. 5** Indikationen zur invasiven Koronardiagnostik gemäß den ESC-Leitlinien zur stabilen koronaren Herzerkrankung von 2013 [4]

	ESC-Leitlinienempfehlung		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
Patienten mit schwerer typischer stabiler Angina Pectoris (CCS 3, also bereits bei geringer Belastung) oder mit hoher klinischer Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen von Koronarstenosen gemäß <b>Tab. 2</b> (> 85 %), insbesondere wenn die Symptome nicht adäquat durch Medikation zu behandeln sind <sup>a</sup>	I	C	[4]
Patienten, bei denen die nichtinvasive Diagnostik ein hohes Risiko nachweist (in der Regel Ischämie > 10 % des linken Ventrikels), auch wenn die Symptome durch Medikation beherrscht werden können <sup>a</sup>	I	C	[4]
Patienten mit widersprüchlichen Befunden der nichtinvasiven Diagnostik <sup>a</sup>	IIa	C	[4]
Patienten mit Hochrisikoanatomie in der CT-Angiographie, wobei eine mögliche Überschätzung des Stenosegrades insbesondere bei verkalkten Gefäßsegmenten zu berücksichtigen ist und ggf. eine nichtinvasive Ischämiediagnostik vorgeschaltet sein sollte	IIa	C	[4]
Nach Hochrisiko-PCI (z. B. Hauptstammstenose) kann eine Kontrollangiographie nach 3 bis 12 Monaten unabhängig vom Symptomstatus erwogen werden	IIb	C	[4]
Eine systematische Kontrollangiographie nach PCI wird nicht empfohlen	III	C	[4]

<sup>a</sup>Koronarangiographie mit der Möglichkeit zur FFR-Messung

**Tab. 6** Indikationen zur Koronarrevaskularisation bei stabiler koronarer Herzerkrankung gemäß den ESC-Leitlinien zur myokardialen Revaskularisation von 2014 [5]

Befund der invasiven Koronardiagnostik		ESC-Leitlinienempfehlung		
		Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
Revaskularisation aus prognostischen Gründen	Hauptstammstenose oder Stenose des proximalen R. interventricularis anterior > 50 % <sup>a</sup>	I	A	[4]
	Stenosen > 50 % <sup>a</sup> in 2 oder 3 Koronararterien bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion (Auswurffraktion < 40 %)	I	A	[4]
	Stenose > 50 % <sup>a</sup> in einem letzten verbleibenden Koronargefäß	I	C	[4]
	Stenose, die eine Ischämie von zumindest 10 % des linken Ventrikels verursacht	I	B	[4]
Revaskularisation zur Behandlung von Symptomen	Jede Koronarstenose > 50 % <sup>a</sup> , die durch medikamentöse Therapie nicht zu beherrschende Symptome verursacht	I	A	[4]

<sup>a</sup>Bei Stenosen zwischen 50 % und 90 % ist ein läsionsspezifischer nichtinvasiver Ischämienachweis oder eine FFR ≤ 0,80 zu fordern

### 2.1.2. Indikationen zur Revaskularisation

Die Revaskularisation bei Patienten mit stabiler koronarer Herzerkrankung dient der Verbesserung der Prognose oder der Linderung von Symptomen, falls diese nicht medikamentös kontrolliert werden können (**Tab. 6**). Die Revaskularisation muss dabei immer von einer medikamentösen Therapie begleitet sein. Sie kann durch aortokoronare Bypassoperation oder PCI erfolgen [4], auf die Differenzialindikation zwischen diesen beiden Verfahren wird hier nicht eingegangen.

Aus *prognostischen Gründen* ist die Revaskularisation indiziert, wenn im linken Hauptstamm, im proximalen R. interventricularis anterior oder in einem „last remaining vessel“ eine Stenose > 50 % vorliegt. Zudem ist die Revasku-

larisation indiziert, wenn 2 oder mehr Koronargefäße eine Stenose > 50 % aufweisen und die linksventrikuläre Ejektionsfraktion < 40 % beträgt. In all diesen Fällen ist aber zu fordern, dass für Stenosen zwischen 50 und 90 % angiographischer Diameterreduktion entweder ein läsionsspezifischer nichtinvasiver Ischämienachweis vorliegt oder die invasiv gemessene FFR ≤ 0,80 beträgt. Eine Revaskularisation aus prognostischen Gründen ist weiterhin für alle Läsionen indiziert, die eine Ischämie von 10 % oder mehr des linken Ventrikels verursachen [4, 9].

Aus *symptomatischen Gründen* ist die Revaskularisation von Stenosen > 50 % indiziert, die medikamentös nicht beherrschbare Symptome verursachen. Auch hier ist gefordert, dass für Stenosen zwischen 50 und 90 % angiographi-

scher Diameterreduktion entweder ein läsionsspezifischer nichtinvasiver Ischämienachweis vorliegt oder die invasiv gemessene FFR ≤ 0,80 beträgt.

Die obigen Ausführungen schließen auch chronisch verschlossene Koronargefäße mit ein. Voraussetzung allerdings ist hierbei, dass Vitalität des abhängigen Myokards gegeben ist. Chronisch verschlossene Koronargefäße dürfen bei der Indikation zur Revaskularisation nicht vernachlässigt werden. Bei Mehrgefäßerkrankung mit Vorliegen eines chronischen Gefäßverschlusses ist die komplette Revaskularisation anzustreben, falls die chronisch verschlossenen Gefäße die oben genannten Voraussetzungen erfüllen. Dies muss bei der Wahl des Revaskularisationsverfahrens (Bypassoperation vs. PCI) berücksichtigt werden.

