

Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauserkrankungen

**Intrakoronare Bildgebung: Die
Zukunft der perkutanen
Koronarintervention //**
**Intracoronary imaging: The
future of percutaneous coronary
intervention**

Rohla M, Räber L

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2025; 32

(5-6), 117-122

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031105M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

Veranstaltungskalender

Hybrid-Veranstaltungen der Herausgeber des **Journals für Kardiologie**

Finden Sie alle laufend aktualisierten Termine
auf einem Blick unter

www.kup.at/images/ads/kongress.pdf

Intrakoronare Bildgebung

Die Zukunft der perkutanen Koronarintervention*

M. Rohla, L. Räber

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung aus: Swiss Medical Forum 2024; 24: 82–7.

Im Lichte aktueller Veröffentlichungen bietet dieser 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 Kardiologinnen und Kardiologen.

■ 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 Kobalt-Chrom oder Platin-Chrom) mit geringerer Strebendicke, biokompatiblere 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 Langzeitresultate 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 (IVUS)

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 Gewebescharakterisierung, 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 (OCT)

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 Gewebescharakteristika 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 Gewebescharakterisierung möglich ist, inklusive Darstellung der Plaque-Komposition bis hin zu Makrophageninfiltration,

Aus der Universitätsklinik für Kardiologie, Inselspital, Universitätsspital Bern, Schweiz
Korrespondenzadresse: Prof. Dr. med. et phil. Lorenz Räber, Leiter Herzkatheterlabor, Universitätsklinik für Kardiologie, Inselspital, CH-3010 Bern, Freiburgstraße 20;
E-Mail: lorenz.raeber@insel.ch

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 (ca. 10–30 ml pro Rückzug), 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 liegenden 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).

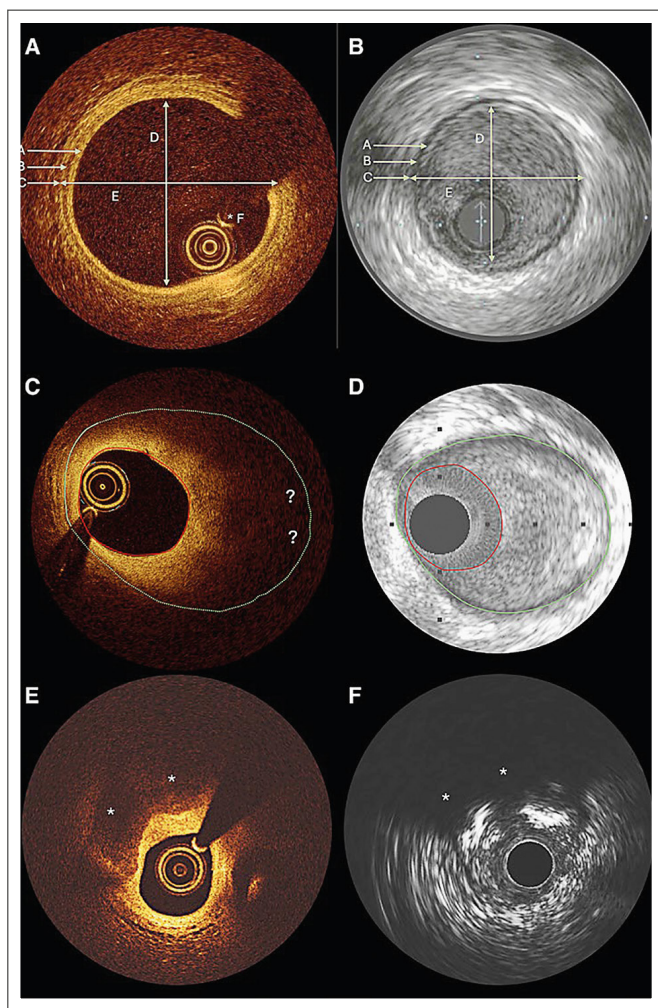


Abbildung 1: Klassische Beispiele von Gefäßdarstellungen mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) und intravaskulärem Ultraschall (IVUS). (A/B): Identifikation der arteriellen Gefäßschichten in OCT (A) und IVUS (B) (A: Intima; B: Media; C: externe elastische Membran (EEM); D: Lumen-Dimension; E: Durchmesser 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 kalkifizierten Plaque. Im OCT (E) charakterisiert durch eine scharf umrandete Signalabschwächung (Sterne). Im IVUS (F) charakterisiert durch einen Schallschatten.

