

Intrakoronare Bildgebung

Die Zukunft der perkutanen Koronarintervention

Im Lichte aktueller Veröffentlichungen bietet dieses Review einen praxisnahen Überblick über die intrakoronare Bildgebung mit speziellem Fokus auf die optische Kohärenztomographie, adressiert an ein Zielpublikum aus Internistinnen und Internisten sowie nicht invasiven Kardiologen und Kardiologinnen.

PD Dr. med. et phil. Miklos Rohla; Prof. Dr. med. et phil. Lorenz Räber

Universitätsklinik für Kardiologie, Inselspital, Universitätsspital Bern, Bern

Einführung

Moderne «drug-eluting stents» (DES) haben sich in all ihren drei Komponenten (dem Metallgerüst, dem Polymer und der darin freigesetzten antiproliferativen Substanz) beträchtlich verbessert. Moderne Legierungen (hauptsächlich Cobalt-Chrom oder Platin-Chrom) mit geringerer Strebendicke, biokompatible Polymere mit optimierter Freisetzungskinetik und neue antiproliferative Substanzen (Everolimus, Zotarolimus, Biolimus, Amphilimus) haben dazu beigetragen, dass ein Plateau hinsichtlich der Sicherheit und Effektivität der neueren DES entstanden ist [1–4]. Nachdem der erste breit untersuchte bioresorbierbare Absorb-Stent enttäuschende Langzeitergebnisse erbrachte, ist die Verwendung von bioresorbierbaren Technologien aktuell nur auf Studien begrenzt [5, 6]. Somit verbleibt neben rigorosen sekundärprophylaktischen Massnahmen gegenwärtig die Optimierung des interventionellen Resultats als modifizierbarer Faktor für ein gutes längerfristiges Outcome. Die Koronarangiographie kann als zweidimensionale, niedrigauflösende Methode nur begrenzt zur Plaque-Charakterisierung, Optimierung der Intervention und Komplikationsdetektion eingesetzt werden und bedarf sehr langer Erfahrung. Während der intravaskuläre Ultraschall (IVUS) in diesen Domänen seit den 1990er-Jahren eingesetzt wird und entsprechend klinische und wissenschaftliche Erfahrungen aus etwa drei Jahrzehnten verfügbar sind, nimmt der Einsatz der optischen Kohärenztomographie (OCT) im klinischen Alltag stetig zu. Im Lichte aktueller Veröffentlichungen und neuer Richtlinien werden nachfolgend die Prinzipien und Einsatzgebiete sowie rezente Daten zur

intrakoronaren Bildgebung zusammengefasst, mit Fokus auf die OCT.

Intrakoronare Bildgebungsmodalitäten

Intravaskulärer Ultraschall

Die Bilder werden beim IVUS wie in der Echokardiographie mittels Piezoelementen generiert, die Schallwellen mit einer Frequenz von 20–50 MHz erzeugen. Das Auflösungsvermögen liegt bei 100–150 µm. In Relation gesetzt: die Strebendicke der meisten heutzutage verwendeten Stents beträgt 60–88 µm, womit erklärt werden kann, warum die Stent-Endothelialisierung mittels IVUS nicht und Dissektionen, Malappositionen und Thromben nur erschwert darstellbar sind. Seit der ersten In-vivo-Anwendung im Jahr 1988 entstanden weitreichende klinische und wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich der Gewebscharakterisierung, Interventionsplanung und -optimierung [7, 8]. In Abbildung 1 ist exemplarisch der Vergleich zwischen OCT und IVUS im gesunden Gefäss (A und B), in einem Gefäss mit lipidreicher Plaque (C und D) sowie mit kalzifizierter Plaque (E und F) dargestellt.

Zu den wichtigsten Vorteilen des IVUS gehört, dass zur Visualisierung der Koronargefässe das Blut nicht verdrängt werden muss. Somit birgt der IVUS keine Kontrastmittelbelastung und stellt die ideale Technik für aorto-ostiale Läsionen dar, wo eine Spülung mit Kontrastmittel aufgrund der selektiven Intubation des Koronarostiums mit dem Führungskatheter nicht möglich ist. Ein weiteres gutes Einsatzgebiet sind chronische Verschlüsse. Die bereits erwähnte, verhältnismässig geringere Auflösung ist die Hauptlimitation

dieser Modalität. Durch die Kombination aus IVUS und Nahinfrarotspektroskopie (IVUS-NIRS; Wellenlänge 800–2500 nm) in einem Katheter kann ein «Chemogramm» des Gefässes erstellt und somit spezifisch der Lipidgehalt einer Plaque ermittelt werden [9].

Optische Kohärenztomographie

Die OCT basiert auf der Emission von Licht nahe dem Infrarotspektrum. Bei herkömmlichen Ultraschallverfahren werden die rückreflektierten Wellen inklusive ihrer Zeitverzögerung gemessen. Aufgrund der 200 000-fach höheren Geschwindigkeit von Licht und der überwiegenden Streuung der meisten Photonen aufgrund der Gewebeeigenschaften ist eine direkte Messung der Latenz rückreflektierter Strahlen nicht möglich. Bei der OCT wird Licht mit zeitlich geringer Kohärenzlänge auf einen Spiegel in einem Referenzarm (mit bekannter Distanz) und das untersuchte Gewebe emittiert. Das Interferenzsignal der vom Referenz- und Gewebsarm rückgestreuten Lichtanteile wird dann zur Bildgenerierung verwendet. So können Gewebscharakteristika anhand des Brechungsindex und die korrespondierende Tiefeninformation gewonnen werden [10]. Der wesentliche Vorteil der OCT gegenüber dem IVUS ist die etwa 10-fach höhere axiale Auflösung, sodass eine detailgetreue Gewebscharakterisierung möglich ist, inklusive Darstellung der Plaque-Komposition bis hin zur Makrophageninfiltration, Visualisierung einzelner Stent-Streben und ihrer Endothelialisierung. Auch zwischen weissen und roten Thromben kann differenziert werden. Zur Darstellbarkeit der Gefässstrukturen muss das Blut mittels Kontrastmittelinjektion verdrängt werden (circa 10–30 ml pro Rück-