**Tab. 7** Indikationen zur invasiven Diagnostik bei akutem Koronarsyndrom

	ESC-Leitlinienempfehlung		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	ESC-Leitlinie
<i>ST-Hebungsinfarkt innerhalb 12 h nach Symptombeginn</i>			
Sofortige Koronarangiographie mit dem Ziel der Revaskularisation	I	A	[10]
<i>ST-Hebungsinfarkt &gt; 12 h nach Symptombeginn</i>			
Sofortige Koronarangiographie bei Zeichen anhaltender Ischämie	I	C	[10]
Sofortige Koronarangiographie bei hämodynamisch stabilen Patienten 12–24 h nach Symptombeginn	IIb	B	[10]
<i>Akutes Koronarsyndrom ohne ST-Hebung</i>			
Koronarangiographie innerhalb 2 h bei Vorliegen von Kriterien sehr hohen Risikos wie	I	C	[11]
– Hämodynamische Instabilität			
– Anhaltender oder wiederkehrender Thoraxschmerz unter medikamentöser Therapie			
– Lebensbedrohliche Arrhythmien oder Kreislaufstillstand			
– Mechanische Infarktkomplikationen			
– Akute Herzinsuffizienz mit ST-Strecken-Veränderungen oder Angina Pectoris			
– Dynamische ST/T-Strecken-Veränderungen, insbesondere bei intermittierender ST-Strecken-Hebung			
Koronarangiographie innerhalb 24 h bei Vorliegen von Kriterien hohen Risikos wie	I	A	[11]
– Anstieg oder Abfall des Troponins vereinbar mit Myokardinfarkt			
– Dynamische ST-T-Veränderungen (auch wenn asymptomatisch)			
– GRACE Risk Score > 140			
Koronarangiographie innerhalb 72 h bei Vorliegen von zumindest einem Kriterium intermediären Risikos wie	I	A	[11]
– Diabetes mellitus			
– Eingeschränkter Nierenfunktion (GFR < 60 ml/min/1,73 m <sup>2</sup> )			
– Linksventrikuläre Auswurffraktion < 40 % oder kardiale Dekompensation			
– Frühe Postinfarktangina			
– Kürzlich zurückliegende Koronarintervention (PCI)			
– Zurückliegende aortokoronare Bypassoperation			
– GRACE Risk Score 110–139			
– Rezidivierende Angina Pectoris			
– Nachweis myokardialer Ischämie in der nichtinvasiven Diagnostik			
Bei Patienten ohne Kriterien zumindest intermediären Risikos und ohne wiederkehrende Symptome sollte die Entscheidung zur invasiven Diagnostik nach nichtinvasivem Ischämienachweis erfolgen	I	A	[11]

## 2.2. Akutes Koronarsyndrom

### 2.2.1. Indikationen zur invasiven Diagnostik

Beim akuten ST-Hebungsinfarkt ist ohne weitere Diagnostik die sofortige invasive Koronarangiographie mit dem Ziel der PCI indiziert. Ab dem ersten medizinischen Kontakt („first medical contact“, FMC) sollte die PCI innerhalb 90 min erfolgen. Dies betrifft alle Patienten innerhalb von 12 h nach Symptombeginn und Patienten mit Zeichen der anhaltenden Ischämie, auch wenn der Symptombeginn mehr als 12 h zurückliegt. Bei beschwerdefreien Patienten kann im Zeitraum 12–24 h nach Symptombeginn eine invasive Diagnostik mit dem Ziel der Revaskularisation erwogen werden [10].

Nicht in den Leitlinien explizit erwähnt, aber als äquivalent zum ST-Hebungsinfarkt zu interpretieren sind Patienten mit dem klinischen Bild eines akuten strikt posterioren Infarktes (spiegelbildliche ST-Senkung und T-Negativierung in den Ableitungen v<sub>1</sub>–v<sub>3</sub> im Zusammenhang mit typischen Symptomen) sowie Patienten mit typischer Symptomatik und einem neu aufgetretenen kompletten Linksschenkelblock.

Bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz ohne ST-Hebung richtet sich die Indikation zur invasiven Koronarangiographie nach den weiteren erhobenen Befunden [11]. Eine sofortige invasive Diagnostik mit dem Ziel der Revaskularisation ist indiziert bei Vorliegen klinischen Hochrisikokriterien wie hämodynamischer Instabilität, lebensbedrohlichen Arrhythmien, anhaltendem ischämischem Thoraxschmerz, Herzinsuffizienz mit Angina Pectoris-Beschwerden und begleitenden EKG-Veränderungen, die auf eine akute Ischämie hinweisen, sowie beim Vorliegen dynamischer ischämietypischer EKG-Veränderungen (■ Tab. 7). Eine Koronarangiographie innerhalb 24 h oder weniger ist indiziert bei typischem Anstieg des Troponins und bei einem GRACE-Score > 140. Schließlich ist eine invasive Diagnostik innerhalb 72 h bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz und intermediärem Risiko indiziert, dies umfasst Patienten mit Diabetes

**Tab. 8** Empfehlungen zur Revaskularisation im akuten Koronarsyndrom. (Nach [5, 10])

	ESC-Leitlinienempfehlung		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	ESC-Leitlinie
<i>ST-Hebungsinfarkt</i>			
Sofortige Revaskularisation der „culprit lesion“ ist indiziert	I	A	[10]
Eine primäre PCI sollte auf die „culprit lesion“ beschränkt sein, abgesehen von Patienten im kardiogenen Schock und bei persistierender Ischämie nach Revaskularisation der angenommenen „culprit lesion“	Ila	B	[10]
Die Revaskularisation verbleibender hochgradiger Stenosen nach primärer PCI sollte bei Patienten mit Mehrgefäßerkrankung und verbleibenden Symptomen oder mit einem positiven Ischämienachweis in einem Intervall von Tagen oder Wochen nach dem akuten Ereignis erfolgen	Ila	B	[10]
Bei ausgewählten Patienten kann die Revaskularisation weiterer hochgradiger Stenosen im selben Eingriff wie die primäre PCI der „culprit lesion“ erwogen werden	Ilb	–	[10]
<i>Akutes Koronarsyndrom ohne ST-Hebung (NSTEMI-ACS)</i>			
Revaskularisation der „culprit lesion“ bei Patienten mit sehr hohem, hohem oder intermediärem klinischem Risiko	–	–	–
Bei Patienten mit Mehrgefäßerkrankung und NSTEMI-ACS sollte die Entscheidung über die Revaskularisationsstrategie weiterer Läsionen individuell gefällt werden unter Berücksichtigung des klinischen Status, der Koronar Anatomie und evtl. Begleiterkrankungen	I	C	[11]

**Tab. 9** Empfehlungen zur invasiven Koronardiagnostik bei Patienten mit Arrhythmien

	ESC-Leitlinienempfehlungen		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
<i>Patienten mit potenziell lebensbedrohlichen ventrikulären Rhythmusstörungen</i>			
Eine invasive Koronardiagnostik sollte bei Patienten erwogen werden, die lebensbedrohlich ventrikuläre Rhythmusstörungen aufweisen, wenn sie nach Symptomatik und Alter ein zumindest intermediäres Risiko für KHK aufweisen	Ila	C	[13]
<i>Patienten mit überlebtem plötzlichem Herztod</i>			
Bei Vorliegen von ST-Hebungen im EKG vor oder nach Reanimation Vorgehen analog der Leitlinien zum ST-Hebungsinfarkt mit sofortiger invasiver Koronardiagnostik	I	A	[10, 13]
Bei klinischem Bild des akuten Koronarsyndroms ohne ST-Hebung dringliche (< 2 h) invasive Koronardiagnostik	I	C	[10, 13]
Eine invasive Koronardiagnostik soll nach Ausschluss nichtkoronarer und nichtkardialer Ursachen eines überlebten plötzlichen Herztodes erwogen werden, wenn sich aus dem EKG und dem klinischen Bild keine Hinweise auf ein akutes Koronarsyndrom ergeben, insbesondere bei hämodynamischer Instabilität	Ila	C	[13]
<i>Ventrikuläre Arrhythmien bei reduzierter linksventrikulärer Funktion</i>			
Bei Patienten mit stabiler dilatativer Kardiomyopathie und neu auftretenden ventrikulären Arrhythmien sowie zumindest intermediärem Risiko für KHK ist eine invasive Koronardiagnostik indiziert	I	B	[13]
<i>Adäquate Schockabgabe eines ICD bei ischämischer Kardiomyopathie</i>			
Eine invasive Koronardiagnostik sollte bei Patienten mit bekannter ischämischer Kardiomyopathie erwogen werden, die eine adäquate ICD-Schockabgabe erleiden	–	–	–
<i>Patienten mit Vorhofflimmern</i>			
Invasive Koronardiagnostik im Falle eines positiven Ischämienachweises oder bei persistierend reduzierter linksventrikulärer Funktion	–	–	[15]

