

# Inwazyjne wewnątrznaczyniowe techniki diagnostyczne (IVUS/OCT) w warunkach polskiej praktyki klinicznej

## Opinia Ekspertów Asocjacji Interwencji Sercowo-Naczyniowych Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego

Tomasz Pawłowski<sup>1</sup>, Jacek Legutko<sup>2,3</sup>, Janusz Kochman<sup>4</sup>, Tomasz Roleder<sup>5</sup>, Jerzy Pręgowski<sup>6</sup>, Zbigniew Chmielak<sup>6</sup>, Jacek Kubica<sup>7</sup>, Andrzej Ochała<sup>8</sup>, Radosław Parma<sup>8</sup>, Marek Grygier<sup>9</sup>, Dariusz Dudek<sup>10</sup>, Wojciech Wojakowski<sup>8</sup>, Stanisław Bartus<sup>10</sup>, Adam Witkowski<sup>6</sup>, Robert Gil<sup>1</sup>

**Recenzenci:** Maciej Lesiak<sup>9</sup>, Krzysztof Reczuch<sup>11</sup>, Paweł Kleczyński<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Klinika Kardiologii Inwazyjnej, Centralny Szpital Kliniczny MSWiA, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego, Warszawa

<sup>2</sup>Oddział Kliniczny Kardiologii Interwencyjnej, Instytut Kardiologii, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

<sup>3</sup>Krakowski Szpital Specjalistyczny im Jana Pawła II, Kraków

<sup>4</sup>Katedra i Klinika Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa

<sup>5</sup>Oddział Kardiologii, Wojewódzki Szpital Specjalistyczny w Wrocławiu, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy, Wrocław

<sup>6</sup>Klinika Kardiologii Interwencyjnej i Angiologii, Narodowy Instytut Kardiologii, Warszawa

<sup>7</sup>Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych, *Collegium Medicum*, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Bydgoszcz

<sup>8</sup>Klinika Kardiologii i Chorób Strukturalnych Serca, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

<sup>9</sup>Katedra Kardiologii, I Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego, Poznań

<sup>10</sup>II Klinika Kardiologii, *Collegium Medicum*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

<sup>11</sup>Klinika Chorób Serca, Uniwersytet Medyczny, Wrocław

### Jak cytować / How to cite:

Pawłowski T, Legutko J, Kochman J et al., Clinical use of intracoronary imaging modalities in Poland. Expert opinion of the Association of Cardiovascular Interventions of the Polish Cardiac Society. *Kardiologia Polska*. 2022; 80(4): 509–519, doi: 10.33963/KPa2022.0071

### Adres do korespondencji:

dr hab. n. med. Tomasz Pawłowski, Klinika Kardiologii Inwazyjnej CSK MSWiA, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego, ul. Wołoska 137, 02-507 Warszawa, tel.: +48 477 221 100, e-mail: pawtom@gmail.com  
Copyright © by the Polish Cardiac Society, 2022

## STRESZCZENIE

W niniejszej pracy przedstawiono aktualne poglądy i wskazania dotyczące wykorzystania klinicznego inwazyjnych wewnątrznaczyniowych obrazowych technik diagnostycznych, tj. ultrasonografii wewnątrzwieńcowej (IVUS, *intravascular ultrasound*) oraz optycznej koherentnej tomografii (OCT, *optical coherence tomography*) w polskich ośrodkach kardiologii inwazyjnej. Omówiono zastosowanie wymienionych technik w przypadku diagnostyki zwężenia pnia lewej tętnicy wieńcowej, optymalizacji zabiegów implantacji stentu, leczenia zmian zwapniałych oraz inne istotne klinicznie zagadnienia.

**Słowa kluczowe:** implantacja stentu, optyczna koherentna tomografia, pień lewej tętnicy wieńcowej, ultrasonografia wewnątrzwieńcowa

## WSTĘP

Niniejsza opinia ekspertów przedstawia aktualne poglądy i wskazania dotyczące wykorzystania klinicznego wewnątrznaczyniowych inwazyjnych obrazowych technik diagnostycznych, tj. ultrasonografii wewnątrzwieńcowej (IVUS, *intravascular ultrasound*) oraz optycznej koherentnej tomografii (OCT, *optical coherence tomography*). Dokument

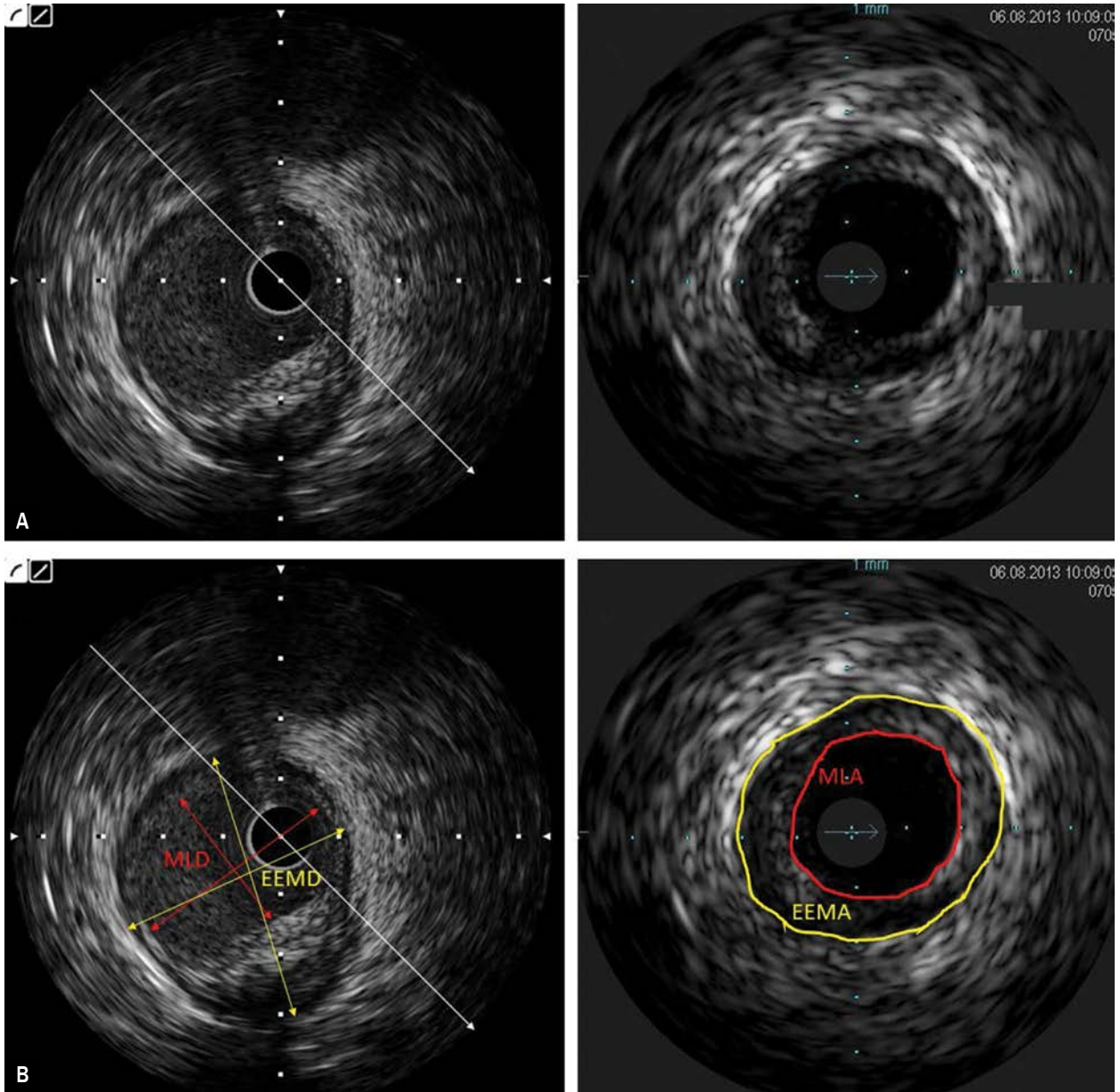
został opracowany przez ekspertów powołanych przez Zarząd Asocjacji Interwencji Sercowo-Naczyniowych Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego.

Z opublikowanego rejestru polskich autorów [1] wynika, że techniki IVUS/OCT są wykorzystywane rzadko, gdyż doświadczony operator stosuje je raz na 5 tygodni, natomiast wyniki rejestru przeprowadzonego przez *European*

*Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions* [2] wskazują, że połowa operatorów korzysta z tych technik jedynie u ponad 15% pacjentów. Główne wskazania do zastosowania IVUS/OCT obejmują optymalizację implantacji stentu oraz zabiegi angioplastyki w zakresie pnia lewej tętnicy wieńcowej. Autorzy wymienionych rejestrów wskazują, że głównymi czynnikami ograniczającymi wykorzystanie IVUS/OCT w praktyce klinicznej są koszty oraz przedłużenie czasu trwania zabiegu.