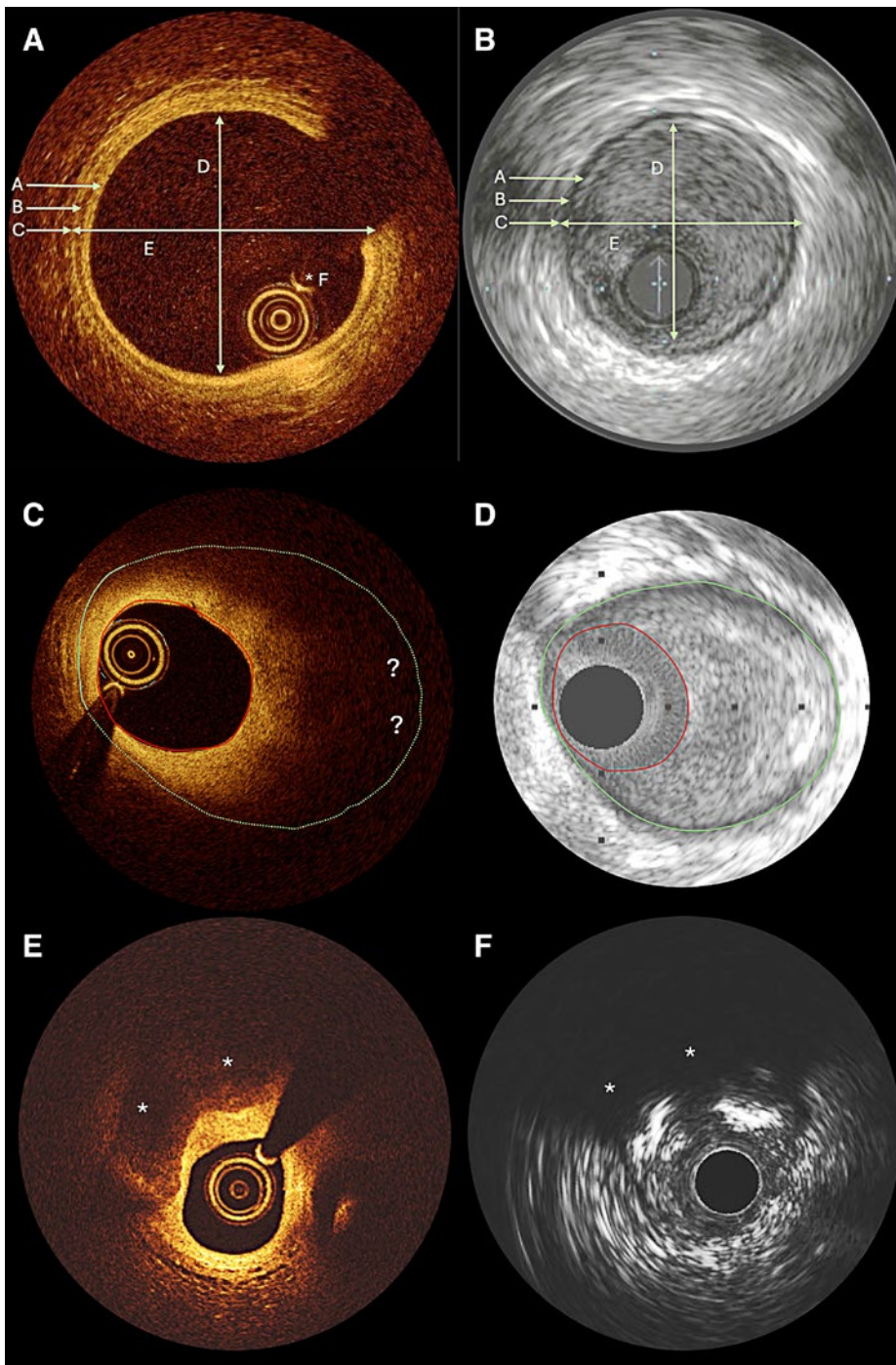


Abbildung 1: Klassische Beispiele von Gefässdarstellungen mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) und intravaskulärem Ultraschall (IVUS).

A/B) Identifikation der arteriellen Gefässschichten in OCT (**A**) und IVUS (**B**). A: Intima; B: Media; C: externe elastische Membran (EEM); D: Lumen-Dimension; E: Durchmesser von EEM zu EEM; F: Artefakt des Führungsdrahtes. **C/D)** Darstellung einer lipidreichen Plaque. Im OCT (**C**) charakterisiert durch eine diffuse, starke Signalabschwächung (hinter der Plaque liegende Gefässschichten aufgrund der geringeren Tiefenpenetration nicht mehr einsehbar). Rote Umrandung: Intima; grüne Umrandung: Media (nur in den weniger Plaque-belasteten Regionen zwischen 6 und 12 Uhr abgrenzbar). Im IVUS (**D**) charakterisiert durch eine geringe diffuse Signalabschwächung. Rote Umrandung: Intima; grüne Umrandung: Media (aufgrund der höheren Tiefenpenetration des IVUS klar abgrenzbar). **E/F)** Darstellung einer kalzifizierten Plaque. Im OCT (**E**) charakterisiert durch eine scharf umrandete Signalabschwächung (Sterne). Im IVUS (**F**) charakterisiert durch einen Schallschatten.

zug), sodass während einer Intervention in der Regel nicht mehr als 2–4 Aufnahmeserien akquiriert werden. Ein weiterer Nachteil ist die im Vergleich zum IVUS geringere Tiefenpenetration, sodass häufig die hinter lipidhaltigen Plaques, Thromben oder Kalkschollen liegen-

den Gefässstrukturen nicht mehr eingesehen werden können. So kann im Gegensatz zum IVUS die äussere Gefässbegrenzung (Übergang von Media zu Adventitia) nicht gesehen und damit die Plaque-Last nicht ermittelt werden (Abb. 1C).