oder Niereninsuffizienz, einer linksventrikulären Ejektionsfraktion < 40 % oder mit klinischer Herzinsuffizienz, Patienten mit Postinfarktangiina, Patienten mit kürzlicher PCI oder zurückliegender Bypassoperation und Patienten mit einem GRACE-Score 109–140. Liegen keine der genannten Kriterien vor, ist eine

invasive Diagnostik nur nach positivem Ischämienachweis indiziert [11].

### 2.2.2. Indikationen zur Revaskularisation

Im Vordergrund steht beim akuten Koronarsyndrom die unmittelbare Revaskularisation der „culprit lesion“ (■ Tab. 8). Die Datenlage zur Frage, ob auch weite-

re Stenosen revaskularisiert werden sollen, ist nicht einheitlich. Die Entscheidung zu deren sofortiger Revaskularisation muss daher in individueller Abwägung der Patientencharakteristika erfolgen. Insbesondere bei einer Revaskularisation im längeren Intervall ist ein Ischämienachweis zu fordern. Der Stellenwert der FFR-Messung zur Entscheidung über

die Revaskularisation im akuten Koronarsyndrom ist ebenfalls nicht eindeutig geklärt. Bei Patienten mit ST-Hebungsinfarkt sind FFR-Messungen in der Regel nicht sinnvoll, ebenso bei thrombusbeladenen Läsionen im akuten Koronarsyndrom ohne ST-Hebung, da von einer Störung der Mikrozirkulation ausgegangen werden muss, welche die Aussagekraft der FFR einschränkt [12]. Für Nicht-Culprit-Läsionen im akuten Koronarsyndrom ohne ST-Hebung (NSTEMI/ACS) scheint die im Rahmen der Akutangiographie durchgeführte FFR-Messung jedoch aussagekräftig zu sein und kann somit helfen zu entscheiden, ob neben der „culprit lesion“ weitere Stenosen (ad hoc oder im Intervall) revaskularisiert werden sollten.

### 2.3. Rhythmusstörungen und Kreislaufstillstand/Reanimation

#### 2.3.1. Indikationen zur invasiven Diagnostik

Ventrikuläre Rhythmusstörungen können durch myokardiale Ischämie bedingt sein. Bei Patienten mit potenziell lebensbedrohlichen ventrikulären Rhythmusstörungen kann insbesondere bei Vorliegen einer erhöhten Prä-Test-Wahrscheinlichkeit für koronare Herzkrankung eine invasive Koronarangiographie gerechtfertigt sein, auch wenn üblicherweise zunächst eine nichtinvasive Ischämiediagnostik erfolgen sollte.

Zeigen sich bei Patienten mit Kreislaufstillstand durch ventrikuläre Rhythmusstörungen und überlebtem plötzlichem Herztod im EKG vor oder nach Reanimation ST-Hebungen, so ist das Vorgehen analog der Empfehlungen zum ST-Hebungsinfarkt indiziert [10, 13]. Bestehen EKG-Veränderungen, die ein akutes Koronarsyndrom ohne ST-Hebung nahelegen, so ist analog der Leitlinien zum akuten Koronarsyndrom ohne ST-Hebung ein dringliche invasive Koronarangiagnostik (<2 h und nach Möglichkeit früher) indiziert [11, 13]. Dies schließt hämodynamisch instabile Patienten nach Reanimation ein, die sofort einer invasiven Koronarangiagnostik zugeführt werden sollten (Tab. 9). Bei allen anderen Patienten mit Kreislaufstillstand durch ventrikulä-

re Rhythmusstörungen und überlebtem plötzlichem Herztod sollten zunächst nichtkoronare und nichtkardiale Ursachen unmittelbar ausgeschlossen werden (z. B. Perikardtamponade). Finden sich solche Ursachen nicht, sollte eine invasive Koronarangiagnostik durchgeführt werden [13], insbesondere bei Patienten mit hämodynamischer Instabilität [14]. Nach Meinung der Autoren sollte bei Patienten nach prähospitaler Reanimation bei Kreislaufstillstand ohne Befunde, die eine sofortige Koronarangiagnostik erfordern, insbesondere eine zerebrale Computertomographie vor der Koronarangiographie erwogen werden. Zum einen ist eine intrakranielle Blutung mögliche Ursache von Bewusstseinsverlust und Kreislaufstillstand. Zum anderen stellt eine sturzbedingte intrakranielle Blutung ggf. eine zumindest relative Kontraindikation zur Revaskularisation mit Stentimplantation dar.

Bei Patienten mit eingeschränkter systolischer Ventrikelfunktion und neu auftretenden ventrikulären Rhythmusstörungen sollte eine invasive Koronarangiagnostik erfolgen, falls ein zumindest intermediäres Risiko für KHK besteht [13].

Bei Patienten mit bekannter ischämischer Kardiomyopathie, die ventrikuläre Rhythmusstörungen erleiden, insbesondere auch bei ICD-Trägern nach einer oder mehreren adäquaten Schockabgaben, ist nach Meinung der Autoren die Indikation zur invasiven Diagnostik großzügig zu stellen.

Bei Patienten mit supraventrikulären Arrhythmien, insbesondere Vorhofflimmern, ist eine invasive Koronarangiagnostik indiziert, falls ein nichtinvasiver Ischämienachweis oder eine persistierend reduzierte systolische linksventrikuläre Funktion vorliegt [15].

#### 2.3.2. Indikationen zur Revaskularisation

Die Indikation zur Revaskularisation unterscheidet sich nicht grundsätzlich von denen für die stabile KHK, den ST-Hebungsinfarkt und das akute Koronarsyndrom ohne ST-Hebungen. Im Einzelfall kann nach Meinung der Autoren eine Revaskularisation auch einer Koronarstenose mit relativ kleinem Versorgungsgebiet

erwogen werden, wenn davon ausgegangen wird, dass sie anhaltende ventrikuläre Rhythmusstörungen verursacht.