## ULTRASONOGRAFIA WEWNĄTRZWIĘCOWA ORAZ OPTYCZNA KOHERENTNA TOMOGRAFIA

Ultrasonografia wewnątrzwieńcowa wykorzystuje do pozyskiwania obrazu falę ultradźwiękową [3]. Zamontowany w sondach przetwornik generuje falę ultradźwiękową, która po odbiciu od struktur w świetle i w ścianie tętnicy wieńcowej jest przetwarzana na obraz (dwuwymiarowy, w skali szarości, *ryc. 1A–B*). Szczegółowe informacje



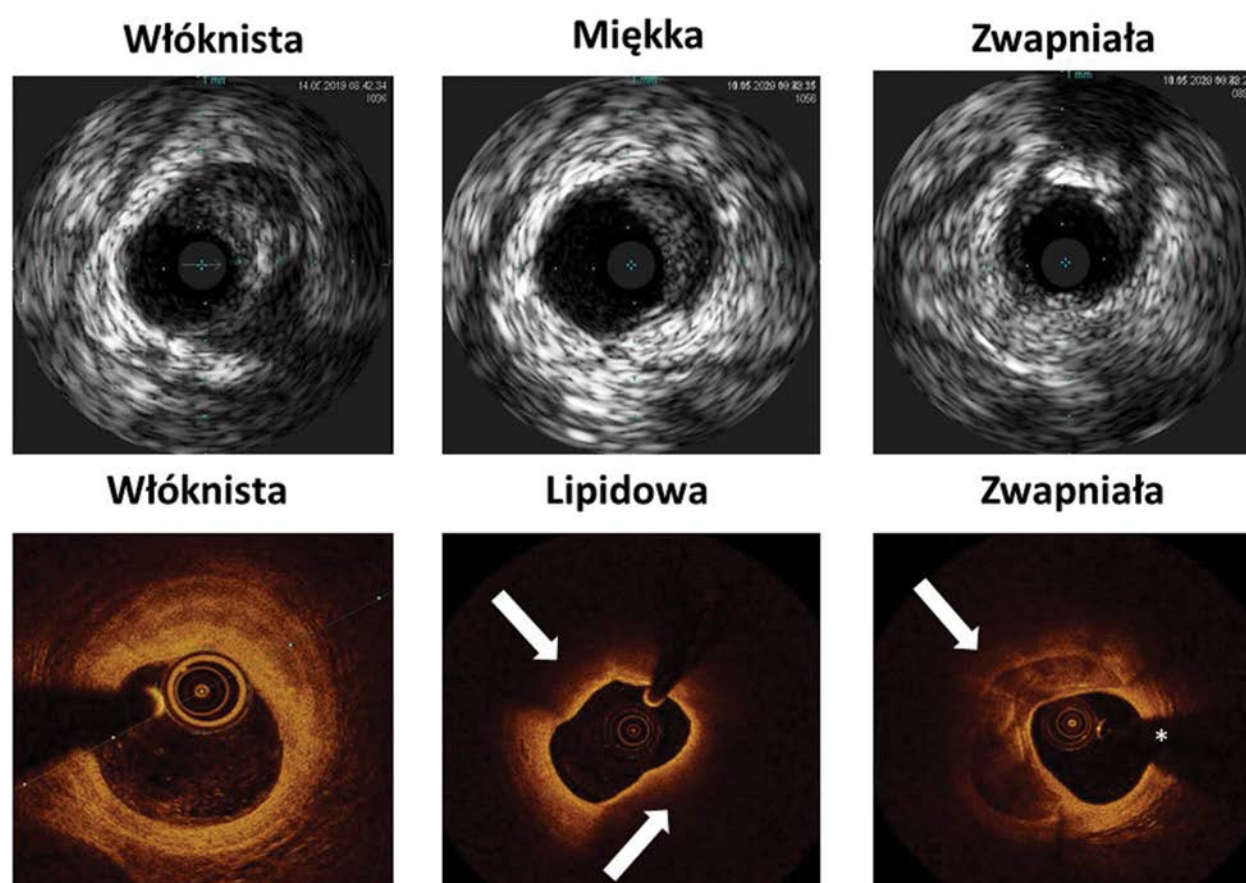
**Rycina 1. A.** Obrazy ultrasonograficzne uzyskiwane w obrazowaniu sondą mechaniczną 40 MHz (Boston Scientific Co.) (po lewej) oraz sondą elektroniczną 20 MHz (Philips IGT Co., Volcano Co.) (po prawej). W pierwszym przypadku emitujący falę ultrasonograficzną pojedynczy kryształ jest zamontowany na obrotowym wale, który skanuje z odpowiednią prędkością obwód naczynia — odbite echo jest przetwarzane w aparacie IVUS. W drugim przypadku głowica sondy zbudowana jest z 64 kryształów piezoelektrycznych, którą są wzbudzone elektrycznie, wysyłając kolejno falę ultrasonograficzną, która jest następnie przetwarzana w aparacie IVUS; **B.** Przykłady pomiarów IVUS na przekroju poprzecznym. Po stronie lewej przykłady pomiarów EEMD oraz MLD. Dokonuje się co najmniej dwóch pomiarów w liniach prostokątnych, wyznaczając wymiary maksymalny i minimalny — ich iloraz stanowi wskaźnik symetryczności naczynia/światła. Po stronie prawej pomiary EEMA oraz MLA

Skróty: EEMA (*external elastic membrane area*), pole powierzchni naczynia; EEMD (*external elastic membrane diameter*), średnica naczynia; IVUS (*intravascular ultrasound*), ultrasonografia wewnątrzwieńcowa; MLA (*minimal lumen area*), minimalne pole światła naczynia; MLD (*minimal lumen diameter*), minimalna średnica światła naczynia

**Tabela 1.** Porównanie obu metod obrazowania wewnątrzściennego wraz z charakterystyką wykorzystania w poszczególnych aspektach anatomiczno-klinicznych

IVUS		Cecha	OCT
Skala szarości	High definition		
Ultradźwięki (20–45 MHz)	Ultradźwięki (60 MHz)	Źródło obrazu	Światło zbliżone do podczerwieni
100–200 $\mu\text{m}$ /200–300 $\mu\text{m}$	40–60 $\mu\text{m}$ /90–150 $\mu\text{m}$	Rozdzielczość (osiowa/boczna)	15–20 $\mu\text{m}$ /20–40 $\mu\text{m}$
10 mm	4–8 mm	Głębokość penetracji tkanki	1–2,5 mm
+++	+++	Ekspansja stentu	+++
++	++	Malapozycja przęseł	+++
+	++	Zakrzep w naczyniu	+++
+	++	Elementy lipidowe	++
++	++	Zwapnienia	+++
++	+++	Dyssekcja brzeżna	+++

Skróty: IVUS (*intravascular ultrasound*), ultrasonografia wewnątrzścienne; OCT (*optical coherence tomography*), optyczna tomografia koherentna

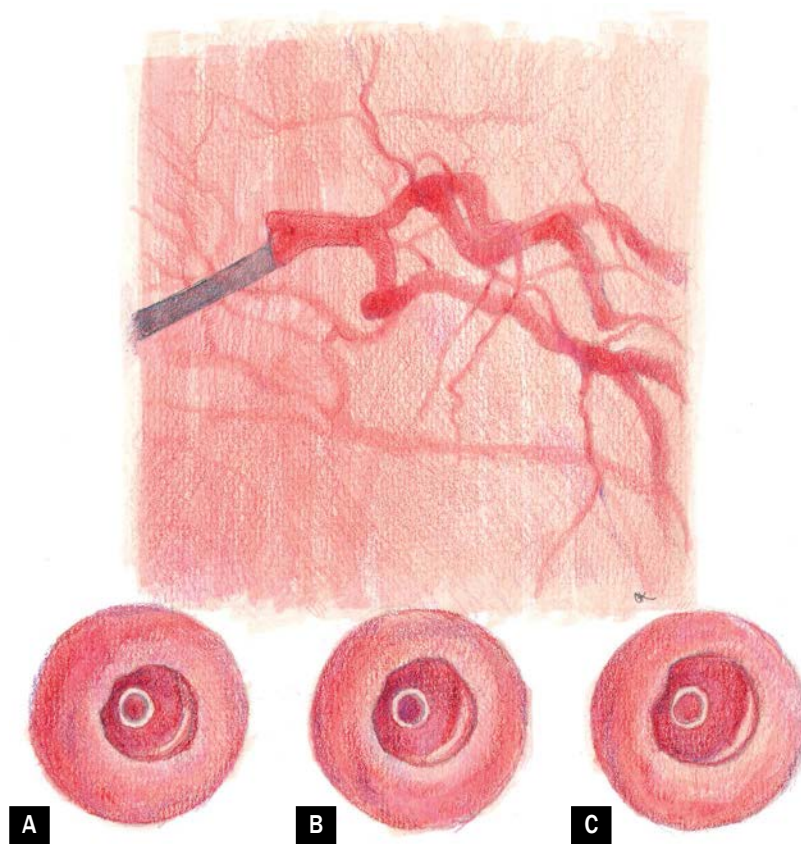
**Rycina 2.** Przykłady podstawowych typów blaszek miażdżycowych w obrazowaniu IVUS (*intravascular ultrasound*, ultrasonografia wewnątrzścienne — górna linia) oraz OCT (*optical coherence tomography*, optyczna tomografia koherentna — dolna linia)

na ten temat sposobów analizy obrazów IVUS można znaleźć w dokumentach eksperckich opisujących tę metodykę [4]. W ostatnich latach do praktyki klinicznej została powszechnie wprowadzona IVUS wysokiej rozdzielczości [5].

Optyczna koherentna tomografia jest techniką wykorzystującą źródło światła o częstotliwości zbliżonej do podczerwieni, z zakresem długości fali światła blisko pod-

czerwonego (1250–1350 nm). Wykorzystanie fali światła pozwala na uzyskanie obrazów o rozdzielczości 10-krotnie większej niż IVUS (10–20  $\mu\text{m}$ ), a także umożliwia szybki przesuw sondy wewnątrz naczynia z prędkością 40 mm/s, w zależności od systemu OCT [6]. Porównanie systemów IVUS i OCT przedstawia tabela 1.

Przykłady rodzajów blaszek miażdżycowych w obrazowaniu IVUS i OCT zaprezentowano na rycinie 2.