Praktische Anwendung

Die intrakoronare Bildgebung wird im Zusammenhang mit der perkutanen Koronarintervention bei hauptsächlich drei Indikationen verwendet:

Interventionsplanung

Für die Interventionsplanung werden die gesunden Segmente distal und proximal sowie deren Referenzdiameter auf bis zu 100 μm (0,1 mm) genau bestimmt. Mit derselben Genauigkeit kann die Länge des zu implantierenden Stents vermessen werden. Der Stent-Diameter wird passend zum distalen Referenzsegment gewählt (um distale Dissektionen und Gefässrupturen zu vermeiden) und proximal mittels Nachdilatation an das grössere Gefässkaliber angepasst [11]. Die Komposition des erkrankten Segments gibt Aufschluss über die notwendige Läsionspräparation. Während in lipidhaltigen «weichen» Plaques (Abb. 1C) auch mit wenig aggressiver Vordilatation oder direkter Stent-Implantation eine gute Stent-Expansion erzielt werden kann, bedürfen stark verkalkte Gefässsegmente (z.B. Kalkschollen mit lateraler Ausdehnung über >3 Quadranten, einer Dicke von >0,5 mm und einer Länge von >5 mm) einer adäquaten Vorbereitung (Abb. 1E). Hierfür werden Hochdruckdilatationen mit Non-compliant-Ballons, Cutting-Ballons mit Klingen, die Kalk schneiden können, Ballonlithotripsie oder Rotablation angewendet [11, 12].

Optimierung nach Stent-Implantation

Die zweite Domäne der intrakoronaren Bildgebung ist die Optimierung des Ergebnisses nach Stent-Einlage. Eine wesentliche Determinante der langfristigen Restenoserate ist die Stent-Expansion, das heisst die Relation des erzielten Gefässlumens im Stent gegenüber einem gesunden Referenzsegment oder die absolut erzielte Fläche innerhalb des Stents. Gemäss aktueller Studienlage sollte eine Expansion um >80% im Vergleich zum Referenzsegment oder eine Fläche innerhalb des Stents von mindestens 4,5 mm² (gemäss OCT) oder 5,5 mm² (gemäss IVUS) erzielt werden [11]. In Abbildung 2 ist ein klassisches Beispiel einer Stent-Unterexpansion illustriert.

Malappositionen (freischwebende Stent-Streben, die nicht der Gefässwand anliegen) finden sich bei 40–70% aller perkutanen Koronarinterventionen (PCI) und sind angiographisch nicht sichtbar [13]. Der Einfluss von Malappositionen auf koronare Ereignisse wie Stent-Thrombosen wird kontrovers diskutiert. Während prospektiv gesehen Malappositionen nicht in allen Studien mit kardialen Ereignissen assoziiert zu sein scheinen, ist die Malapposition eine der häufigsten

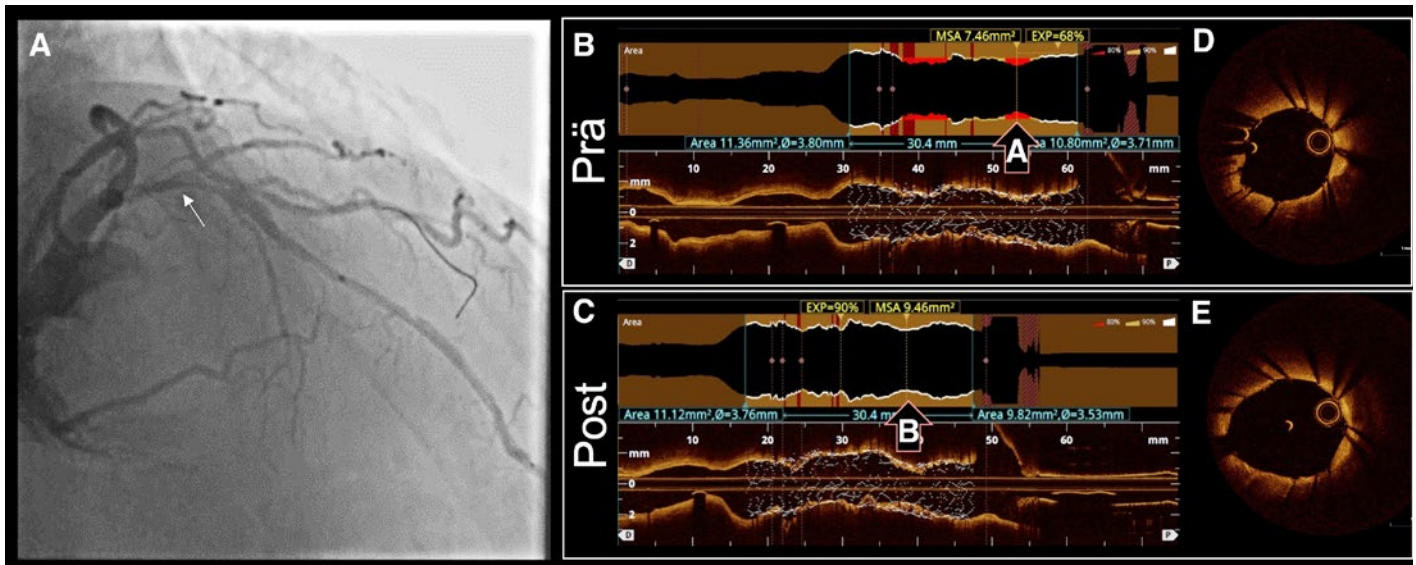


Abbildung 2: Stent-Optimierung mittels intrakoronarer Bildgebung: Unterexpansion.

Unterexpansion, definiert durch eine zu geringe Stent-Entfaltung im Verhältnis zu einem Referenzsegment. **A)** Koronarangiographie mit langstreckiger signifikanter Stenose des proximalen Ramus interventricularis anterior (RIVA; Pfeil). **B)** OCT-Darstellung vor Stent-Optimierung. Längsschnitt des Gefässes mit Lumenprofil und darunterliegender Längsrekonstruktion des Gefässes inklusive Stent. Die roten Bereiche (Pfeil «A») sind die unterexpandierten Segmente, die Expansion wurde mit 68% berechnet. **C)** OCT-Darstellung nach Stent-Optimierung mittels Hochdruckballoninflationen. Die Unterexpansion (Pfeil «B») wurde korrigiert. **D/E)** Auch in den OCT-Querschnittsaufnahmen ist der Unterschied in der Expansion deutlich ersichtlich. Der mittlere Abschnitt des RIVA ist von kleinerem Kaliber als der distale, die Erklärung hierfür ist ein intramuraler Verlauf (Myokardbrücke), auch das kann im OCT gesehen werden. OCT: optische Kohärenztomographie.