### 2.4. Herzerkrankungen mit eingeschränkter Ventrikelfunktion

#### 2.4.1. Indikationen zur invasiven Diagnostik

Eine koronare Herzerkrankung kann zur Herzinsuffizienz mit reduzierter systolischer LV-Funktion führen. Bei Patienten mit typischer Angina Pectoris und eingeschränkter LV-Funktion (EF < 50 %) ist eine invasive Koronarangiagnostik indiziert [4, 16], falls die Patienten hinsichtlich ihres Allgemeinzustands für eine Revaskularisation infrage kommen [16]. Ebenso ist eine invasive Koronarangiagnostik indiziert, falls sich bei Patienten mit eingeschränkter systolischer LV-Funktion anhaltende ventrikuläre Arrhythmien nachweisen lassen [13], falls ein Zustand nach erfolgreich durchbrochenem Kreislaufstillstand besteht [16] oder falls in der nichtinvasiven Diagnostik eine Ischämie nachgewiesen wird [16]. Nach Meinung der Autoren ist auch darüber hinaus bei hochgradig eingeschränkter linksventrikulärer Pumpfunktion (EF < 35 %), insbesondere bei regionalen Wandbewegungsstörungen, eine invasive Koronarangiagnostik zur erwägen. Wenn die Durchführung eines Ischämienachweises möglich ist, können die Ergebnisse dabei helfen, Revaskularisationsentscheidungen zu treffen (Tab. 10).

Patienten mit akuter Herzinsuffizienz und ventrikulären Arrhythmien oder Zeichen des akuten Koronarsyndroms sollten dringlich eine invasive Koronarangiagnostik erhalten.

#### 2.4.2. Indikationen zur Revaskularisation

Die Indikation zur Revaskularisation unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der für die stabile KHK, den ST-Hebungsinfarkt und das akute Koronarsyndrom ohne ST-Hebungen. Auf eine vollständige Revaskularisation ist zu achten. Abweichend von den sonstigen Empfehlungen kann bei akutem Koronarsyndrom mit akuter Herzinsuffizienz eine akut kom-



**Tab. 10** Empfehlungen zur invasiven Koronardiagnostik bei Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion

	ESC-Leitlinienempfehlungen		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
Eine invasive Koronardiagnostik wird bei Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion und Angina Pectoris trotz medikamentöser Therapie empfohlen, bei denen eine Koronarrevaskularisation möglich ist	I	C	[16]
Eine invasive Koronardiagnostik wird empfohlen, wenn bei Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion anhaltende ventrikuläre Rhythmusstörungen nachgewiesen werden sowie bei Zustand nach überlebtem Kreislaufstillstand	I	C	[13, 16]
Eine invasive Koronardiagnostik wird bei Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion empfohlen, bei denen nichtinvasive Untersuchungsverfahren eine Ischämie nachweisen und eine Koronarrevaskularisation möglich ist	II a	C	[16]
Eine invasive Koronardiagnostik ist zu erwägen bei Patienten mit hochgradig reduzierter linksventrikulärer Funktion, insbesondere bei regionalen Wandbewegungsstörungen	–	–	–
Patienten mit akut dekompensierter Herzinsuffizienz und Zeichen des akuten Koronarsyndroms sollten eine sofortige (kardiogener Schock) bzw. dringliche (< 2 h) invasive Koronardiagnostik mit dem Ziel der Revaskularisation erhalten	I	C	[11, 16]

**Tab. 11** Indikationen zur invasiven Koronardiagnostik bei Klappenvitien

	ESC-Leitlinienempfehlungen		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
Eine Koronarangiographie <sup>a</sup> ist vor der Klappenchirurgie empfohlen bei Patienten mit schwerer Herzklappenerkrankung und einem der folgenden Kriterien:	I	C	[5, 17]
– Bereits diagnostizierte KHK			
– Verdacht auf Myokardischämie <sup>b</sup>			
– Reduzierte systolische LV-Funktion			
– Männer über 40 Jahre und postmenopausale Frauen			
– mehr als 1 kardiovaskulärer Risikofaktor			
Eine Koronarangiographie ist bei der sekundären Mitralklappeninsuffizienz empfohlen	I	C	[5, 17]
Vor kathetergestütztem Aortenklappenersatz und vor kathetergestützter Therapie der Mitralklappeninsuffizienz sollte eine invasive Koronardiagnostik durchgeführt werden	–	–	–

<sup>a</sup>Gegebenenfalls durch CT-Koronarangiographie zu ersetzen bei niedriger Prä-Test-Wahrscheinlichkeit

<sup>b</sup>Angina Pectoris oder pathologischer Ischämienachweis

plette Revaskularisation (also nicht nur der „culprit lesion“) erwogen werden.

## 2.5. Klappenvitien

### 2.5.1. Indikationen zur invasiven Diagnostik

Bei Patienten mit Klappenvitien, die zur operativen Versorgung vorgesehen sind, ist die Indikation zur invasiven

Koronardiagnostik großzügig zu stellen [17]. Sie sollte durchgeführt werden bei allen Männern über 40 Jahren und postmenopausalen Frauen, bei klinischem Verdacht auf Myokardischämie, bei Vorliegen einer eingeschränkten Ventrikelfunktion und wenn ein oder mehr kardiovaskuläre Risikofaktoren vorliegen (■ Tab. 11). Zudem ist eine invasive Koronardiagnostik vor operativer Therapie einer sekundären Mitralklappeninsuffizienz indiziert [17]. Nutzen und Risiko sind abzuwägen, in seltenen Fällen ist nach klinischer Maßgabe auf die invasive Diagnostik zu verzichten, z. B. bei akuter Aortendissektion, bei großer endokarditischer Vegetation der Aortenklappe oder großen mobilen Thromben auf einer Aortenklappenprothese [17].

Vor kathetergestütztem Aortenklappenersatz und vor kathetergestützter Therapie der Mitralklappeninsuffizienz [18] sollte in der Regel eine invasive Koronardiagnostik durchgeführt werden.

### 2.5.2. Indikationen zur Revaskularisation

Im Rahmen der Operation eines Klappenvitiums sollten hochgradige Stenosen ( $\geq 70\%$ ) einer wesentlichen Koronararterie mit Bypass versorgt werden (■ Tab. 12). Bei Stenosen mit einer Diameterreduktion  $\geq 50\text{--}70\%$  sollte die Versorgung mit Bypass erwogen werden [5]. Vor TAVI oder kathetergestützter Therapie der Mitralklappeninsuffizienz wird die perkutane Revaskularisation hochgradiger proximaler Koronararterienstenosen empfohlen [5]. Dies muss aber im Einzelfall entschieden werden, da randomisierte Studien hierzu fehlen. Auch Studien zur Wertigkeit der FFR speziell bei Patienten mit operativ oder interventionell zu versorgenden Klappenvitien liegen nicht vor. Es kann jedoch analog zu anderen Patientengruppen davon ausgegangen werden, dass bei  $\text{FFR} > 0,80$  eine Revaskularisation nicht erforderlich ist.