■ 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 > 80 % im Vergleich zum Referenzsegment oder eine Fläche innerhalb des Stents von mindestens 4,5 mm^2 (gemäß OCT) oder 5,5 mm^2 (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 schienen, ist die Malapposition eine der häufigsten 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 Konsensusdokumenten 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.

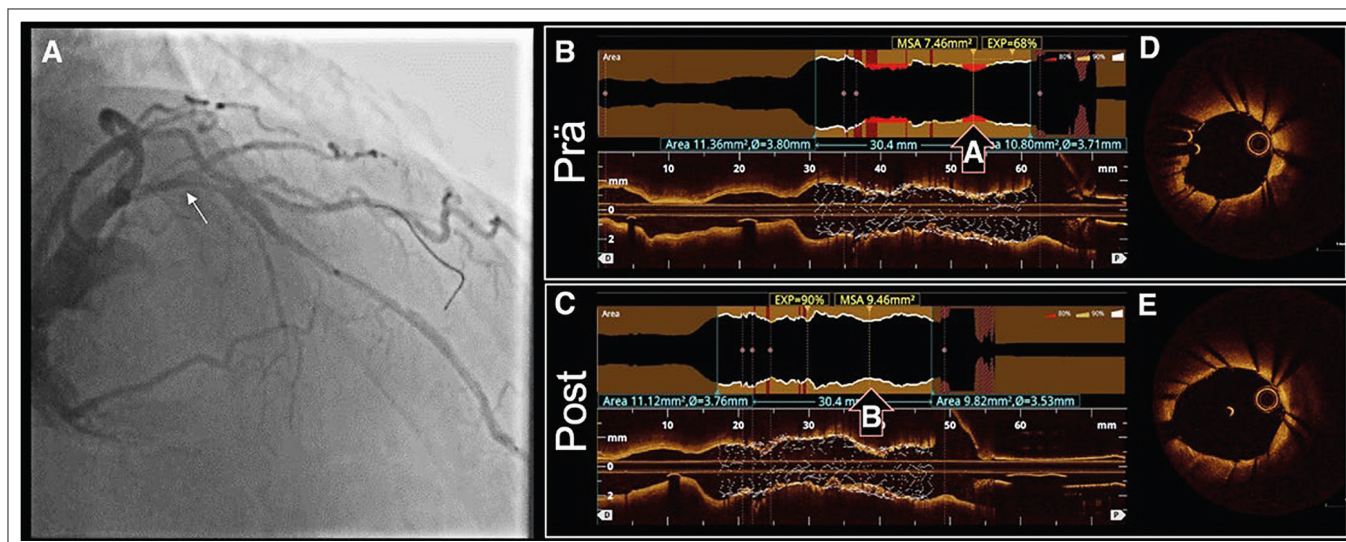


Abbildung 2: Stent-Optimierung mittels intrakoronarer Bildgebung: Unterexpansion, definiert durch eine zu geringe Stent-Entfaltung im Verhältnis zu einem Referenzsegment. **(A):** Koronarangiographie mit langstreckiger signifikanter Stenose des proximalen Ramus interventricularis anterior (RIVA; Pfeil). **(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.

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 Malappositionen ist dies kein binäres Phänomen und muss nach Größenausdehnung und Lokalisation unterschieden werden. Gemäß Expertenkonsensus sollten ausgedehnte Dissektionen ($> 60^\circ$, > 2 mm Länge, mit Penetration in die Media oder Adventitia) korrigiert werden [11]. In seltenen Fällen können tiefe Dissektionen intramurale Hämatome verursachen, 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 Meta-Analyse randomisierter Studien mit individuellen Patientendaten präsentiert, die auch zeitgleich veröffentlichte neue Studien beinhaltete. 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 kardiovaskuläre Todesfälle (RR 0,54;