**Rycina 3.** Schematyczne przedstawienie zmiany pośredniej pnia lewej tętnicy wieńcowej w wewnątrznaczyniowym badaniu ultrasonograficznym. Według [14] obszar światła  $< 4,5 \text{ mm}^2$  (A) wymaga rewaskularyzacji, natomiast pacjenci z polem światła prezentowanym w podpanelu C wymagają leczenia. Wartości pośrednie należy zdiagnozować za pomocą dodatkowych technik (B; np. cząstkowa rezerwa wieńcowa)

### Diagnostyka zwężeń pośrednich w pniu lewej tętnicy wieńcowej

Zmiany pośrednie pnia lewej tętnicy wieńcowej można oceniać przy użyciu inwazyjnych metod czynnościowych i obrazowych. Te drugie dostarczają jednak dodatkowych danych w przypadku pacjentów, u których występują niestabilne blaszki miażdżycowe skutkujące ostrym zespołem wieńcowym (OZW) lub u których podejrzewa się spazm w obrębie pnia lewej tętnicy wieńcowej (LTW). Ponadto pozwalają na wizualizację zaawansowania miażdżycy zarówno w pniu LTW, jak i w jego gałęziach [7], co ma znaczenie przy planowaniu rewaskularyzacji przeszczątkowej.

W badaniu Jasti i wsp. [8] wykazano, że minimalne pole powierzchni światła w pniu LTW, które koreluje z wartością cząstkowej rezerwy wieńcowej (FFR, *fractional flow reserve*)  $< 0,75$ , wynosi  $5,9 \text{ mm}^2$  przy wysokiej czułości i specyficzności wyników [8]. Bazując na tych obserwacjach, de la Torre Hernandez i wsp. [9] udowodnili w badaniu LITRO, że odroczenie zabiegu rewaskularyzacji na podstawie wyniku IVUS ( $> 6,0 \text{ mm}^2$ ) jest bezpieczne w dwuletnim okresie obserwacji. Dane pochodzące z publikacji autorów polskich wskazują, że minimalne pole powierzchni pnia LTW koreluje z ujemnym wynikiem FFR ( $> 0,75$ ) wynosi  $8,9 \text{ mm}^2$  [10].

Z drugiej jednak strony Kang i wsp. [11] wykazali w populacji azjatyckiej obejmującej 55 pacjentów, że wartością odcięcia dla wartości FFR  $< 0,80$  jest pole powierzchni światła naczynia w pniu  $4,8 \text{ mm}^2$ , natomiast dla wartości FFR  $< 0,75$  powinno ono wynosić  $4,1 \text{ mm}^2$ . Obliczono, że u chorych ze wskaźnikiem masy ciała  $< 24$  lub masą lewej komory  $< 156 \text{ g}$  pole powierzchni światła naczynia odpowiadające FFR  $< 0,80$  powinno wynosić co najmniej  $4,1 \text{ mm}^2$  [12]. Obserwacja ta jest zgodna z ogólną opinią ekspertów, którzy zwracają uwagę, że wyniki uzyskane przez autorów koreańskich wykazują związek z charakterystyką demograficzną populacji azjatyckich (masa ciała, wzrost, występowanie nadwagi), co przekłada się na mniejsze wymiary pnia LTW oraz naczyń wieńcowych w ogóle. Ostatnio stwierdzono również, że różnice etniczne mogą mieć wpływ na rozmiar tętnic wieńcowych niezależnie od parametrów określających wielkość ciała, takich jak masa ciała, wzrost czy powierzchnia ciała [13]. Z tego względu autorzy europejskiego stanowiska dotyczącego obrazowania wewnątrzwieńcowego rekomendują aby przedział  $4,5\text{--}6,0 \text{ mm}^2$  traktować jako szarą strefę i każdorazowo w takim przypadku rozważyć ocenę czynnościową zwężenia w pniu (ryc. 3) [14].

**Tabela 2.** Rekomendacje ekspertów dotyczące wykorzystania obrazowania wewnątrzwieńcowego w praktyce klinicznej

Rodzaj sytuacji kliniczno-anatomicznej	Rekomendacja	Wybór IVUS/OCT
Optymalizacja zabiegów implantacji stentów w tętnicach natywnych	W przypadku zabiegów implantacji stentów w tętnicach natywnych należy rozważyć użycie obrazowania wewnątrzwieńcowego zarówno przed implantacją (wielkość naczyń, zwężenia itp.), jak i po implantacji (stopień ekspansji, dyssekcje brzeżne, <i>geographic miss</i> itp.). W procesie optymalizacji rekomenduje się dążenie do uzyskania MLA 5,5 mm <sup>2</sup> (w badaniu IVUS) lub 4,5 mm <sup>2</sup> (w badaniu OCT) i/lub uzyskanie >80% średnio-nej wartości pola powierzchni światła naczyń w odcinku referencyjnym proksymalnym i distalnym. Operator powinien dążyć do korekty istotnej malapozycji oraz zabezpieczenia rozległych dyssekcji brzeżnych. W przypadku długich zmian oraz zabiegów rekanalizacji CTO zaleca się wykorzystanie obrazowania na każdym etapie procedury	IVUS = OCT
Optymalizacja rewaskularyzacji u pacjentów z obecnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych	Zaleca się użycie obrazowania wewnątrzwieńcowego w celu wyboru odpowiedniej techniki terapeutycznej, w tym ablacynnej, u wybranych pacjentów z pośrednimi lub ciężkimi zwężeniami w tętnicach wieńcowych. Wykorzystanie obrazowania wewnątrzwieńcowego po implantacji stentu pozwala na optymalizację rozprężenia protezy	OCT > IVUS
Diagnostyka zwężeń pośrednich pnia LTW	Zaleca się zastosowanie ultrasonografii wewnątrzwieńcowej do diagnostyki zwężeń pośrednich pnia LTW. Badanie powinno obejmować ujścia obu naczyń głównych wraz z oceną morfologii i rozległości (ciągłości blaszki) miażdżycy. Jako wartość graniczną zaleca się uznać 6 mm <sup>2</sup> . W przypadkach wątpliwych badanie IVUS może być uzupełnione o badanie FFR	IVUS
Optymalizacja zabiegu angioplastyki w zakresie pnia LTW	Obrazowanie wewnątrzwieńcowe metodą IVUS powinno być obowiązkowe w przypadku każdego zabiegu implantacji stentu w zakresie pnia LTW, a zwłaszcza w przypadku technik dwustentowych. Zaleca się, aby IVUS zastosować zarówno przed zabiegiem (do zaplanowania procedury), jak i po implantacji stentu (w celu wykrycia niedopięcia stentu oraz malapozycji przęseł itp.). Wykorzystanie OCT do oceny implantacji stentów jest możliwe, ale ma pewne ograniczenia ze względu na technikę akwizycji obrazu	IVUS > OCT
Obrazowanie wewnątrzwieńcowe w przypadku podejrzenia OZW	Zaleca się wykorzystanie obrazowania wewnątrzwieńcowego w każdym przypadku podejrzenia OZW, w którym brak jest ewidentnych znamion blaszki miażdżycowej odpowiedzialnej za epizod, w celu wykluczenia takich złazisk, jak erozja czy pęknięcie blaszki, obecność zakrzepu śródnaczyniowego czy spontaniczna dyssekcja tętnicy wieńcowej. OCT jest preferowana w diagnostyce i leczeniu OZW związanego z niewydolnością stentu (STF) spowodowaną rozwarstwieniem, malapozycją przęseł, protruzją blaszki czy neoaterosklerozą	OCT > IVUS
Obrazowanie w przypadku spontanicznej dyssekcji tętnicy wieńcowej	Preferowana jest IVUS ze względu na obrazowanie bez użycia kontrastu, co może pogłębić wielkość krwiaka śródściennego	IVUS > OCT
Diagnostyka przyczyn STF	Zaleca się wykorzystanie obrazowania wewnątrzwieńcowego w celu wykluczenia mechanicznych przyczyn restenozy lub zakrzepicy w stencie, takich jak niedopięcie stentu, dyssekcje brzeżne, nabyte malapozycje przęseł czy neoateroskleroza. Obrazowanie wewnątrzwieńcowe może być pomocne w wyborze terapii	OCT > IVUS
Waskulopatia po przeszczepieniu serca	Zaleca się użycie obrazowania wewnątrzwieńcowego, a w szczególności IVUS, w rutynowej diagnostyce waskulopatii po przeszczepieniu serca wg rekomendacji towarzystw transplantacyjnych	IVUS > OCT
Diagnostyka neoaterosklerozy	Zaleca się zastosowanie obrazowania wewnątrzwieńcowego w każdym przypadku podejrzenia transformacji do neoaterosklerozy w celu diagnostyki charakteru zmiany i zaplanowania zabiegu rewaskularyzacyjnego	OCT > IVUS
Inne zastosowania obrazowania wewnątrzwieńcowego	Zabiegi rekanalizacji tętnic wieńcowych (ocena położenia przewodnika, nawigacja prawdziwe/falszywe światło). Badania nad progresją/regresją miażdżycy	IVUS/OCT

Skróty: CTO (*chronic total occlusion*), przewlekła niedrożność tętnic wieńcowych; FFR (*fractional flow reserve*), cząstkowa rezerwa wieńcowa; IVUS (*intravascular ultrasound*), ultrasonografia wewnątrzwieńcowa; LTW, lewa tętnica wieńcowa; MLA (*minimal lumen area*), pole światła naczyń; OCT (*optical coherence tomography*), optyczna tomografia koherentna; OZW, ostry zespół wieńcowy; STF (*stent failure*), niepowodzenie implantacji stentu

Wykorzystanie OCT do oceny istotności zwężeń pośrednich w pniu LTW nie może być w tej chwili rekomendowane w codziennej praktyce klinicznej. Dane w tym zakresie są ograniczone do jednego badania — Dato i wsp. [15], opierając na kryteriach swojego ośrodka, założyli, że pacjent wymaga rewaskularyzacji w przypadku dużej objętości blaszki miażdżycowej lub obecności owrzodzenia w pniu bądź też istotnych zmian w ujściu gałęzi przedniej zstępującej (LAD, *left anterior descending*) i/lub tętnicy okalającej.