## 2.6. Präoperative Diagnostik

### 2.6.1. Vor nichtkoronarer Herzoperation

**2.6.1.1. Indikationen zur invasiven Diagnostik** In der Regel ist nicht nur bei operativen Eingriffen an den Herz-

**Tab. 12** Indikationen zur Revaskularisation bei Klappenvitien

	ESC-Leitlinienempfehlungen		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
<i>Patienten mit Indikation zum operativen Klappenersatz</i>			
Bypass-Operation (ACB) ist empfohlen bei Patienten mit einer primären Indikation für eine Aorten- oder Mitralklappenoperation und einer Koronarstenose $\geq 70\%$ <sup>a</sup>	I	C	[5, 17]
Bypass-Operation (ACB) sollte in Erwägung gezogen werden bei Patienten mit einer primären Indikation für eine Aorten- oder Mitralklappenoperation und einer Koronarstenose $\geq 50-70\%$	Ila	C	[5, 17]
<i>Patienten vor kathetergestützter Therapie eines Aorten- oder Mitralklappenvitiums</i>			
Eine PCI sollte in Erwägung gezogen werden bei Patienten mit Indikation zur TAVI und einer Koronarstenose $> 70\%$ in proximalen Segmenten	Ila	C	[5]
Eine PCI sollte in Erwägung gezogen werden bei Patienten mit Indikation zur kathetergestützten Therapie einer Mitralklappeninsuffizienz und einer Koronarstenose $> 70\%$ in proximalen Segmenten	Ila	C	[5]

<sup>a</sup>50 % bei Stenose des linken Hauptstamms

**Tab. 13** Indikationen zur invasiven Koronardiagnostik vor nichtkardialen Operationen

	ESC-Leitlinienempfehlungen		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
Die Indikationen für eine präoperative Koronarangiographie und Revaskularisation sind den Indikationen einer nichtchirurgischen Situation ähnlich	I	C	[19]
Eine dringliche Angiographie wird empfohlen bei Patienten mit akutem ST-Strecken-Hebungs-Myokardinfarkt, die einer nichtdringlichen, nichtkardialen Operation bedürfen	I	A	[19]
Eine dringliche oder frühe Angiographie wird empfohlen bei Patienten mit akutem Nicht-ST-Strecken-Hebungs-Myokardinfarkt, die einer nichtdringlichen, nichtkardialen Operation bedürfen, entsprechend der Risikoeinschätzung	I	B	[19]
Eine präoperative Angiographie wird empfohlen bei Patienten mit nachgewiesener Myokardischämie und instabilem Brustschmerz (CCS-Grad III–IV) unter adäquater medikamentöser Therapie, die einer nichtdringlichen, nichtkardialen Operation bedürfen	I	C	[19]
Eine präoperative Angiographie kann bei stabilen Herzkranken erwogen werden, die sich einer nichtdringlichen Karotisendarterektomie unterziehen	Ilb	B	[19]
Eine präoperative Angiographie wird nicht empfohlen bei stabilen Herzkranken, die sich einer Niedrigrisikooperation unterziehen	III	C	[19]

klappen, sondern auch bei anderen nichtkoronaren Herzoperationen eine invasive Koronardiagnostik großzügig zu indizieren. Analog zu Patienten mit Klappenvitien sollte sie durchgeführt werden bei allen Männern über 40 Jahren und postmenopausalen Frauen, bei klinischem Verdacht auf Myokardischämie, bei Vorliegen einer eingeschränkten

Ventrikelfunktion und wenn ein oder mehr kardiovaskuläre Risikofaktoren vorliegen. Bei Operationen angeborener Herzfehler dient die invasive Koronarangiographie ggf. der Identifikation operationsrelevanter Koronaranomalien. Organspender vor Herztransplantation benötigen ggf. eine invasive Koronardiagnostik, falls der Verdacht auf das

Vorliegen von Koronararterienstenosen besteht.

### 2.6.1.2. Indikationen zur Revaskularisation

Im Rahmen jeder nichtkoronaren Herzoperation sollten analog den Empfehlungen für die Klappenchirurgie hochgradige Stenosen ( $\geq 70\%$ ) einer wesentlichen Koronararterie mit Bypass versorgt werden. Bei Stenosen mit einer Diameterreduktion  $\geq 50-70\%$  sollte die Versorgung mit Bypass erwogen werden [5]

### 2.6.2. Vor nichtkardialen Operationen

#### 2.6.2.1. Indikationen zur invasiven Diagnostik

Eine invasive Koronarangiographie ist zur Beurteilung des Risikos von Patienten die sich einer nichtkardialen Operation unterziehen, nur selten indiziert. Ungeachtet des Umstands, dass bei einer nennenswerten Zahl von Patienten, die einer nichtkardialen Operation bedürfen, eine KHK vorliegen kann, sind die Indikationen für eine präoperative Koronarangiographie und Revaskularisation ähnlich den Angiographieindikationen in der nichtchirurgischen Situation (■ Tab. 13; [19]).

#### 2.6.2.2. Indikationen zur Revaskularisation

Die Bedeutung einer routinemäßigen prophylaktischen Revaskularisation zur Senkung des koronaren Risikos bei nichtkardialen Operationen ist unbestimmt. Die Indikationen für eine Revaskularisation bei Patienten, bei denen ein größerer nichtkardialer Eingriff ansteht, sind ähnlich denen in der nichtchirurgischen Situation (■ Tab. 14). Auch wenn der Einsatz moderner Drug-eluting-Stents eine Verkürzung der Dauer der dualen Thrombozytenaggregationshemmung im Bedarfsfall gestattet, ist anzumerken, dass Patienten mit vorheriger PCI ein höheres Risiko von kardialen Ereignissen während oder nach einer nichtkardialen Operation haben. Dieses Risiko ist unabhängig von der dualen Thrombozytenaggregationshemmung, betrifft insbesondere Fälle von ungeplanten oder dringlichen chirurgischen Eingriffen nach Stentimplantation, hält aber nach PCI für mehrere Monate an [20, 21]. Das Risiko ist unabhängig von