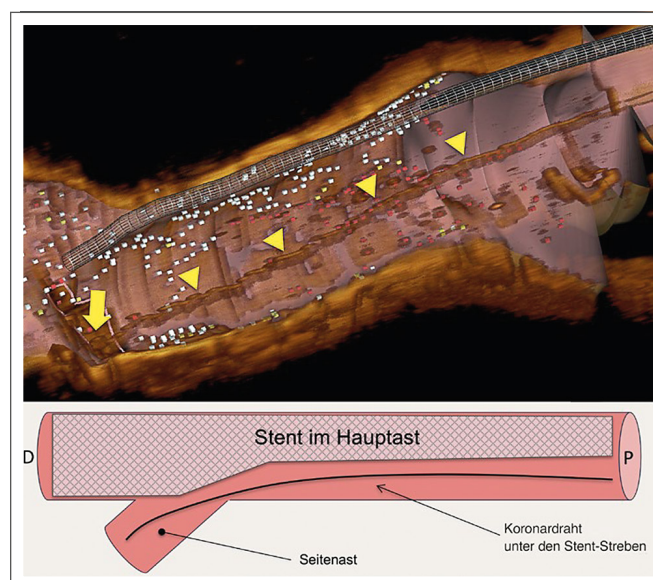


Abbildung 3: Stent-Optimierung mittels intrakoronarer Bildgebung: schwere Malapposition während Bifurkationsbehandlung. Optische Kohärenztomographie (OCT) mit 3D-Rekonstruktion eines schwerst malappositionierten Stents aufgrund einer ungewollten Drahtlage unter den Stent-Streben. Der kaum entfaltete 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).

95-%-KI: 0,40–0,74; $p < 0,01$), Zielgefäß-Myokardinfarkte (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 Kontrastmittel-induzierten Nephropathie (1,4 % versus 1,5%) vergleichbar [17, 18].

In die Meta-Analyse 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, chronische Verschlüsse, Hauptstammläsionen, lange oder schwer verkalkte 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 assoziiert (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

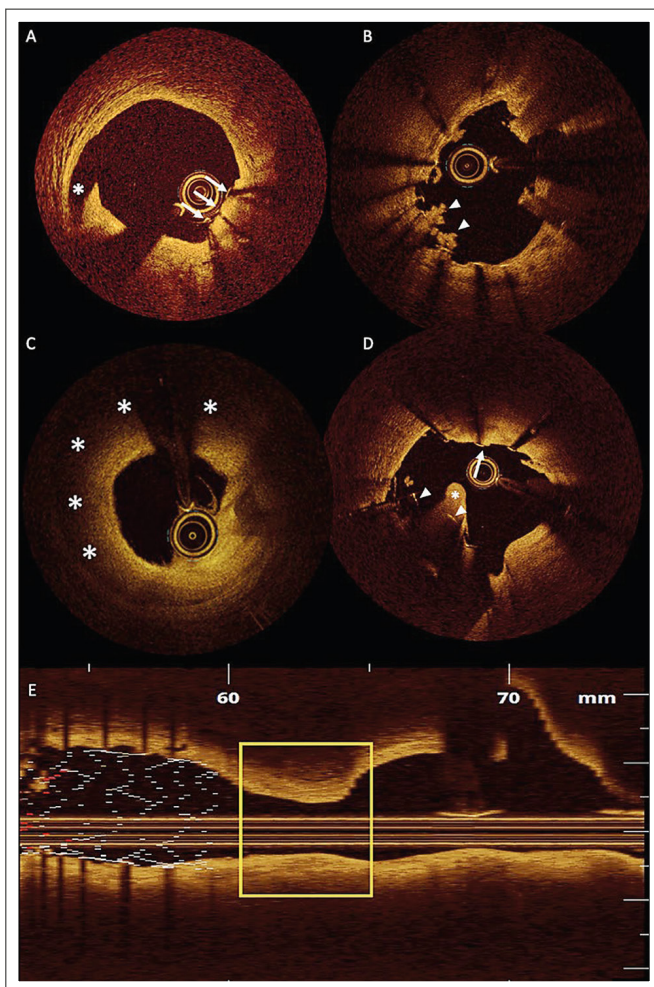


Abbildung 4: Detektion von Komplikationen mittels optischer Kohärenztomographie. (A): Dissektion (Stern) am Stent-Rand. Pfeile: schattenwerfende Stent-Streben. (B): Angiographisch nicht fassbare Thrombusaktivität an den Stent-Streben. Thromben kommen klassischerweise als wolkige, unregelmäßig begrenzte 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 dieses 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.