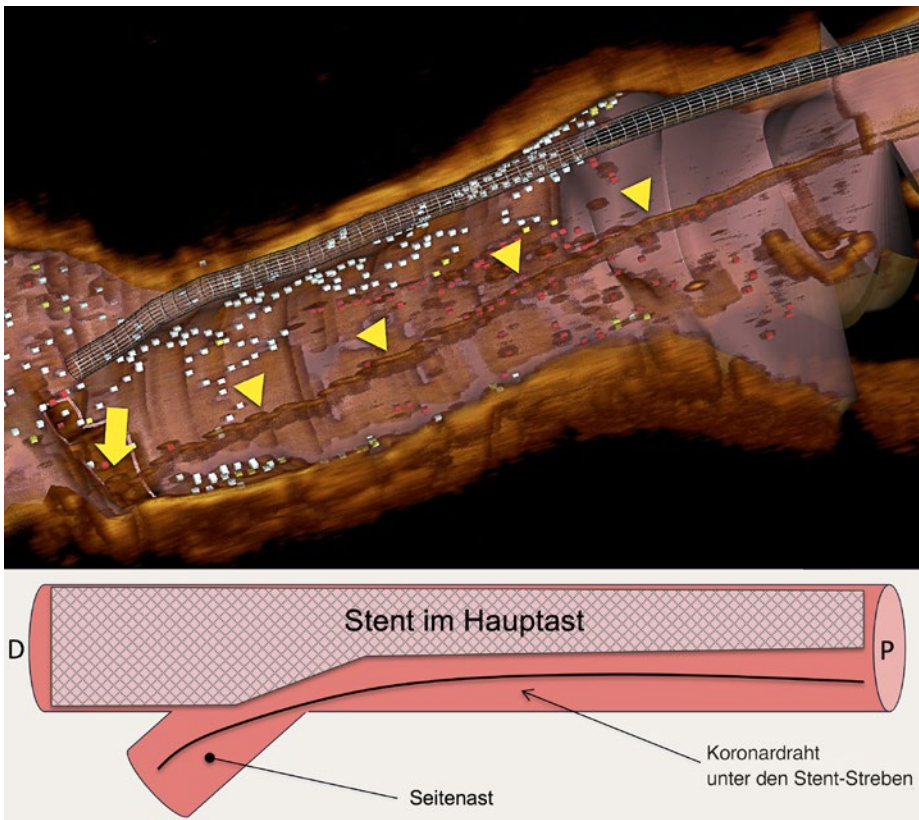


Abbildung 3: Stent-Optimierung mittels intrakoronarer Bildgebung: schwere Malapposition während Bifurkationsbehandlung.

Optische Kohärenztomographie (OCT) mit 3D-Rekonstruktion eines schwerst malapponierten Stents aufgrund einer ungewollten Drahtlage unter den Stent-Streben. Der kaum entfaltete Stent ist am oberen Gefässrand dargestellt. Die gelben Pfeilköpfe zeigen den Draht, der nicht im Lumen des Stents gelegen ist. Dies kann geschehen, wenn man nach erneuter Sondierung eines Seitenastes (Seitenast-Ostium: gelber Pfeil) über den im Hauptast bereits eingelegten Stent nicht in das Lumen des Stents, sondern aufgrund einer vorbestehenden Malapposition neben den Stent sondiert. Wird nachfolgend über diesen Draht eine Dilatation in den Seitenast hinein durchgeführt, führt dies zu einer Kompression des Stents gegen die Gefässwand, ohne dass man dies angiographisch bemerken würde. Dies ist ein idealer Nährboden für eine spätere Stent-Thrombose. D: distal; P: proximal.

zugrunde liegenden Pathologien bei Personen, die sich mit einer Stent-Thrombose präsentieren [14, 15]. In Abbildung 3 ist eine weitere potentielle Konsequenz einer nicht korrigierten Malapposition dargestellt, nämlich die ungewollte Drahtlage hinter den Stent-Streben.

In aktuellen Konsensudokumenten wird empfohlen, grosse (>400 µm) und lange (>1 mm) Malappositionen zu korrigieren, da unter diesen Grenzwerten eine Endothelialisierung der Stent-Streben wahrscheinlich erscheint [11]. Zu aggressive Korrekturen können Stent-Edge-Dissektionen verursachen, die mit einem erhöhten Risiko für Komplikationen behaftet sind.

Erkennen von Komplikationen

Die dritte Domäne der intrakoronaren Bildgebung (hauptsächlich der OCT aufgrund der höheren Auflösung) ist das Erkennen von angiographisch oftmals nicht fassbaren Gefässkomplikationen. Zu den häufigsten gehören Dissektionen an den Stent-Rändern (Abb. 4A), subklinische Thromben innerhalb des Stents (Abb. 4B) und «geographical miss», das heisst, wenn der Stent nicht die gesamte Koronarläsion abdeckt, sodass eine deutliche residuale Plaque proximal oder distal des Stents verbleibt (was angiographisch nicht unbedingt erkennbar ist) (Abb. 4E). Tiefe Dissektionen, vor allem am distalen Stent-Rand (wo eine weitere Propagation in die Tiefe möglich ist), sind etablierte Faktoren für Früh- und Spätkomplikationen [11, 16]. Wie bei Mal-