### Ocena zwężeń pośrednich zmian poza pniem lewej tętnicy wieńcowej

Stosowanie metod obrazowania wewnątrzwieńcowego do oceny istotności zwężenia w przypadku zmian poza pniem LTW nie jest obecnie zalecane w stanowisku europejskim [14], głównie ze względu na dużą rozbieżność wyników uzyskanych przez różnych autorów. Metodą z wyboru powinna być ocena czynnościowa. W części przypadków (20%–25%) wyniki oceny istotności przy wykorzystaniu metod obrazowych były fałszywie dodatnie, co potwierdzono w badaniu FIRST [16] i metaanalizie badań klinicznych z IVUS i FFR [17].

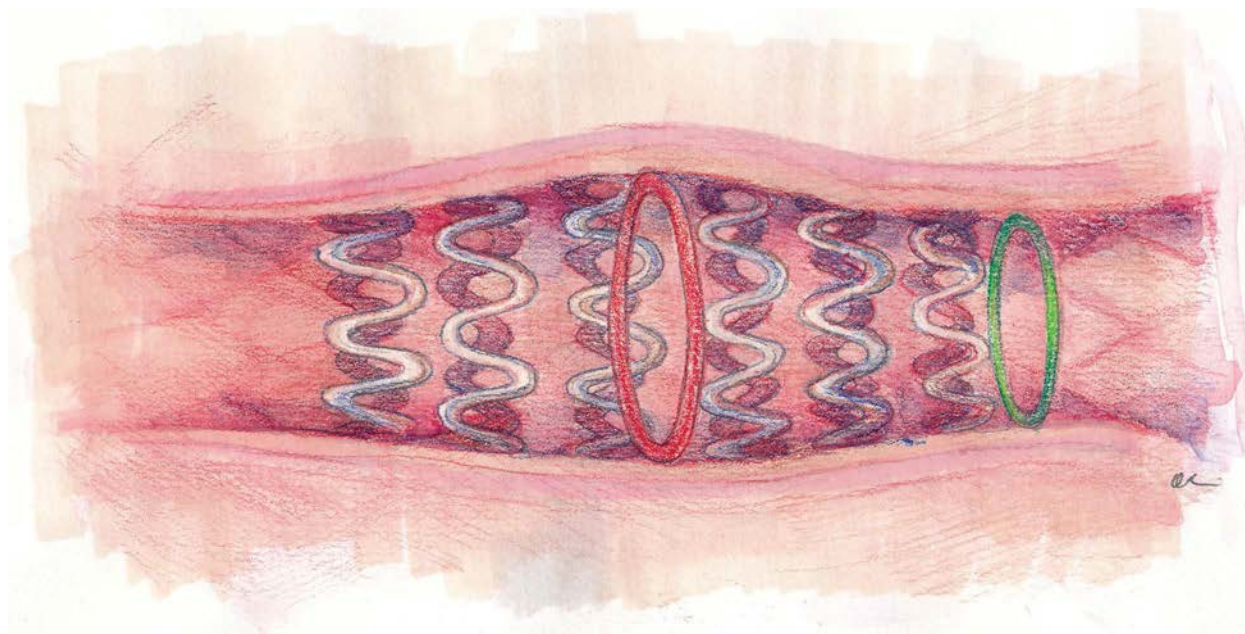
## OPTIMALIZACJA ZABIEGÓW ANGIOPLASTYKI WIEŃCOWEJ

### Zmiany poza pniem lewej tętnicy wieńcowej

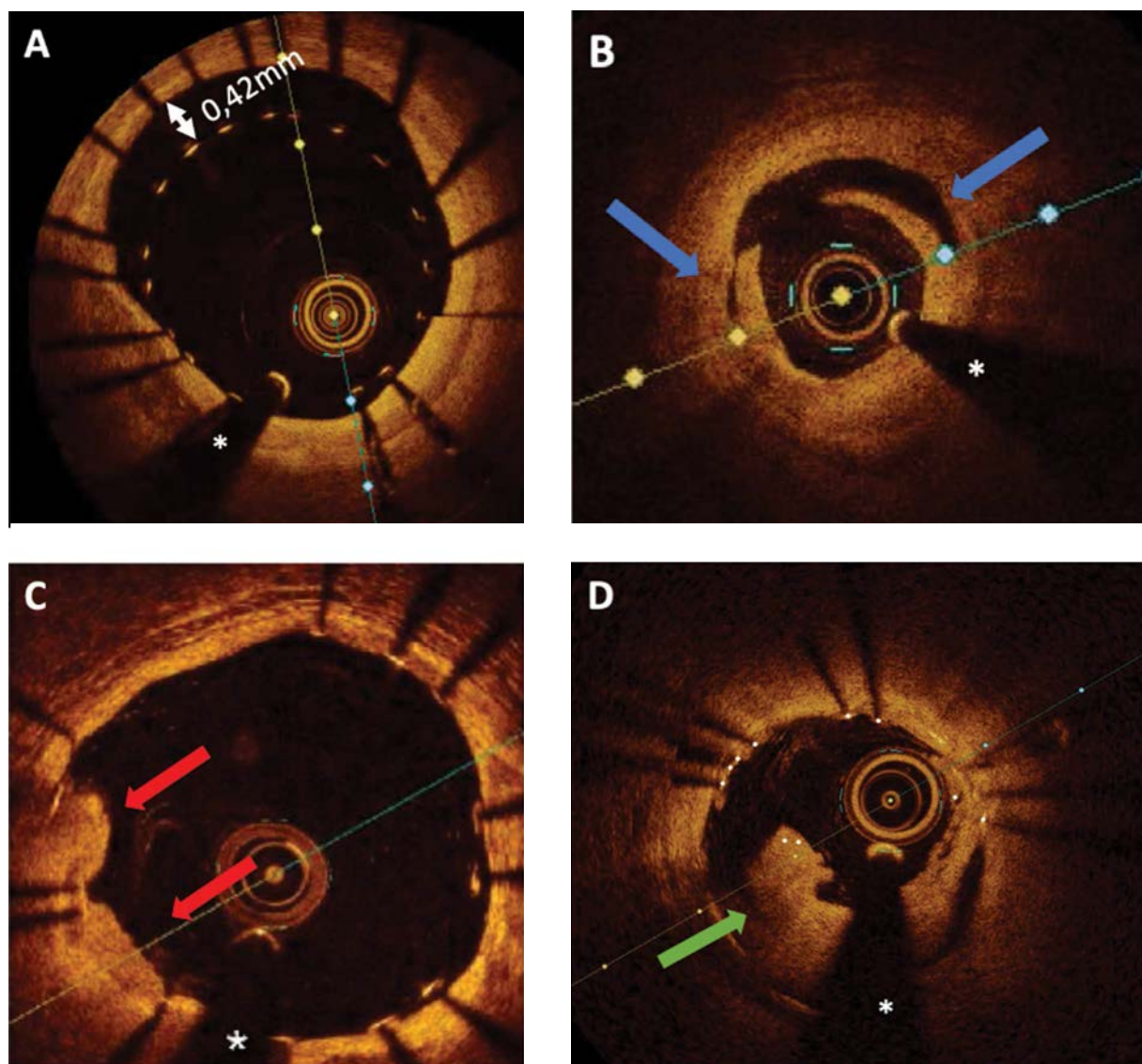
Opublikowane badania i metaanalizy badań z użyciem IVUS jednoznacznie wskazują na korzyści wynikające z jego

zastosowania podczas zabiegów angioplastyki wieńcowej z implantacją stentów [18–25], w tym na redukcję śmiertelności w obserwacji odległej, a także częstości ponownych rewaskularyzacji i restenozy [18–21]. Należy podkreślić, że dotyczy to też chorych, u których wykonuje się zabiegi kompleksowe (bifurkacje, pień LTW, długie zmiany itd.) [21]. Na takie wyniki badań klinicznych i metaanaliz mają wpływ co najmniej następujące czynniki: zmniejszenie częstości pozostawiania niewłaściwie rozprężonego stentu, zmniejszenie ryzyka niewłaściwej pozycji stentu (GM, *geographic miss*; stent nie pokrywa całej blaszki miażdżycowej) oraz leczenie dyssekcji brzeżnych [26]. W konsekwencji zmniejszone zostają ryzyko niepowodzenia implantacji stentu (STF, *stent failure*) [27] oraz częstość występowania zawału okołozabiegowego, co ostatecznie poprawia rokowanie w obserwacji odległej.

Korzyści w zakresie optymalizacji zabiegów przezskórnych interwencji wieńcowych (PCI, *percutaneous coronary interventions*) przy pomocy OCT potwierdzono w pracach Pratiego i wsp. [28], badaniach DOCTORS [29] i ILLUMIEN III [30]. W metaanalizie, którą przeprowadzili Buccheri i wsp. [23], potwierdzono, że ryzyko zgonów i innych zdarzeń sercowo-naczyniowych jest mniejsze przy użyciu IVUS lub OCT niż w przypadku zabiegów wykonywanych pod kontrolą angiografii. Badacze zwracają uwagę, że rozdzielczość OCT pozwala na stwierdzenie nieprawidłowości wymagających korekty, takich jak malapozycja  $>400\ \mu\text{m}$  o długości  $>1\ \text{mm}$  oraz dyssekcja brzeżna powyżej 60 stopni obwodu naczynia, o długości  $>2\ \text{mm}$  lub naruszająca strukturę błony środkowej/zewnętrznej naczynia (ryc. 4, 5) [26].