**Tab. 14** Indikationen zur Revaskularisation vor nichtkardialen Operationen

	ESC-Leitlinienempfehlungen		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
<i>Prophylaktische Revaskularisation bei stabilen/asymptomatischen Patienten vor nichtkardialer Operation</i>			
Eine Myokardrevaskularisation wird gemäß den anwendbaren Leitlinien für die Behandlung bei stabiler KHK empfohlen	I	B	[19]
Eine spätere Revaskularisation nach einem erfolgreichen nichtkardialen chirurgischen Eingriff sollte gemäß den ESC-Leitlinien zur stabilen KHK erwogen werden	I	C	[19]
Eine prophylaktische Myokardrevaskularisation kann vor einer Hochrisikoooperation erwogen werden, abhängig vom Ausmaß des stressinduzierten Perfusionsmangels	IIb	B	[19]
Eine routinemäßige prophylaktische Myokardrevaskularisation vor einem chirurgischen Eingriff mit niedrigem oder mittlerem Risiko bei Patienten mit nachgewiesener KHK wird nicht empfohlen	III	B	[19]
<i>Prophylaktische Revaskularisation bei Patienten mit NSTEMI vor nichtkardialer Operation</i>			
Wenn der nichtkardiale chirurgische Eingriff ohne Gefahr verschoben werden kann, sollten diese Patienten eine Diagnostik und Behandlung entsprechend den Leitlinien zur Behandlung der NSTEMI erhalten	I	A	[19]
Beim unwahrscheinlichen Zusammentreffen eines lebensbedrohlichen klinischen Zustandes, der einen dringlichen nichtkardialen chirurgischen Eingriff erfordert, mit einer Revaskularisation wegen NSTEMI sollte das Expertenteam im Einzelfall den Vorrang des chirurgischen Eingriffs diskutieren	IIa	C	[19]
Bei Patienten, die sich einem nichtkardialen Eingriff unterzogen haben, werden postoperativ eine aggressive medikamentöse Behandlung und eine Myokardrevaskularisation gemäß ESC-Leitlinien zum NSTEMI empfohlen	I	B	[19]
Wenn eine PCI vor einem chirurgischen Eingriff von mittlerer Dringlichkeit indiziert ist, wird der Einsatz von DES der neuen Generation der Verwendung von Bare Metal Stents (BMS) vorgezogen, ggf. ist eine alleinige Ballonangioplastie zu erwägen	I	B	[5, 19]

der Art des verwendeten Stents (DES oder BMS) [5]. Die Indikation zur Revaskularisation ist daher zurückhaltend zu stellen. Nach Meinung der Autoren sollten bei vorhersehbarer und v. a. bei dringlich anstehender Operation und der Notwendigkeit zur koronaren Revaskularisation neben der Stentimplantation auch die reine Ballonangioplastie und ggf. eine Bypassoperation erwogen werden, um das Risiko der Stentthrombose und die Notwendigkeit einer dualen Thrombozytenaggregationshemmung zu vermeiden.

### 3. Kontraindikationen zur invasiven Koronardiagnostik und Revaskularisation

Eine Kontraindikation zur invasiven Koronardiagnostik besteht bei Patienten mit bereits bekannter KHK, bei denen keine Option zur Revaskularisation besteht oder die eine Revaskularisation ablehnen. Ebenso sollte keine invasive Koronardiagnostik erfolgen bei Patienten, bei denen eine KHK noch nicht bekannt ist, bei denen das Ergebnis der invasiven Diagnostik aber das weitere Management nicht beeinflussen würde (z. B. bei stark eingeschränkter Lebenserwartung). Eine Kontraindikation zur Revaskularisation besteht, wenn das Risiko des operati-

ven oder interventionellen Eingriffs oder das Risiko der nachfolgend notwendigen medikamentösen Behandlung den Nutzen des Eingriffs übersteigt. Zu bedenken ist hier insbesondere das mit einer dualen Thrombozytenaggregationshemmung einhergehende Blutungsrisiko, das ggf. durch die Notwendigkeit einer oralen Antikoagulation noch erhöht wird.

Für atherosklerotische Läsionen, die keine Ischämie verursachen, besteht keine Indikation zur Revaskularisation.

## 4. Indikationen zur Messung der Fraktionellen Flussreserve (FFR) und zur intrakoronaren Bildgebung (IVUS, OCT)

### 4.1. Fraktionelle Flussreserve (FFR)

Die Messung der fraktionellen Flussreserve (FFR) gestattet die Abschätzung der hämodynamischen Relevanz von Koronararterienstenosen. Mittels FFR lassen sich Läsionen identifizieren, deren Revaskularisation für den Patienten prognostisch bedeutend ist. Dies betrifft im Wesentlichen „weiche“ Endpunkte, wie z. B. zukünftige dringliche Revaskularisationen. In Metaanalysen ergeben sich aber auch Hinweise auf eine prognostische Bedeutung bezüglich „harter“ Endpunkte wie Myokardinfarkt und Tod [22, 23].

Eine Indikation zur FFR-Messung besteht beim Vorliegen von Stenosen mit einer angiographischen Diameterreduktion zwischen 50 und 90 %, wenn kein läsionsspezifischer nichtinvasiver Ischämienachweis vorliegt [5]. Insbesondere bei Mehrgefäßerkrankung ist eine FFR-Messung sinnvoll, um zu entscheiden, welche Läsionen revaskularisiert werden müssen, da dies die Entscheidung zur PCI vs. Bypassoperation wesentlich beeinflussen kann (Tab. 15). Im STEMI ist wegen der gestörten Mikrozirkulation eine FFR-Messung in der Regel nicht sinnvoll möglich. Im akuten Koronarsyndrom ohne ST-Hebung ist in Gefäßen mit hoher Thrombuslast eine FFR-Messung ebenfalls vermutlich nicht zuverlässig. Nicht-Culprit-Läsionen können jedoch einer FFR-Messung unterzogen werden, um das weitere Vorgehen zu planen [4].

Tab. 15 Indikationen zum Einsatz der intrakoronaren Diagnostik mit FFR, OCT und IVUS

	ESC-Leitlinienempfehlungen		
	Empfehlungsgrad	Evidenzgrad	Leitlinie
<i>Fraktionale Flussreserve (FFR)</i>			
Einsatz der FFR, um bei Patienten mit stabiler KHK hämodynamisch relevante Koronarläsionen zu identifizieren, wenn kein Ischämienachweis vorhanden ist <sup>a</sup>	I	A	[5]
FFR-geführte PCI bei Patienten mit Mehrgefäßerkrankung	Ila	B	[5]
<i>Intrakoronare Bildgebung</i>			
IVUS zur Optimierung der Stentimplantation bei selektierten Patienten	Ila	B	[5]
IVUS zur Bestimmung des Schweregrades und zur Optimierung der Behandlung von ungeschützten Stenosen des linken Hauptstamms	Ila	B	[5]
IVUS oder OCT zur Identifikation von Mechanismen bei In-Stent-Stenose und -Thrombose	Ila	C	[5]
IVUS zur Optimierung der Stentimplantation bei selektierten Patienten	Ilb	C	[5]

<sup>a</sup>Bei Stenosen > 90 % Diameterstenose und relevantem Versorgungsgebiet kann ohne FFR-Messung von einer hämodynamischen Relevanz ausgegangen werden