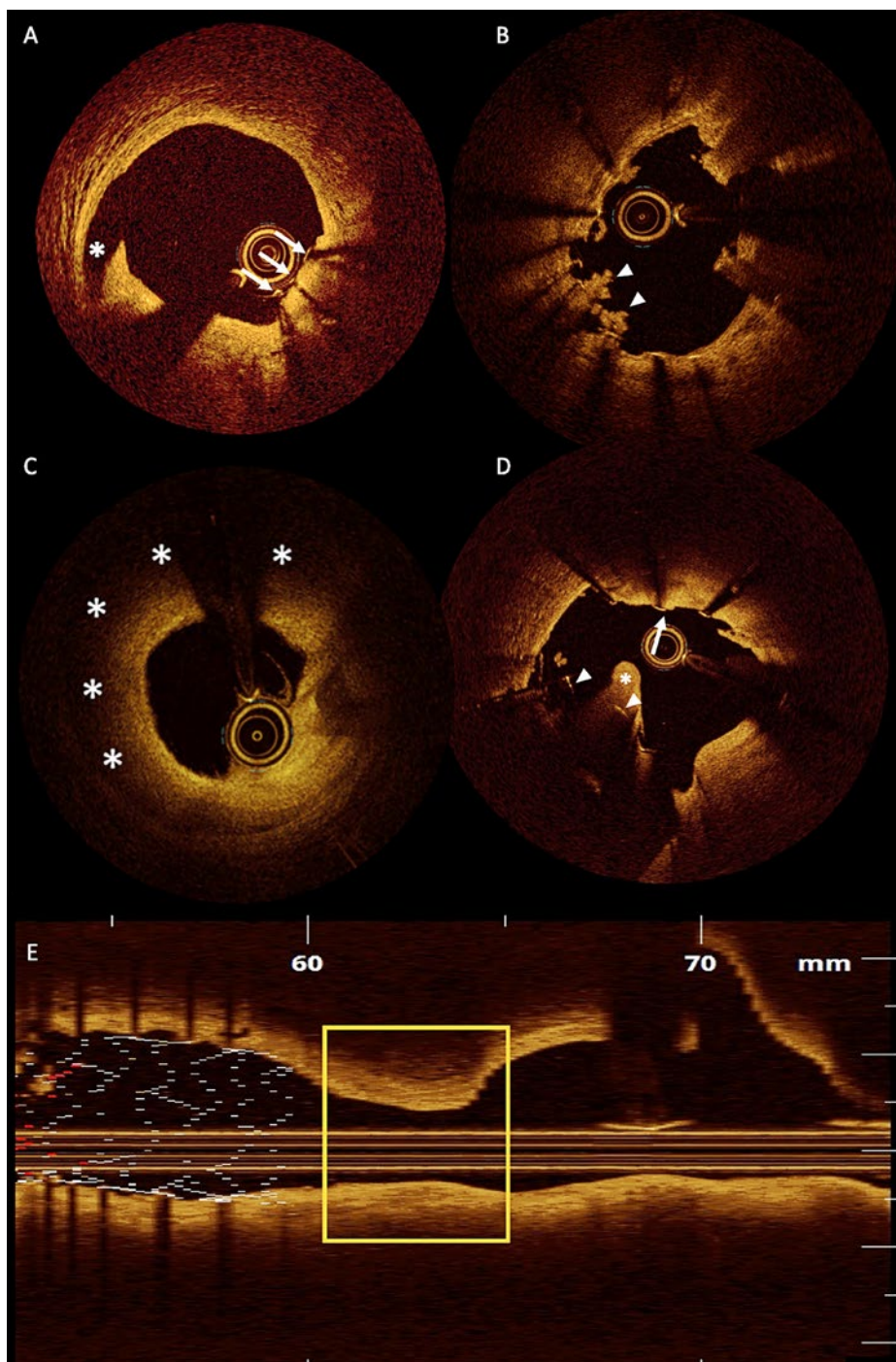


Abbildung 4: Detektion von Komplikationen mittels optischer Kohärenztomographie.

A) Dissektion (Stern) am Stent-Rand. Pfeile: schattenwerfende Stent-Streben. **B)** Angiographisch nicht fassbare Thrombusaktivität an den Stent-Streben. Thromben kommen klassischerweise als wolkige, unregelmässig begrenzte Strukturen zur Darstellung (Pfeilköpfe). Weisse plättchenreiche Thromben weisen eine geringe Signalabschwächung wie in diesem Beispiel auf, rote erythrozytenreiche Thromben eine hohe Signalabschwächung. **C)** Ausgeprägtes intramurales Hämatom (Sterne) mit signifikanter Lumenstenose, verursacht durch eine proximal davon gelegene, in die Tiefe reichende, iatrogene Dissektion. Bleibt dies unentdeckt, kann es im Verlauf zu einem Gefässverschluss aufgrund der Lumenkompression durch das Hämatom kommen. **D)** Stent-Fraktur mit frakturierten, ins Gefässlumen ragenden Stent-Streben (Pfeilköpfe) und einer ins Gefäss ragenden Plaque (Stern). Dies führt in der Regel rasch zu einer Restenose. Daneben gut apponierete Stent-Streben (Pfeil). **E)** Klassisches Beispiel eines «geographical miss» im Längsschnitt. Verfehlung, das erkrankte Segment (gelbe Umrandung) mittels Stent (links davon gelegen) abzudecken. Dies führt in der Regel zu einer Restenose.

appositionen ist dies kein binäres Phänomen und muss nach Grössenausdehnung und Lokalisation unterschieden werden. Gemäss Expertenkonsensus sollten ausgedehnte Dis-

sektionen ($>60^\circ$, >2 mm Länge, mit Penetration in die Media oder Adventitia) korrigiert werden [11]. In seltenen Fällen können tiefe Dissektionen intramurale Hämatome verur-

sachen, die ebenfalls mittels OCT fassbar und angiographisch nur schwierig von anderen Ursachen einer Lumenstenose abgrenzbar sind (Abb. 4C). Frakturen des Stent-Gerüsts, etwa in sehr tortuösen oder verkalkten Gefässabschnitten, sind ebenso mittels OCT darstellbar (Abb. 4D).