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 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.

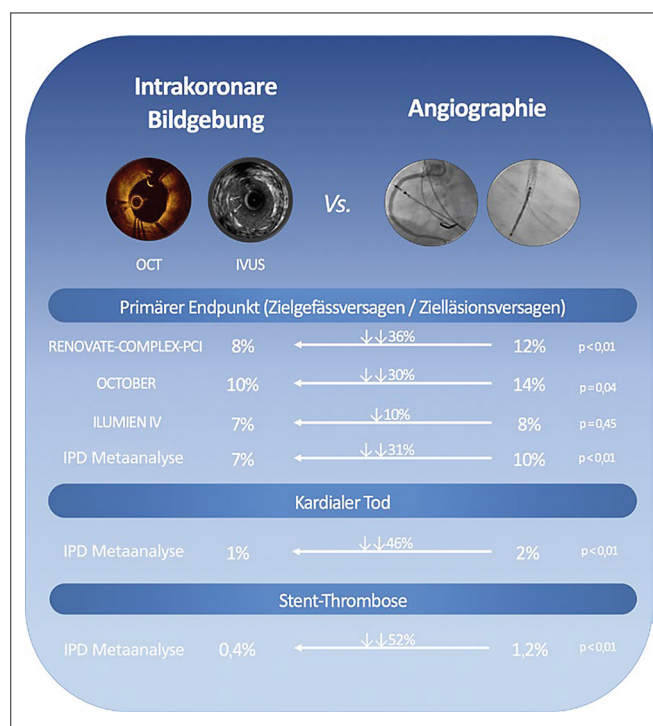


Abbildung 5: Zusammenfassung der rezenten Studienlage (Daten gemäß [18]). Rezente Studien zeigen ein besseres Outcome nach Koronarintervention unter Kontrolle mittels intrakoronarer Bildgebung gegenüber einer rein angiographisch geführten Behandlung (IPD: individuelle Patientendaten; IVUS: intravaskulärer Ultraschall; OCT: optische Kohärenztomographie).

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 (ca. 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].

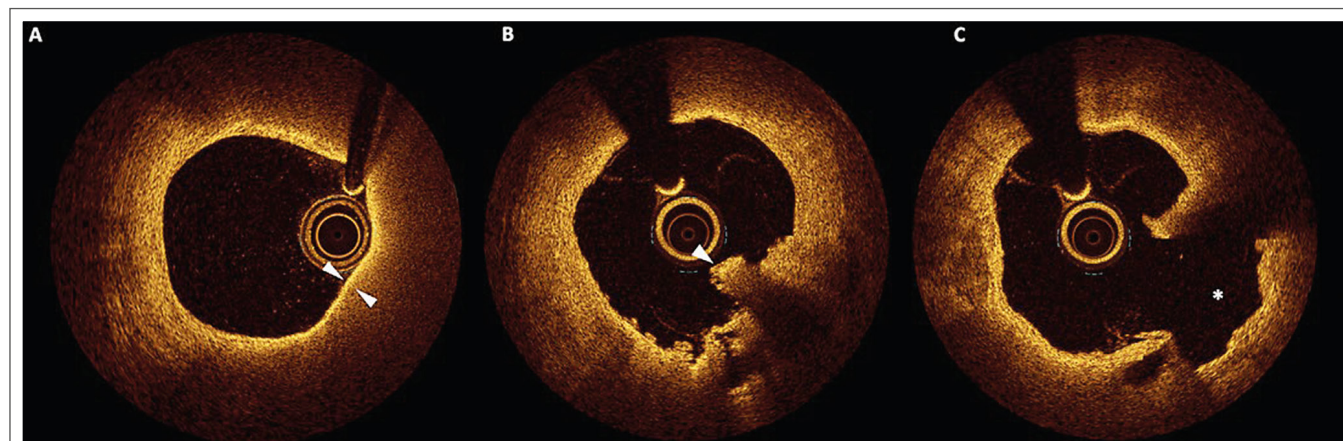


Abbildung 6: Rupturgefährdete Plaque. Die häufigste Ätiologie des ST-Hebungsinfarktes ist eine Plaque-Ruptur mit Thrombozytenaggregation und Aktivierung der plasmatischen Gerinnungskaskade. (A): Lipidhaltige Plaque mit dünner Kappe („thin cap fibroatheroma“; Pfeilköpfe) und erhöhtem Rupturrisiko. (B): Intrakoronare Darstellung eines akuten ST-Hebungsinfarktes mit frischem Rest-Thrombus (Pfeilkopf). (C): Verbleibende Plaque-Höhle (Stern).