## 4.2. Intrakoronare Bildgebung (IVUS, OCT)

Mit intravaskulärem Ultraschall (IVUS) und „optical coherence tomography“ (OCT) ist eine hochaufgelöste Schnittbildgebung der Koronararterien möglich. Neben der exakten Vermessung der Lumengeometrie, die wesentlich besser als mit der Angiographie gelingt, ist die Charakterisierung und – wegen der höheren Eindringtiefe – mit IVUS auch die Quantifizierung atherosklerotischer Koronarplaques möglich. Die Analyse von Stententfaltung und Apposition gestattet eine Optimierung des Implantationsprozesses im Rahmen der PCI. Bei In-Stent-Läsionen lassen sich ggf. Ursachen für das Auftreten von Restenose und Stentthrombose identifizieren. Für IVUS und OCT existieren Analysen, die eine geringere koronare Ereignisrate nach Stentimplantation nachwiesen, wenn diese nicht nur angiographisch, sondern mit intrakoronarer Bildgebung geführt erfolgten [24], bei Patienten mit PCI einer ungeschützten Hauptstammstenose besteht möglicherweise sogar ein Überlebensvorteil bei IVUS-gestützter gegenüber rein angiographisch geführter Revaskularisation [25]. Allerdings ist die Datenlage derzeit noch nicht ganz einheitlich, zumal viele der bisher verfügbaren Studien nicht randomisiert

waren. In randomisierter Form zeigte eine kürzlich veröffentlichte Studie an 240 Patienten mit akutem Koronarsyndrom ohne ST-Hebung einen Vorteil im Sinne signifikant höherer FFR-Werte bei OCT-gesteuerter im Vergleich zu rein angiographisch gesteuerter Stentimplantation [26]. In einer weiteren randomisierten Studie an Patienten mit nichtkomplexen Koronarläsionen zeigte sich allerdings hinsichtlich des akuten Interventionsergebnisses kein Vorteil für die OCT- oder IVUS-gestützte PCI im Vergleich zur rein angiographisch gestützten PCI [27]. Insgesamt sollte daher der Einsatz der intravaskulären Bildgebung mit IVUS und OCT bei PCI nicht prinzipiell gefordert, aber bei In-Stent-Stenose und bei Eingriffen am ungeschützten linken Hauptstamm sowie bei komplexen Koronarinterventionen anderer Art erwogen werden.

## Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. S. Achenbach**  
Medizinische Klinik 2, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Ulmenweg 18, 91054 Erlangen, Deutschland  
stephan.achenbach@uk-erlangen.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

## Literatur

- Hamm C, Albrecht A, Bonzel T, Kelm M, Lange H, Schächinger V, Terres W, Voelker W (2008) Diagnostische Herzkatheteruntersuchung. Clin Res Cardiol 97:475–512
- Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, Carabello B, Dehmer GJ, Eagle KA, Legako RD, Leon DF, Murray JA, Nissen SE, Pepine CJ, Watson RM, Ritchie JL, Gibbons RJ, Cheitlin MD, Gardner TJ, Garson A Jr, Russell RO Jr, Ryan TJ, Smith SC Jr (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(17):2345–2357
- Qualitätsreport (2015) IQTIG – Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen, Berlin. <https://iqtig.org/downloads/ergebnisse/qualitaetsreport/IQTIG-Qualitaetsreport-2015.pdf>. Zugegriffen: 25.5.2017
- Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, Andreotti F, Arden C, Budaj A, Bugiardini R, Crea F, Cuisset T, Di Mario C, Ferreira JR, Gersh BJ, Gitt AK, Hulot JS, Marx N, Opie LH, Pfisterer M, Prescott E, Ruschitzka F, Sabaté M, Senior R, Taggart DP, van der Wall EE, Vrints CJ, ESC Committee for Practice Guidelines (2013) 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. Eur Heart J 34(38):2949–3003
- Windecker S, Kolh P, Alfonso F, Collet JP, Cremer J, Falk V, Filippatos G, Hamm C, Head SJ, Jüni P, Kappetein AP, Kastrati A, Knuuti J, Landmesser U, Laufer G, Neumann FJ, Richter DJ, Schauerte P, Sousa Uva M, Stefanini GG, Taggart DP, Torracca L, Valgimigli M, Wijns W, Witkowski A (2014) 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). Eur Heart J 35(37):2541–2561
- Sechtem A, Achenbach S, Gitt A, Marx N, Lem M, Schächinger V (2015) Kommentar zu den 2013 Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) zum Management der stabilen koronaren Herzkrankheit (KHK). Kardiologie 9:159–164
- Bonow RO, Maurer G, Lee KL, Holly TA, Binkley PF, Desvigne-Nickens P, Drozdz J, Farsky PS, Feldman AM, Doenst T, Michler RE, Berman DS, Nicolau JC, Pellikka PA, Wrobel K, Alotti N, Asch FM, Favalaro LE, She L, Velazquez EJ, Jones RH, Panza JA, STICH Trial Investigators (2011) Myocardial viability and