Datenlage seit 2023

Auf der Jahrestagung der Europäischen Kardiologischen Gesellschaft (ESC) wurde am 27. August 2023 die bisher grösste und methodisch präziseste Metaanalyse randomisierter Studien mit individuellen Patientendaten präsentiert, die auch zeitgleich veröffentlichte neue Studien beinhaltet. So konnten angiographisch geführte, OCT-geführte und IVUS-geführte Interventionen bei insgesamt 12 428 Patientinnen und Patienten miteinander verglichen werden. Der Einsatz der intrakoronaren Bildgebung (OCT oder IVUS) war nach einem mittleren Follow-up von 26 Monaten im Vergleich zu angiographisch geführten Interventionen mit einer 31%igen relativen Risikoreduktion (RR) von «Zielläsionsversagen» assoziiert (RR 0,69; 95%-Konfidenzintervall [KI] 0,61–0,78; $p < 0,01$). Dieser Unterschied war durch eine signifikante Reduktion in allen drei Komponenten, nämlich kardiovaskulären Todesfällen (RR 0,54; 95%-KI 0,40–0,74; $p < 0,01$), Zielgefäss-Myokardinfarkten (RR 0,80; 95%-KI 0,40–0,74; $p = 0,02$) und Notwendigkeit erneuter Revaskularisierungen der Stents (RR 0,71; 95%-KI 0,59–0,85; $p < 0,01$) getrieben. Zudem ist dies die erste Studie, die einen Mortalitätsvorteil durch die Anwendung der intrakoronaren Bildgebung nachweisen konnte (RR 0,75; 95%-KI 0,60–0,93; $p < 0,01$). Die mit 52% bedeutendste relative Risikoreduktion fand sich hinsichtlich Stent-Thrombosen ebenso zugunsten der intrakoronaren Bildgebung (RR 0,48; 95%-KI 0,31–0,76; $p < 0,01$). Ein direkter Vergleich der zwei Bildgebungsmodalitäten (OCT versus IVUS) ergab keinen signifikanten Unterschied (RR 0,89; 95%-KI 0,51–1,57; $p > 0,05$ für Nicht-Unterlegenheit). Die zeitgleich vorgestellte OCTIVUS-Studie verglich die Effektivität von IVUS und OCT direkt miteinander und kam zum selben Ergebnis. OCT und IVUS waren hinsichtlich Zielgefässversagen (2,5% versus 3,1%; $p < 0,01$ für Nicht-Unterlegenheit) und relevanter Komplikationen wie einer kontrastmittelinduzierten Nephropathie (1,4% versus 1,5%) vergleichbar [17, 18].

In die Metaanalyse haben die nachfolgend genannten, rezent veröffentlichten Studien Eingang gefunden. Die RENOVATE-COMPLEX-PCI-Studie konnte zeigen, dass eine mittels

intrakoronarer Bildgebung gestützte Intervention (75% IVUS; 25% OCT) gegenüber der herkömmlichen angiographischen Beurteilung hinsichtlich schwerer kardiovaskulärer Ereignisse überlegen ist. Es wurden 1639 Personen mit komplexen Läsionen (Bifurkationsstenosen, chronischen Verschlüsse, Hauptstammläsionen, langen oder schwer verkalkten Läsionen) eingeschlossen. Die Inzidenz von Zielläsionsversagen (7,7% versus 12,3%; Hazard Ratio [HR] 0,64; 95%-KI 0,45–0,89; $p < 0,01$) und kardiovaskulärem Tod (1,7% versus 3,8%; HR 0,47; 95%-KI 0,24–0,93; $p < 0,01$) fiel zugunsten der intrakoronaren Bildgebung deutlich und signifikant geringer aus [19].

Die ebenso am ESC-Kongress veröffentlichte OCTOBER-Studie ist die erste Untersuchung mit adäquater Grösse für harte klinische Endpunkte, in der der Einfluss einer OCT-geführten gegenüber einer angiographisch geführten Behandlung von Bifurkationsläsionen (inklusive Hauptstammläsionen) untersucht worden ist. Es wurden 1201 Personen in 38 europäischen Zentren randomisiert. In der OCT-Gruppe musste die Intervention unter Anwendung einer Checkliste mit vordefinierten Zeitpunkten für eine erneute Bildgebung und den zu ergreifenden Massnahmen durchgeführt werden. Der primäre Endpunkt (schwere kardiovaskuläre Ereignisse, definiert als kardiovaskulärer Tod, Zielläsionsmyokardinfarkt oder ischämiebedingte Zielläsionsrevaskularisierung) war nach zwei Jahren um 30% und damit deutlich zugunsten der OCT-Gruppe reduziert, mit einer klinisch bedeutsamen absoluten Risikoreduktion von 4 Prozentpunkten (10,1% [OCT] versus 14,1% [Angiographie]; HR 0,70; 95%-KI 0,50–0,98; $p = 0,04$) [20].

Die ILUMIEN-IV-Studie ist die erste randomisierte Studie mit adäquater Power, um harte klinische Endpunkte bei einem breiter gefächerten Patientenkollektiv zu untersuchen. Es wurden 2487 Personen mit Diabetes mellitus oder komplexen Koronarläsionen eingeschlossen und randomisiert einer OCT-geführten oder einer angiographisch geführten Interventionsgruppe zugeteilt. In der OCT-Gruppe musste ein striktes Protokoll für die Stent-Optimierung befolgt werden. Der primäre Bildgebungsendpunkt war die erzielte minimale Stent-Fläche, der primäre klinische Endpunkt die Inzidenz von Zielgefässversagen im 2-Jahres-Follow-up. Die erzielte minimale Stent-Fläche war in der OCT-geführten Gruppe signifikant grösser, wenn auch numerisch von geringem Ausmass ($5,72 \pm 2,04$ versus $5,36 \pm 1,87$ mm²; mittlerer Unterschied 0,36 mm²; 95%-KI 0,21–0,51; $p < 0,01$). Dies war jedoch nicht mit einer statistisch signifikanten Reduktion von Zielgefässversagen as-

soziiert (7,4% versus 8,2%; HR 0,90; 95%-KI 0,67–1,19; $p = 0,45$). Es fand sich allerdings eine klinisch relevante 64%ige relative Risikoreduktion von Stent-Thrombosen zugunsten der OCT-geführten Intervention (HR 0,36; 95%-KI 0,14–0,91; $p = 0,02$). Das Resultat nach PCI zeigte in der OCT-Gruppe weniger Dissektionen und Malappositionen sowie eine bessere Läsionsabdeckung. Der Grund, warum der primäre klinische Endpunkt verfehlt wurde, ist unklar. Womöglich haben die sehr guten Ergebnisse in der Kontrollgruppe (minimale Stent-Expansion 81% mittels OCT versus 78% mittels Angiographie) zum neutralen Ergebnis beigetragen [21].