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].

■ Das Wichtigste für die Praxis

- Die aktuell verfügbaren Stent-Plattformen haben ein Plateau hinsichtlich ihrer Sicherheit und Effektivität erreicht.
- Eine weitere Verbesserung des langfristigen Outcomes der Patientinnen und Patienten gelingt gegenwärtig mit rigorosen sekundär-prophylaktischen 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.

■ 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.

■ 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.

Die vollständige Literaturliste finden Sie unter:

<https://smf.swisshealthweb.ch/de/article/doi/smf.2024.1327157427>



Anhang – Update des Beitrags für die Publikation im Journal für Kardiologie – Juli 2024

Kurzfassung: Kontemporäre „Drug-eluting“-Stents (DES) haben sich in all ihren drei Komponenten (dem Metallgerüst, dem Polymer und der darin freigesetzten antiproliferativen Substanz) deutlich verbessert, sodass ein schwer zu überbietendes Maß an Effektivität und Sicherheit entstanden ist.

Um die Prognose von Patienten, welche einer perkutanen Koronarintervention unterzogen werden, weiter zu verbessern, haben wir drei bedeutende Eckpfeiler zur Verfügung: die Optimierung der Sekundärprophylaxe, moderne antithrombotische Strategien und die intrakoronare Bildgebung. Im Lichte aktueller Veröffentlichungen bietet dieser Review einen praxisnahen Überblick über intrako-

ronare Bildgebungsmodalitäten, adressiert an ein Zielpublikum von nicht-invasiven Kardiologen.

Schlüsselwörter: Intrakoronare Bildgebung, Optische Kohärenztomographie

Abstract: Intracoronary imaging. The future of percutaneous coronary intervention. Contemporary drug-eluting stents (DES) improved in all three of their components (i.e. the metallic backbone, the polymer and the released antiproliferative substance). Consequently, DES now provide an outstanding efficacy and safety profile, that is challenging to further advance.

To improve the prognosis of patients undergoing percutaneous coronary intervention, three main therapeutic avenues are at our disposal: Optimal secondary prevention, modern antithrombotic strategies, and intracoronary imaging guided interventions. In the light of recent data, this review offers a clinical overview of intracoronary imaging modalities, directed towards a target audience of non-invasive cardiologists. *J Kardiol* 2025; 32 (5–6): 117–22.

Key words: intracoronary imaging, optical coherence tomography

Ergänzung des letzten Absatzes, Seite 121:

Die im April 2024 veröffentlichte PREVENT-Studie bestätigt dieses Konzept erstmals in einer großen Patientenpopulation. Es wurden 5627 Patienten mit nicht-flusslimitierenden (FFR > 0,80), aber vermeintlich vulnerablen Läsionen zur PCI oder optimalen medikamentösen Therapie randomisiert. Der primäre koronarischämische Endpunkt war mit einer relativen Risikoreduktion von 89 % deutlich zugunsten der PCI reduziert [30].

Aktualisierung Referenzen:

18. Stone GW, Christiansen EH, Ali ZA, Andreasen LN, Maehara A, et al. Intravascular imaging-guided coronary drug-eluting stent implantation: an updated network meta-analysis. *Lancet* 2024; 403: 824–37.
30. Park SJ, Ahn JM, Kang DY, Yun SC, Ahn YK, et al. Preventive percutaneous coronary intervention versus optimal medical therapy alone for the treatment of vulnerable atherosclerotic coronary plaques (PREVENT): a multicentre, open-label, randomised controlled trial. *Lancet* 2024; 403: 1753–65.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☒ Medizintechnik-Produkte



Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ Bestellung e-Journal-Abo

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

Impressum

Disclaimers & Copyright

Datenschutzerklärung