**Rycina 4.** Kryteria optymalizacji po wszczepieniu stentów w zmiany inne niż LMS. Minimalna powierzchnia stentu (MSA, *minimal stent area*) powinna wynosić  $>5,5\ \text{mm}^2$  w ultrasonografii wewnątrznaczyniowej lub  $>4,5\ \text{mm}^2$  w optycznej koherentnej tomografii (czerwone koło). Alternatywnie MSA powinna wynosić  $>80\%$  średnich powierzchni światła referencyjnego (zielone koło). Dodatkowe kryteria to: brak istotnego rozwarstwienia ( $<60$  stopni, ograniczone do błony wewnętrznej i  $<2\ \text{mm}$  długości), brak istotnej protruzji do światła naczynia, brak istotnej malapozycji elementów stentu ( $<1\ \text{mm}$  długości, odległość osiowa  $<0,4\ \text{mm}$ ) i nieobecność rezydualnej blaszki miażdżycowej  $>50\%$  na brzegu stentu [26]



**Rycina 5.** Wewnątrzświeńcowe obrazowanie okołozabiegowe z wykorzystaniem optycznej tomografii koherentnej i przykłady stwierdzanych nieprawidłowości po zabiegu przezskórnej interwencji wieńcowej. **A.** Malopozycja przęseł stentu (oznaczono dystans malopozycji); **B.** dyssekcja brzeżna (niebieskie strzałki); **C.** Protruzja tkanki (czerwone strzałki); **D.** Skrzeplina (zielona strzałka)  
\*Cień przewodnika

W opinii autorów stanowiska operatorzy decydujący się na wykorzystanie obrazowania wewnątrzświeńcowego powinni zwrócić uwagę na kilka aspektów, takich jak wymiar referencyjny naczynia oraz skład blaszki miażdżycowej (w aspekcie występowania zwapnień i doboru techniki przygotowania zmiany). Wybierając metodę IVUS czy OCT, należy pamiętać, że w badaniu OCT wielkość światła naczynia jest o ok. 10% mniejsza niż w IVUS [31]. Dodatkowo w segmentach referencyjnych (bez zmian obserwowanych w angiografii) zazwyczaj obecna jest blaszka miażdżycowa obejmująca ok. 30%–50% pola naczynia [32]. Optymalnym miejscem wybieranym jako segment referencyjny w ocenie IVUS/OCT powinien być odcinek naczynia, w którym blaszka obejmuje mniej niż 50% pola powierzchni. W takich miejscach powinny się znaleźć oba brzozy stentu. Jeśli jest to niemożliwe, należy poszukiwać miejsca z jak najmniejszą

powierzchnią blaszki miażdżycowej. W opinii autorów dokumentu dodatkowo należy zwrócić uwagę na cechy morfologiczne blaszki, unikając zwapnień, blaszek „miękkich” (o dużym ładunku lipidowym), które mogłyby odpowiadać za większe ryzyko dyssekcji czy zaburzeń przepływu [26].

Dobór średnicy stentu, zdaniem autorów dokumentu, powinien się opierać na kryteriach zaczerpniętych z badania OPINION [33]. Wielkość (średnica) implantowanego stentu powinna być nie większa niż uzyskany pomiar średnicy naczynia (EEM, *external elastic membrane*; tzw. pomiar średnicy *media-to-media*, wymiar na podstawie błony zewnętrznej) powiększony maksymalnie o 0,25 mm [33]. Dopuszczono też wymiarowanie na podstawie uśrednionego wymiaru dwóch średnic (maksymalnej i minimalnej) — jest to dobre rozwiązanie, w sytuacji gdy kształt naczynia dalece odbiega od okręgu [21].

Analizując wyniki badań klinicznych w aspekcie minimalnego pola światła stentu (MSA, *minimal stent area*) zmniejszającego ryzyko zdarzeń niepożądanych w okresie obserwacji, stwierdzono, że powinno ono wynosić 5,5 mm<sup>2</sup> w przypadku badań IVUS [34], natomiast w przypadku OCT 4,5 mm<sup>2</sup> [35], co także znalazło potwierdzenie w rekomendacjach europejskich [14]. Alternatywna metoda oceny MSA to kryterium odnoszące się do pola światła naczynia w odcinku referencyjnym (ryc. 4), wynoszące co najmniej 80% uśrednionej wartości pola powierzchni światła naczynia w odcinku referencyjnym proksymalnym i dystalnym. Wiadomo też, że uzyskanie wartości MSA większej niż pole światła w dystalnym odcinku referencyjnym pozwoliło na obniżenie występowania częstości zdarzeń sercowych nawet o 1,5% w ciągu roku [20].

W tym miejscu należy wspomnieć o coraz powszechniej stosowanej mnemotechnicznej zasadzie MLD MAX, która jest pomocna podczas optymalizacji zabiegów angioplastyki przy użyciu OCT. Szersze wyjaśnienia znajdują się w literaturze [36].

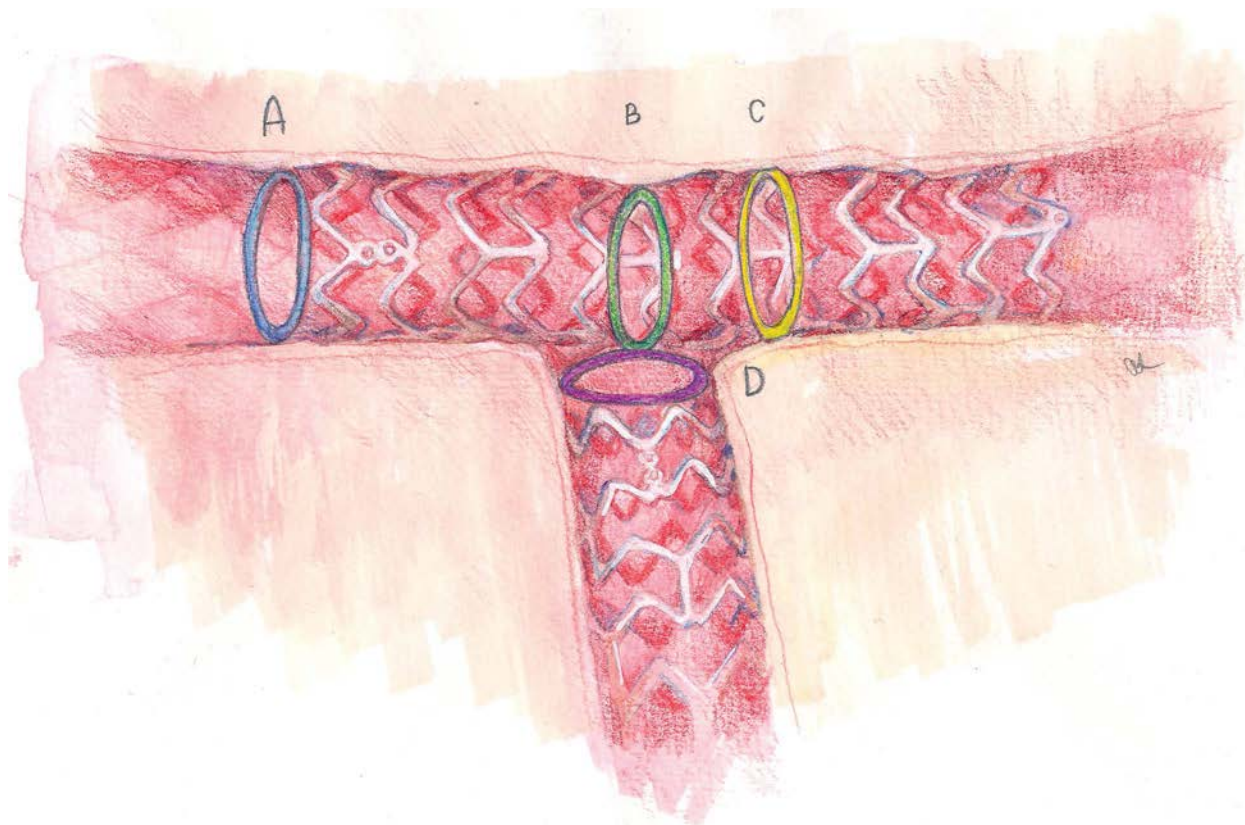
Inną sytuacją, w której autorzy stanowiska rekomendują użycie obrazowania wewnątrzwieńcowego, a zwłaszcza OCT, jest STF. Dotyczy to nie tylko przypadków restenozy w stencie, ale przede wszystkim zakrzepicy w stencie i identyfikacji w badaniu OCT takich patologii jak: niedoprężenie

stentu, dyssekcja brzeżna, GM, neoateroskleroza oraz pęknięcie przęseł stentu [37]. Wykorzystanie obrazowania IVUS/OCT jest w opinii autorów bardzo przydatne w planowaniu ponownego zabiegu rewaskularyzacji oraz identyfikacji potencjalnych zagrożeń związanych z tymi zabiegami (zwapnienia, TCFA [*thin-cap fibroatheroma*] itp.). Dodatkowo, rozdzielczość badania OCT jest pomocna w identyfikacji przyczyn OZW związanych z neoaterosklerozą [38].