In Anbetracht dieser aktuellen Daten ergibt sich zusammengefasst folgendes Bild: Unabhängig davon, welche intrakoronare Bildgebungsmodalität zum Einsatz kommt (OCT oder IVUS), ist diese vor allem bei Personen mit komplexen Koronarläsionen mit bedeutsamen Vorteilen hinsichtlich harter klinischer Endpunkte (Zielgefässversagen, Gesamtsterblichkeit, Stent-Thrombosen) assoziiert (Abb. 5).

Dies wird in der nächsten Aktualisierung der Leitlinien zur Myokardrevaskularisation vermutlich zu einem Upgrade der Indikationsklasse von IIa («sollte erwogen werden») auf I («ist empfohlen») führen.

Ausblick

Eine zukünftige Domäne der intrakoronaren Bildgebung wird die Vorhersage und Vermeidung akuter Myokardinfarkte anhand der Plaque-Morphologie darstellen. Etwa die Hälfte aller akuten Myokardinfarkte geht von Rupturen nicht flusslimitierender Plaques aus, weswegen die Betroffenen häufig vor dem Herzinfarkt keine Beschwerden verspüren [22–24]. In Abbildung 6 ist die OCT-Darstellung einer vulnerablen Läsion mit daraus resultierender frischer Plaque-Ruptur zu sehen.

Bei Personen mit akutem Koronarsyndrom und dem entsprechend prothrombotischen Milieu ist eine Behandlung von Non-Culprit-Läsionen mit angiographischem Stenosegrad

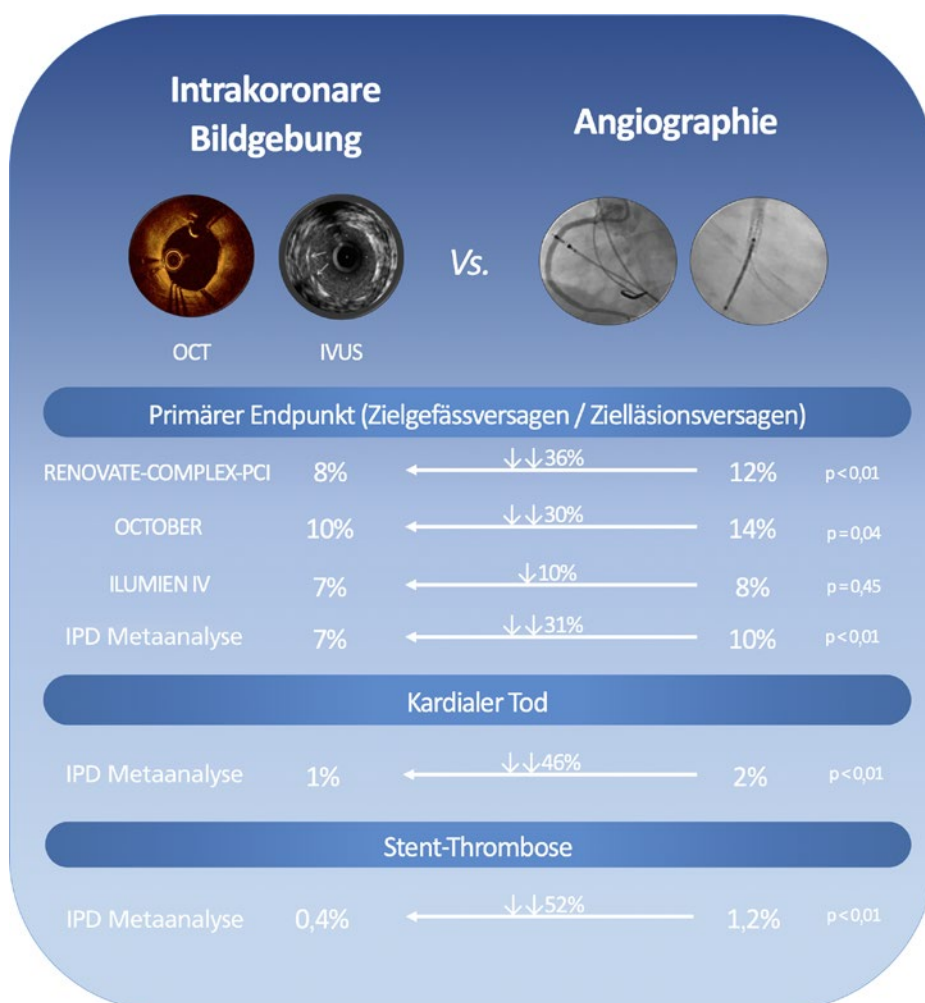


Abbildung 5: Zusammenfassung der rezenten Studienlage (Daten gemäss [18]).

Rezente Studien zeigen ein besseres Outcome nach Koronarintervention unter Kontrolle mittels intrakoronarer Bildgebung, gegenüber einer rein angiographisch geführten Behandlung. IPD: individuelle Patientendaten; IVUS: intravaskulärer Ultraschall; OCT: optische Kohärenztomographie.

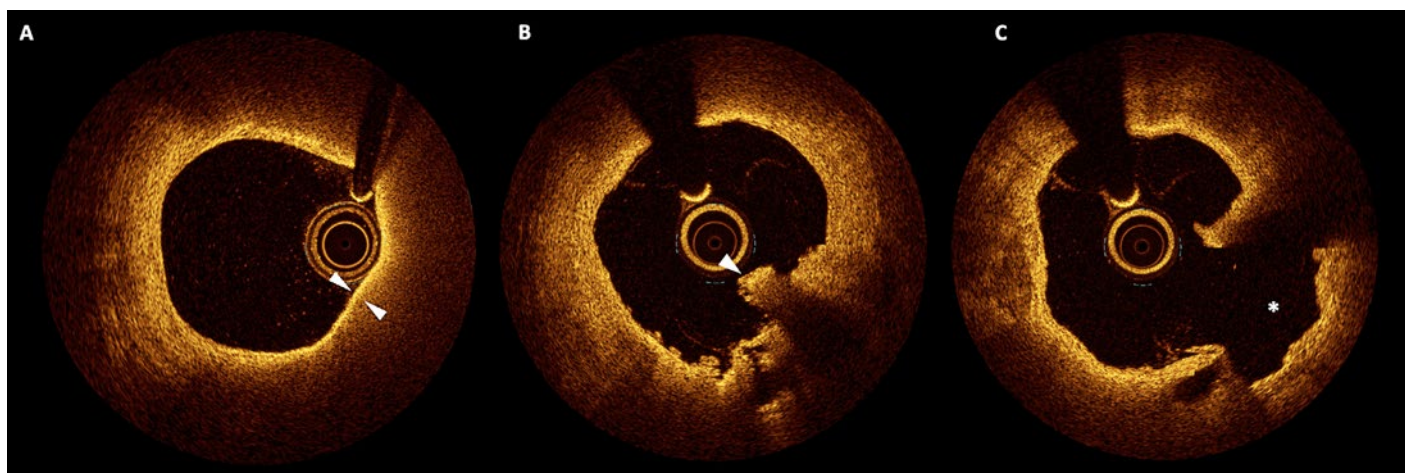


Abbildung 6: Rupturgefährdete Plaque.