- survival in ischemic left ventricular dysfunction. *N Engl J Med* 364(17):1617–1625
8. Bonow RO, Castelvécchio S, Panza JA, Berman DS, Velazquez EJ, Michler RE, She L, Holly TA, Desvigne-Nickens P, Kosevic D, Rajda M, Chrzanowski L, Deja M, Lee KL, White H, Oh JK, Doenst T, Hill JA, Rouleau JL, Menicanti L, STICH Trial Investigators (2015) Severity of remodeling, myocardial viability, and survival in ischemic LV dysfunction after surgical revascularization. *JACC Cardiovasc Imaging* 8(10):1121–1129
  9. Baldus S, Werdan K, Levenson B, Kuck KH (2016) Klug entscheiden ... in der Kardiologie. *Dtsch Arztebl* 113(27–28):A-1312/B-1103/C-1085
  10. Steg PG, James SK, Atar D, Badano LP, Blömstrom-Lundqvist C, Borger MA, Di Mario C, Dickstein K, Ducrocq G, Fernandez-Aviles F, Gershlick AH, Giannuzzi P, Halvorsen S, Huber K, Juni P, Kastrati A, Knuuti J, Lenzen MJ, Mahaffey KW, Valgimigli M, van 't Hof A, Widimsky P, Zahger D (2012) ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J* 33(20):2569–2619
  11. Roffi M, Patrono C, Collet JP, Mueller C, Valgimigli M, Andreotti F, Bax JJ, Borger MA, Brotons C, Chew DP, Gencer B, Hasenfuss G, Kjeldsen K, Lancellotti P, Landmesser U, Mehilli J, Mukherjee D, Storey RF, Windecker S, Baumgartner H, Gaemperli O, Achenbach S, Agewall S, Badimon L, Baigent C, Bueno H, Bugiardini R, Carerj S, Casselman F, Cuisset T, Erol Ç, Fitzsimons D, Halle M, Hamm C, Hildick-Smith D, Huber K, Iliodromitis E, James S, Lewis BS, Lip GY, Piepoli MF, Richter D, Rosemann T, Sechtem U, Steg PG, Vrints C, Zamorano JL (2016) 2015 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J* 37:267–315
  12. Möllmann H, Rudolph T, Rieber J, Eggebrecht H, Richardt G, Schmitz T, Werner N, Achenbach S (2016) Fraktionelle Flussreserve in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung. *Kardiologie*. doi:10.1007/s12181-016-0049-5
  13. Piori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, Blom N, Borggrefe M, Camm J, Elliott PM, Fitzsimons D, Hatala R, Hindricks G, Kirchhof P, Kjeldsen K, Kuck KH, Hernandez-Madrid A, Nikolaou N, Norekvål TM, Spaulding C, Van Veldhuisen DJ (2015) 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 36(41):2793–2867
  14. Noc M, Fajadet J, Lassen JF, Kala P, MacCarthy P, Olivecrona GK, Windecker S, Spaulding C (2014) Invasive coronary treatment strategies for out-of-hospital cardiac arrest: a consensus statement from the European association for percutaneous cardiovascular interventions (EAPCI)/Stent for Life (SFL) groups. *EuroIntervention* 10(1):31–37
  15. Kirchhof P, Benussi S, Kotecha D, Ahlsson A, Atar D, Casadei B, Castella M, Diener HC, Heidbuchel H, Hendriks J, Hindricks G, Manolis AS, Oldgren J, Popescu BA, Schotten U, Van Putte B, Vardas P, Agewall S, Camm J, Baron Esquivias G, Budts W, Carerj S, Casselman F, Coca A, De Caterina R, Deffereos S, Dobrev D, Ferro JM, Filippatos G, Fitzsimons D, Gorenk B, Guenoun M, Hohnloser SH, Kolh P, Lip GY, Manolis A, McMurray J, Ponikowski P, Rosenhek R, Ruschitzka F, Savelieva I, Sharma S, Suwalski P, Tamargo JL, Taylor CJ, Van Gelder IC, Voors AA, Windecker S, Zamorano JL, Zeppenfeld K (2016) 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur Heart J* 37(38):2893–2962
  16. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JG, Coats AJ, Falk V, González-Juanatey JR, Harjola VP, Jankowska EA, Jessup M, Linde C, Nihoyannopoulos P, Parissis JT, Pieske B, Riley JP, Rosano GM, Ruilope LM, Ruschitzka F, Rutten FH, van der Meer P (2016) 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 37(27):2129–2200
  17. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Antunes MJ, Barón-Esquivias G, Baumgartner H, Borger MA, Carrel TP, De Bonis M, Evangelista A, Falk V, Jung B, Lancellotti P, Pierard L, Price S, Schäfers HJ, Schuler G, Stepinska J, Swedberg K, Takkenberg J, Von Oppell UO, Windecker S, Zamorano JL, Zembala M (2012) Guidelines on the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 33(19):2451–2496
  18. Boekstegers P, Hausleiter J, Baldus S, von Bardeleben RS, Beucher H, Butter C, Franzen O, Hoffmann R, Ince H, Kuck KH, Rudolph V, Schäfer U, Schillinger W, Wunderlich N (2013) Interventionelle Behandlung der Mitralklappeninsuffizienz mit dem MitraClip®-Verfahren. *Kardiologie* 7:91–104
  19. Kristensen SD, Knuuti J, Saraste A, Anker S, Bøtker HE, Hert SD, Ford I, Gonzalez-Juanatey JR, Gorenk B, Heyndrickx GR, Hoefl A, Huber K, Jung B, Kjeldsen KP, Longrois D, Lüscher TF, Pierard L, Pocock S, Price S, Roffi M, Sirnes PA, Sousa-Uva M, Voudris V, Funck-Brentano C (2014) 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur Heart J* 35(35):2383–2431
  20. Holcomb CN, Graham LA, Richman JS, Rhyne RR, Itani KM, Maddox TM, Hawn MT (2014) The incremental risk of noncardiac surgery on adverse cardiac events following coronary stenting. *J Am Coll Cardiol* 64(25):2730–2739
  21. Mahmoud KD, Sanon S, Habermann EB, Lennon RJ, Thomsen KM, Wood DL, Zijlstra F, Frye RL, Holmes DR Jr (2016) Perioperative cardiovascular risk of prior coronary stent implantation among patients undergoing noncardiac surgery. *J Am Coll Cardiol* 67(9):1038–1049
  22. Johnson NP, Tóth GG, Lai D, Zhu H, Açar G, Agostoni P, Appelman Y, Arslan F, Barbato E, Chen SL, Di Serafino L, Domínguez-Franco AJ, Dupouy P, Esen AM, Esen OB, Hamilos M, Iwasaki K, Jensen LO, Jiménez-Navarro MF, Katritsis DG, Kocaman SA, Koo BK, López-Palop R, Lorin JD, Miller LH, Muller O, Nam CW, Oud N, Puymirat E, Rieber J, Rioufol G, Rodés-Cabau J, Sedlis SP, Takeishi Y, Tonino PA, Van Belle E, Verna E, Werner GS, Fearon WF, Pijls NH, De Bruyne B, Gould KL (2014) Prognostic value of fractional flow reserve: linking physiologic severity to clinical outcomes. *J Am Coll Cardiol* 64(16):1641–1654
  23. Zhang D, Lv S, Song X, Yuan F, Xu F, Zhang M, Yan S, Cao X (2015) Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention: a meta-analysis. *Heart* 101(6):455–462
  24. Prati F, Di Vito L, Biondi-Zoccai G, Occhipinti M, La Manna A, Tamburino C, Burzotta F, Trani C, Porto I, Ramazzotti V, Imola F, Manzoli A, Matera L, Cremonesi A, Albertucci M (2012) Angiography alone versus angiography plus optical coherence tomography to guide decision-making during percutaneous coronary intervention: the Centro per la Lotta contro l'Infarto-Optimisation of Percutaneous Coronary Intervention (CLI-OPCI) study. *EuroIntervention* 8(7):823–829
  25. Park SJ, Kim YH, Park DW, Lee SW, Kim WJ, Suh J, Yun SC, Lee CW, Hong MK, Lee JH, Park S (2009) Impact of intravascular ultrasound guidance on long-term mortality in stenting for unprotected left main coronary artery stenosis. *Circ Cardiovasc Interv* 2(3):167–177
  26. Meneveau N, Souteyrand G, Motreff P, Caussin C, Amabile N, Ohlmann P, Morel O, Lefrançois Y, Descotes-Genon V, Silvain J, Braik N, Chopard R, Chatot M, Ecarnot F, Tauzin H, Van Belle E, Belle L, Schiele F (2016) Optical coherence tomography to optimize results of percutaneous coronary intervention in patients with non-ST-elevation acute coronary syndrome: results of the multicenter, randomized DOCTORS study (does optical coherence tomography optimize results of stenting). *Circulation* 134(13):906–917
  27. Ali ZA, Maehara A, Génèreux P, Shlofmitz RA, Fabbiocchi F, Nazif TM, Guagliumi G, Meraj PM, Alfonso F, Samady H, Akasaka T, Carlson EB, Leesar MA, Matsumura M, Ozan MO, Mintz GS, Ben-Yehuda O, Stone GW, ILLUMIEN III: OPTIMIZE PCI Investigators (2016) (2916) Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILLUMIEN III: OPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet* 388:2618–2628