### Zmiany w obrębie pnia lewej tętnicy wieńcowej

Użycie IVUS podczas zabiegów implantacji stentu w pniu LTW skutkowało istotną redukcją występowania złożonego punktu końcowego w porównaniu z zabiegami pod kontrolą angiografii, w tym w przypadku zabiegami wykonywanymi w odcinku dystalnym pnia LTW [39–40]. W innych badaniach zastosowanie IVUS zmniejszyło częstość występowania zakrzepicy w stencie w okresie obserwacji odległej [41–42].

W pracy oceniającej mechanizmy restenozy w stencie Kang i wsp. [43] wykazali, że bezpośrednio po implantacji stentów w pniu LTW techniką dwustentową minimalna powierzchnia pola światła naczynia powinna wynosić 8,2 mm<sup>2</sup> w pniu lewej tętnicy wieńcowej; 6,3 mm<sup>2</sup> w ujściu LAD oraz 5,0 mm<sup>2</sup> w ujściu gałęzi okalającej. Warunki te są w literaturze określane mianem kryteriów Kanga (ryc. 6). Są one obecnie powszechnie stosowane w praktyce klinicz-



**Rycina 6.** Schematyczne przedstawienie optymalnych minimalnych pól stentu po implantacji do pnia lewej tętnicy wieńcowej. Zaprezentowano różne wartości dla populacji azjatyckiej (kryteria Kanga) i europejskiej (badanie EXCEL). **A.** Minimalny obszar stentu na lewym głównym pniu 8,2 mm<sup>2</sup> dla kryteriów Kanga i 9,3 mm<sup>2</sup> dla badania Excel; **B.** Strefa przejściowa POC (wielokąt zbiegu, *polygon of confluence*) 7,0 mm<sup>2</sup> dla kryteriów Kanga i brak danych dla badania Excel; **C.** Ujście tętnicy przedniej zstępującej — 6,3 mm<sup>2</sup> według kryteriów Kanga i 6,9 mm<sup>2</sup> dla próby EXCEL; **D.** Ujście tętnicy okalającej 5,0 mm<sup>2</sup> dla kryteriów Kanga i 5,3 mm<sup>2</sup> dla badania EXCEL. Dane z badania EXCEL zostały przedstawione na kursie Fellow 2021 (niepublikowane)



nej kardiologów inwazyjnych w ocenie wyniku implantacji stentu w pniu LTW. Zostały one jednak określone w populacjach pacjentów z mniejszą masą ciała i tym samym, ze względu na różnice etniczne, mogą mieć ograniczone zastosowanie w populacji polskiej. W tym miejscu trzeba zaznaczyć, że doniesienia zjazdowe dotyczące pacjentów europejskich i amerykańskich wskazują na większe wartości MSA po angioplastyce pnia LTW. W pracy autorów hiszpańskich [44] zastosowanie predefiniowanych kryteriów optymalizacyjnych zabiegu w pniu LTW istotnie zmniejszało częstość złożonego punktu końcowego w stosunku do zabiegów wykonywanych tylko pod kontrolą angiografii [44].

W opinii autorów stanowiska użycie IVUS oraz zastosowanie wymienionych kryteriów optymalizacyjnych powinno mieć miejsce w każdym przypadku zabiegu angioplastyki w pniu LTW, przy czym należy uwzględnić różnice etniczne i dążyć do maksymalnej optymalizacji wymiarów stentu w myśl zasady *bigger is better*. Z pewnością tematyka ta wymaga dalszych badań.

W pracy Fujino i wsp. [45] wykazano, że wykonanie OCT w pniu LTW zarówno przed zabiegiem angioplastyki, jak i po nim jest możliwe, jednak zobrazowanie całego odcinka pnia jest stosunkowo trudne (zmiany ostialne), aczkolwiek wykrycie malapozycji jest istotnie częstsze niż w przypadku zastosowania IVUS. Ostatnie doniesienie Cortese'a i wsp. [46] ujawniło, że korekta niedoprężenia i malapozycji przeseł stentu może wpływać na wynik angiograficzny zabiegu w dystalnym zwężeniu pnia, choć bez istotnej statystycznie zmiany rokowania klinicznego.

W tym miejscu należy wspomnieć, że w literaturze są już dostępne publikacje pierwszych badań klinicznych, w których użyto OCT do optymalizacji zabiegów implantacji stentów do pnia LTW. Mowa tu o badaniach LEMON [47] oraz ROCK II [48].

## IDENTYFIKACJA ZMIAN ODPOWIEDZIALNYCH ZA OSTRY ZESPÓŁ WIEŃCOWY

W przypadku pacjentów z OZW, u których w angiografii nie obserwuje się typowych zmian odpowiedzialnych za jego wystąpienie, należy rekomendować wykonanie inwazyjnego badania obrazowego. Wykazano, że częstość występowania zmian niestabilnych u chorych z MINOCA (zawał serca bez istotnych zmian w tętnicach wieńcowych) sięga 25% mimo prawidłowych angiograficznie tętnic wieńcowych lub z niewielkim nasileniem zmian miażdżycowych [49] w naczyniu odpowiedzialnym za OZW. W przypadku chorych z kardiomiopatią takotsubo [50–51] także stwierdza się obecność blaszek niestabilnych z częstością taka jak wskazana powyżej.

U chorych z OZW wykazano, że zmiany mogące odpowiadać za OZW często dotyczą wielu miejsc w drzewie wieńcowym [52], a patologie związane z jego wystąpieniem mogą obejmować pęknięcie lub erozję blaszki miażdżycowej, spontaniczną dyssekcję tętnicy wieńcowej czy skurcz tętnicy wieńcowej [53]. Ponadto trzeba podkreślić, że obrazowanie wewnątrzwieńcowe odgrywa znaczącą rolę w diagnostyce spontanicznej dyssekcji tętnicy wieńcowej [54].

Rozdzielczość badania OCT pozwala na wykrycie niewielkiej skrzepliny, niewidocznej w innych badaniach obrazowych, i tym samym powinno być rekomendowane jako narzędzie dodatkowej diagnostyki w przypadku podejrzenia OZW i braku istotnych zmian w tętnicach wieńcowych w angiografii.

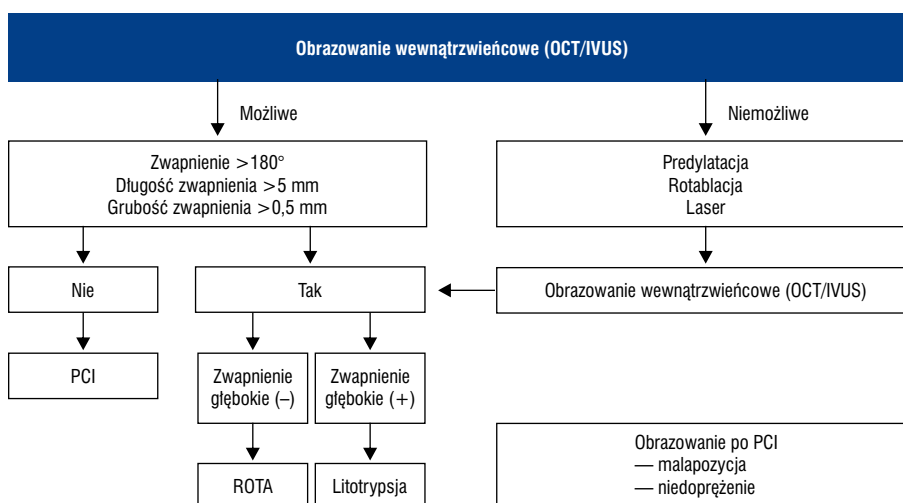
Rozdzielczość OCT umożliwia także bezpośredni pomiar grubości włóknistej czapeczki blaszki miażdżycowej. Sawada i wsp. [55] w populacji 56 pacjentów wykazali, że ani wirtualna histologia IVUS, ani OCT stosowane samodzielnie nie były wystarczające do pewnej identyfikacji TCFA. Co więcej, użycie OCT pozwala na wykrycie skrzepliny wewnątrzwieńcowej, pękniętej blaszki miażdżycowej oraz TCFA w naczyniach, które nie są odpowiedzialne za OZW [55–56]. To odkrycie potwierdziło wcześniejsze obserwacje z zastosowaniem IVUS, że niestabilność blaszki miażdżycowej jest zjawiskiem ogólnowieńcowym [52].

## ROLA OBRAZOWANIA WĘWNĄTRZWIĘCOWEGO W PRZYPADKU ZMIAN ZWAPNIAŁYCH

Zwapnienia są czynnikiem ryzyka nieprawidłowego rozprężenia stentu [57]. W pracach Hoffmanna i wsp. [58] oraz Fujino i wsp. [59] wykazano, że obecność zwapnień obejmujących >180 stopni obwodu naczynia oraz długości tych zwapnień >5 mm w ocenie OCT zwiększają ryzyko niedoprężenia stentu. Z pracy, którą niedawno opublikowali Wang i wsp. [60], wynika, że IVUS wykazuje większą czułość w wykrywaniu zwapnień niż OCT i oczywiście niż angiografia kontrastowa. Z drugiej jednak strony przewagę OCT stanowi możliwość pomiaru grubości zwapnienia [59], co, jak wiadomo, ze względu na cień akustyczny jest niemożliwe w przypadku IVUS. Pozwala to wykorzystywać OCT, razem z oceną wolumetryczną, jako narzędzie algorytmu przewidującego niedoprężenie stentu. Z badań, które przeprowadzili Yamamoto i wsp. [61], wynika, że rotablacja wysokoobrotowa i aterektomia orbitalna są skuteczne w przypadku powierzchniowych zwapnień i naczyń, w których przekrój światła jest mniejszy niż wielkość urządzeń (wierćta i korony orbitalnej), natomiast litotrypsja jest skuteczna w przypadku zmian ze zwapnieniami o lokalizacji zarówno powierzchniowej, jak i głębokiej [62], co może mieć istotne znaczenie w przypadku zmian w obrębie pnia LTW [63]. W tabeli 3 przedstawiono schemat postępowania w wykrywaniu zwapnień w zależności od warunków anatomicznych i właściwości obu metod. Przykłady innych algorytmów postępowania ze zmianami zwapniałymi są dostępne w literaturze [64].