Die häufigste Ätiologie des ST-Hebungsinfarktes ist eine Plaque-Ruptur mit Thrombozytenaggregation und Aktivierung der plasmatischen Gerinnungskaskade. **A)** Lipidhaltige Plaque mit dünner Kappe («thin cap fibroatheroma»; Pfeilköpfe) und erhöhtem Rupturrisiko. **B)** Intrakoronare Darstellung eines akuten ST-Hebungsinfarktes mit frischem Rest-Thrombus (Pfeilkopf). **C)** Verbleibende Plaque-Höhle (Stern).

von >70% klar etabliert (Klasse-IA-Indikation), unabhängig von der hämodynamischen Relevanz [25, 26]. Demgegenüber stehen angiographisch intermediäre Läsionen (40–70%), bei denen aktuell gemäss Leitlinien keine Indikation zur «prophylaktischen» interventionellen Behandlung gegeben ist. Es besteht aktuell eine Kontroverse, ob intermediäre Läsionen basierend auf ihrer hämodynamischen Relevanz (Evaluation mittels Druckdrahtmessung oder «fraktioneller Flussreserve» [FFR]) oder basierend auf intrakoronaren Bildgebungskriterien für ihre Vulnerabilität evaluiert und gegebenenfalls behandelt werden sollten. Mehrere laufende Studien beschäftigen sich mit dieser Fragestellung.

Untersuchungen mittels IVUS-NIRS und OCT konnten zeigen, dass funktionell (gemäss

FFR) nicht relevante Plaques mit dünner Kappe («thin-cap fibroatheromas» [TCFA]), kleinem Gefässlumen (<3,5 mm² in der OCT), hohem Lipidanteil und Makrophageninfiltration ein erheblich höheres Risiko für Plaque-Rupturen aufweisen [22–24]. In der Studie COMBINE OCT-FFR wurden 550 an Diabetes mellitus Erkrankte mit chronischem oder akutem Koronarsyndrom nachverfolgt. Funktionell nicht relevante Läsionen wurden anhand des Vorliegens eines TCFA unterteilt (circa 25% der Läsionen waren TCFA+). Nach 1,5 Jahren Follow-up traten Zielgefässmyokardinfarkte ausschliesslich in der TCFA+-Gruppe auf, und die Rate der klinisch indizierten Zielläsionsrevaskularisierungen war in dieser Gruppe fast 9-mal so hoch (11,2 % versus 1,4%) [27].

Als leitliniengerechte Therapiestrategie kommt in Abwesenheit einer angiographischen oder funktionellen (FFR-basierten) Relevanz, aber Nachweis von Hochrisiko-Plaques aktuell nur eine aggressivere medikamentöse Primärprophylaxe infrage [28]. Der mögliche Nutzen einer frühzeitigen interventionellen Behandlung ist Gegenstand laufender Studien [29].

Korrespondenz

Prof. Dr. med. et phil. Lorenz Räber
Leiter Herzkatheterlabor
Universitätsklinik für Kardiologie
Inselspital
Freiburgstrasse 20
CH-3010 Bern
lorenz.raeber[at]insel.ch

Funding Statement

MR deklariert Zuschüsse der Schweizerischen Herzstiftung und der Bangerter Rhyner Stiftung. LR erhielt Forschungsunterstützung an die Institution durch den Schweizer Nationalfonds und die Schweizerische Herzstiftung.

Conflict of Interest Statement

MR erhielt Beraterhonorare von Daiichi Sankyo, Sanofi Aventis, COR2ED, Novartis und Medtronic, Vortragshonorare von Daiichi Sankyo, Biotronik und Takeda Pharma. LR erhielt Forschungsunterstützung an die Institution durch Abbott, Boston Scientific, Biotronik, Heartflow, Infraredx, Sanofi, Regeneron und Vortrags- und/oder Beraterhonorare durch Abbott, Amgen, Biotronik, Canon, Medtronic, Novo Nordisk, Occlutech und Sanofi.

Author Contributions

LR hat Inhalt, Konzept und Gliederung des Beitrags inklusive der Abbildungen festgelegt. MR hat den ersten Draft erstellt, LR hat ihn revidiert.



Literatur

Die vollständige Literaturliste finden Sie unter:
<https://smf.swisshealthweb.ch/de/article/doi/smf.2024.1327157427>.



PD Dr. med. et phil. Miklos Rohla
Universitätsklinik für Kardiologie,
Inselspital, Universitätsspital Bern, Bern



Prof. Dr. med. et phil. Lorenz Räber
Universitätsklinik für Kardiologie,
Inselspital, Universitätsspital Bern, Bern

Das Wichtigste für die Praxis

- Die aktuell verfügbaren Stent-Plattformen haben ein Plateau hinsichtlich ihrer Sicherheit und Effektivität erreicht.
- Eine weitere Verbesserung des langfristigen Outcome der Patientinnen und Patienten gelingt gegenwärtig mit rigorosen sekundärprophylaktischen Massnahmen und der intrakoronaren Bildgebung.
- Die optische Kohärenztomographie erlaubt eine akkurate Interventionsplanung, die Optimierung des unmittelbaren Resultats und das Erkennen von angiographisch nicht fassbaren Komplikationen.
- Die Zukunft der intrakoronaren Bildgebung liegt in der Erkennung und womöglich «prophylaktischen» Behandlung vulnerabler Plaques.