**Tabela 3.** Algorytm postępowania w przypadku zwapnień oraz preferencje związane z poszczególnymi metodami

Typ/cecha zwapnienia	IVUS	OCT
Łagodne/umiarkowane zwapnienia	++	+++
Zwapnienia głębokie	+++	++
Zwapnienia powierzchniowe	+++	+++
Zakres zwapnień (łuk)	+++	+++
Grubość zwapnień	0	+++



Skróty: IVUS (intravascular ultrasound), ultrasonografia wewnątrzwieńcowa; OCT (optical coherence tomography), optyczna tomografia koherentna; PCI (percutaneous coronary interventions), przeszłokórne interwencje wieńcowe; ROTA, rotablacja wysokoobrotowa

### INNE ZASTOSOWANIA OBRAZOWANIA WEWNĄTRZWIĘCOWEGO — WASKULOPATIA PO PRZESZCZEPIENIU SERCA

Waskulopatia tętnic wieńcowych, występująca po przeszczepieniu serca [65], przebiega w postaci postępujących zmian w tętnicach nasierdżiowych, często przy braku formowania zmian zawężających światło naczynia. Z tego powodu wykonanie obrazowania wewnątrzwieńcowego wraz z badaniem angiograficznym jest wskazane po 4–6 tygodniach po przeszczepieniu serca w celu wykluczenia choroby wieńcowej u dawcy, a jego powtórzenie po roku w celu oceny progresji choroby. Zastosowanie OCT wymaga dalszych badań, jednak dotychczasowe wyniki są obiecujące [66].

### INNE ZASTOSOWANIA IVUS/OCT — NEOATEROSKLEROZA

Długie okresy obserwacji pacjentów, u których implantowano stenty wieńcowe, ujawniły nowe zjawisko — neoaterosklerozę [67]. Często przybiera ona postać restenozy w stencie, kiedy stopień zwężenia naczynia przekracza 50% światła naczynia. Jednak dopiero obrazowanie wewnątrznaczyniowe pozwala na dokładne uwidocznienie patologii w ścianie naczynia (ryc. 7), na którą składają się zmiany typu TCFA, pęknięcia blaszki, zwapnienia czy skrzepliny w obrębie stentu [68]. Z tego też powodu ba-

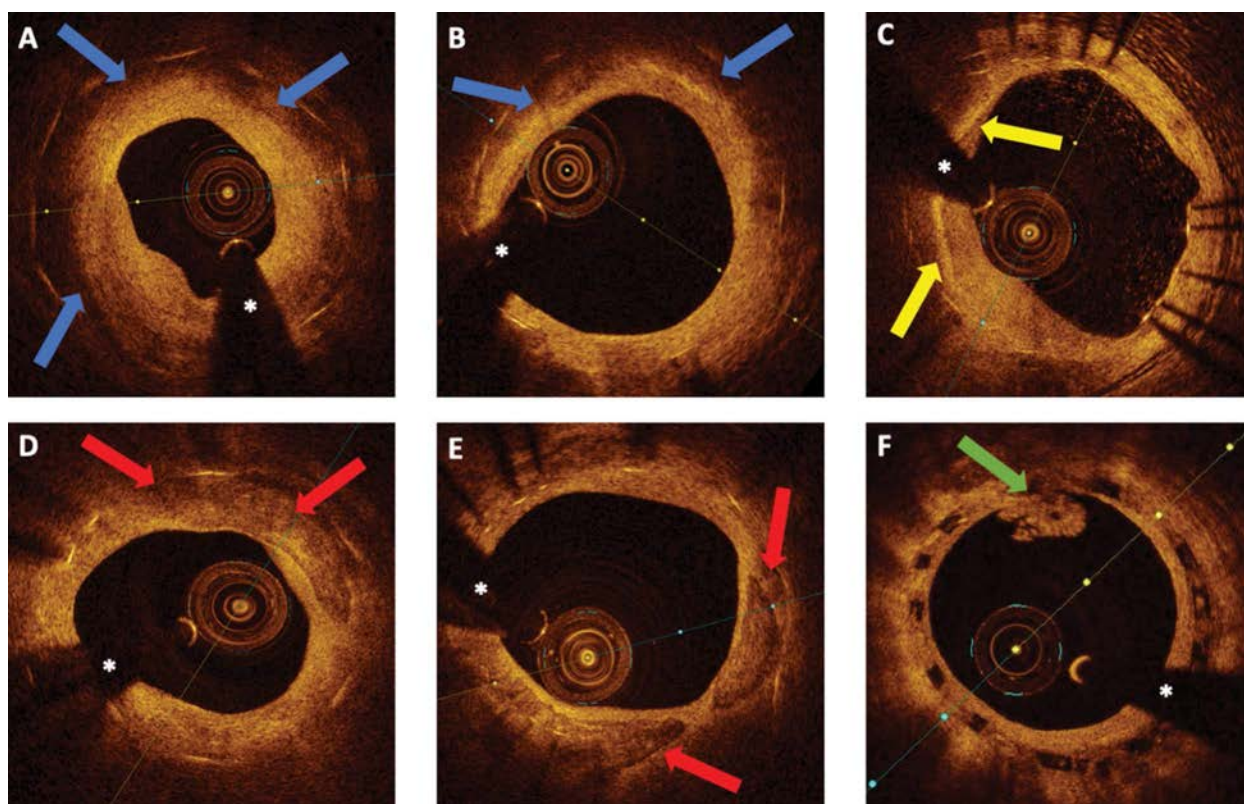
danie OCT jest techniką z wyboru wykorzystywaną w celu uwidocznienia wymienionych zmian.

### REFUNDACJA OBRAZOWANIA WEWNĄTRZWIĘCOWEGO

Refundacja obrazowania wewnątrznaczyniowego w Polsce odbywa się na podstawie Rozporządzenia nr 38/2017/DSOZ Prezesa Narodowego Funduszu Zdrowia z dnia 29 maja 2017 r. Refundacja obejmuje tylko IVUS i jest przypisana do kodu ICD-9 00.241, zarówno w przypadku przewlekłych, jak i ostrych zespołów wieńcowych. Jednakże od początku roku 2022 Ministerstwo Zdrowia wpisało na listę świadczeń gwarantowanych OCT, co pozwala mieć nadzieję na włączenie tej procedury do refundacji Narodowego Funduszu Zdrowia. W tabeli 4 przedstawiono anatomiczne i kliniczne uwarunkowania refundacji w Polsce.

### PODSUMOWANIE

Dane z badań klinicznych i dużych rejestrów wskazują jednoznacznie na korzyści z wykorzystania obrazowania wewnątrzwieńcowego. Dzięki użyciu tych technik wyniki długoterminowej obserwacji mogą ulec istotnej poprawie. W wielu przypadkach obie omówione techniki uzupełniają się w zakresie pozyskiwania informacji na temat patologii ścian tętnic wieńcowych. Trzeba podkreślić, że analiza koszt–efektywność przemawia na korzyść obrazowania wewnątrzwieńcowego [69] w codziennej praktyce, co



**Rycina 7.** Ocena odległa po zabiegu przezskórnej angioplastyki wieńcowej. **A–D.** Przykłady neoaterosklerozy po implantacji stentów BMS/DES. Czerwone strzałki — zwapnienia; niebieskie strzałki — akumulacja lipidów; żółte strzałki — akumulacja makrofagów; zielona strzałka — skrzeplina

\*Cień przewodnika

Skróty: BMS (*bare metal stent*), stent metalowy bez pokrycia; DES (*drug eluting stent*), stent uwalniający lek

**Tabela 4.** Wskazania do refundacji obrazowania wewnątrzwieńcowego w Polsce

- Ocena istotności zwężenia pnia LTW
- Ocena istotności zwężenia proksymalnego odcinka LAD
- Ocena istotności zwężeń w wielonaczyniowej chorobie wieńcowej
- Ocena wyniku implantacji stentu do pnia LTW
- Ocena mechanizmów i wybór leczenia w przypadku niepowodzenia implantacji stentu (restenoza w stencie, zakrzepica w stencie, podejrzenie nieoptymalnego wyniku implantacji)
- Diagnostyka zawału serca w przypadku niejednoznacznego wyniku koronarografii
- Diagnostyka waskulopatii po przeszczepieniu serca

Skróty: LAD (*left anterior descending*), gałąź przednia zstępująca, LTW, lewa tętnica wieńcowa

powinno znajdować bezpośrednie przełożenie na finansowanie obu metod obrazowania wewnątrzwieńcowego. Mimo że w Polsce refundacji podlega jedynie IVUS, to prace legislacyjne zmierzające do uwzględnienia w tym procesie także OCT są bardzo zaawansowane.

### Informacje o artykule

**Konflikt interesów:** TP, JL, JK — honoraria za wykłady: Philips IGT, Abbott Vascular; JP — honoraria za wykłady: Boston Scientific; WW — honoraria za wykłady: Abbott Vascular, Boston Scientific; AW — honoraria za wykłady: Abbott Vascular, Boston Scientific, honoraria proktorskie: Boston Scientific; RG — honoraria za wykłady: Philips IGT, Abbott Vascular, honoraria proktorskie: Philips IGT.

### Piśmiennictwo

1. Gąsior P, Bryniarski K, Roleder M, et al. Knowledge of intravascular imaging in interventional cardiology practice: results of a survey on Polish interventional cardiologists. *Kardiologia Polska*. 2019; 77(12): 1193–1195, doi: [10.33963/KP.15077](https://doi.org/10.33963/KP.15077), indexed in Pubmed: [31782752](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31782752/).
2. Koskinas KC, Nakamura M, Räber L, et al. Current use of intracoronary imaging in interventional practice — Results of a European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) and Japanese Association of Cardiovascular Interventions and Therapeutics (CVIT) Clinical Practice Survey. *EuroIntervention*. 2018; 14(4): e475–e484, doi: [10.4244/EIJY18M03\\_01](https://doi.org/10.4244/EIJY18M03_01), indexed in Pubmed: [29537966](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29537966/).
3. Yock PG, Linker DT, Angelsen BA. Two-dimensional intravascular ultrasound: technical development and initial clinical experience. *J Am Soc Echocardiogr*. 1989; 2(4): 296–304, doi: [10.1016/s0894-7317\(89\)80090-2](https://doi.org/10.1016/s0894-7317(89)80090-2), indexed in Pubmed: [2697308](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2697308/).

4. Mintz G, Garcia-Garcia H, Nicholls S, et al. Clinical expert consensus document on standards for acquisition, measurement and reporting of intravascular ultrasound regression/progression studies. *EuroIntervention*. 2011; 6(9): 1123–1130, doi: [10.4244/eijv6i9a195](https://doi.org/10.4244/eijv6i9a195).
5. Ono M, Kawashima H, Hara H, et al. Advances in IVUS/OCT and Future Clinical Perspective of Novel Hybrid Catheter System in Coronary Imaging. *Front Cardiovasc Med*. 2020; 7: 119, doi: [10.3389/fcvm.2020.00119](https://doi.org/10.3389/fcvm.2020.00119), indexed in Pubmed: [32850981](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32850981/).
6. Prati F, Regar E, Mintz GS, et al. Expert review document on methodology, terminology, and clinical applications of optical coherence tomography: physical principles, methodology of image acquisition, and clinical application for assessment of coronary arteries and atherosclerosis. *Eur Heart J*. 2010; 31(4): 401–415, doi: [10.1093/eurheartj/ehp433](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp433), indexed in Pubmed: [19892716](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19892716/).
7. Oviedo C, Maehara A, Mintz GS, et al. Intravascular ultrasound classification of plaque distribution in left main coronary artery bifurcations: where is the plaque really located? *Circ Cardiovasc Interv*. 2010; 3(2): 105–112, doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.109.906016](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.109.906016), indexed in Pubmed: [20197513](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20197513/).
8. Jasti V, Ivan E, Yalamanchili V, et al. Correlations between fractional flow reserve and intravascular ultrasound in patients with an ambiguous left main coronary artery stenosis. *Circulation*. 2004; 110(18): 2831–2836, doi: [10.1161/01.CIR.0000146338.62813.E7](https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000146338.62813.E7), indexed in Pubmed: [15492302](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15492302/).
9. de la Torre Hernandez J, Hernandez FH, Alfonso F, et al. Prospective application of pre-defined intravascular ultrasound criteria for assessment of intermediate left main coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol*. 2011; 58(4): 351–358, doi: [10.1016/j.jacc.2011.02.064](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.02.064), indexed in Pubmed: [21757111](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21757111/).
10. Legutko J, Dudek D, Jakala J, et al. TCT-309 Correlation between fractional flow reserve and intravascular ultrasound in patients with isolated ambiguous left main stenosis. *J Am Coll Cardiol*. 2012; 60(17): B88, doi: [10.1016/j.jacc.2012.08.333](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.08.333).
11. Kang S, Lee J, Ahn JI, et al. intravascular ultrasound-derived predictors for fractional flow reserve in intermediate left main disease. *J Am Coll Cardiol Intv*. 2011; 4: 1168–1174, doi: [10.1016/j.jcin.2011.08.009](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2011.08.009), indexed in Pubmed: [22115656](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22115656/).
12. Park SJ, Ahn JM, Kang SJ, et al. Intravascular ultrasound-derived minimal lumen area criteria for functionally significant left main coronary artery stenosis. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv*. 2014; 7(8): 868–874, doi: [10.1016/j.jcin.2014.02.015](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.02.015), indexed in Pubmed: [25147031](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25147031/).
13. Skowronski J, Cho I, Mintz GS, et al. Inter-ethnic differences in normal coronary anatomy between Caucasian (Polish) and Asian (Korean) populations. *Eur J Radiol*. 2020; 130: 109185, doi: [10.1016/j.ejrad.2020.109185](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109185), indexed in Pubmed: [32771813](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32771813/).
14. Johnson TW, Räber L, Di Mario C, et al. Clinical use of intracoronary imaging. Part 2: acute coronary syndromes, ambiguous coronary angiography findings, and guiding interventional decision-making: an expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *EuroIntervention*. 2019; 15(5): 434–451, doi: [10.4244/EIJY19M06\\_02](https://doi.org/10.4244/EIJY19M06_02), indexed in Pubmed: [31258132](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31258132/).
15. Dato I, Burzotta F, Trani C, et al. Optical coherence tomography guidance for the management of angiographically intermediate left main bifurcation lesions: Early clinical experience. *Int J Cardiol*. 2017; 248: 108–113, doi: [10.1016/j.ijcard.2017.06.125](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.06.125), indexed in Pubmed: [28709701](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28709701/).
16. Waksman R, Legutko J, Singh J, et al. FIRST: Fractional Flow Reserve and Intravascular Ultrasound Relationship Study. *J Am Coll Cardiol*. 2013; 61(9): 917–923, doi: [10.1016/j.jacc.2012.12.012](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.12.012), indexed in Pubmed: [23352786](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23352786/).
17. Nascimento B, de Sousa M, Koo B, et al. Diagnostic accuracy of intravascular ultrasound-derived minimal lumen area compared with fractional flow reserve — meta-analysis pooled accuracy of IVUS luminal area versus FFR. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2014; 84(3): 377–385, doi: [10.1002/ccd.25047](https://doi.org/10.1002/ccd.25047), indexed in Pubmed: [23737441](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23737441/).
18. Gil RJ, Pawłowski T, Dudek D, et al. Comparison of angiographically guided direct stenting technique with direct stenting and optimal balloon angioplasty guided with intravascular ultrasound. The multicenter, randomized trial results. *Am Heart J*. 2007; 154(4): 669–675, doi: [10.1016/j.ahj.2007.06.017](https://doi.org/10.1016/j.ahj.2007.06.017), indexed in Pubmed: [17892989](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17892989/).
19. Parise H, Maehara A, Stone GW, et al. Meta-analysis of randomized studies comparing intravascular ultrasound versus angiographic guidance of percutaneous coronary intervention in pre-drug-eluting stent era. *Am J Cardiol*. 2011; 107(3): 374–382, doi: [10.1016/j.amjcard.2010.09.030](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2010.09.030), indexed in Pubmed: [21257001](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21257001/).
20. Hong SJ, Mintz GS, Ahn CM, et al. Effect of intravascular ultrasound-guided drug-eluting stent implantation: 5-year follow-up of the IVUS-XPL randomized trial. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv*. 2020; 13(1): 62–71, doi: [10.1016/j.jcin.2019.09.033](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2019.09.033), indexed in Pubmed: [31918944](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31918944/).
21. Gao XF, Ge Z, Kong XQ, et al. Intravascular ultrasound versus angiography-guided drug-eluting stent implantation: the ULTIMATE trial. *J Am Coll Cardiol*. 2018; 72(24): 3126–3137, doi: [10.1016/j.jacc.2018.09.013](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.09.013), indexed in Pubmed: [30261237](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30261237/).
22. Choi KiH, Song YB, Lee JM, et al. Impact of intravascular ultrasound-guided percutaneous coronary intervention on long-term clinical outcomes in patients undergoing complex procedures. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv*. 2019; 12(7): 607–620, doi: [10.1016/j.jcin.2019.01.227](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2019.01.227), indexed in Pubmed: [30878474](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30878474/).
23. Buccheri S, Franchina G, Romano S, et al. Clinical outcomes following intravascular imaging-guided versus coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention with stent implantation: a systematic review and bayesian network meta-analysis of 31 studies and 17,882 patients. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv*. 2017; 10(24): 2488–2498, doi: [10.1016/j.jcin.2017.08.051](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2017.08.051), indexed in Pubmed: [29153502](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29153502/).
24. Ahn JM, Kang SJ, Yoon SH, et al. Meta-Analysis of outcomes after intravascular ultrasound-guided versus angiography-guided drug-eluting stent implantation in 26,503 patients enrolled in three randomized trials and 14 observational studies. *Am J Cardiol*. 2014; 113(8): 1338–1347, doi: [10.1016/j.amjcard.2013.12.043](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2013.12.043), indexed in Pubmed: [24685326](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24685326/).
25. Gao XF, Ge Z, Kong XQ, et al. 3-Year outcomes of the ULTIMATE trial comparing intravascular ultrasound versus angiography-guided drug-eluting stent implantation. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv*. 2021; 14(3): 247–257, doi: [10.1016/j.jcin.2020.10.001](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.10.001), indexed in Pubmed: [33541535](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33541535/).
26. Räber L, Mintz GS, Koskinas KC, et al. Clinical use of intracoronary imaging. Part 1: guidance and optimization of coronary interventions. An expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *Eur Heart J*. 2018; 39(35): 3281–3300, doi: [10.1093/eurheartj/ehy285](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy285), indexed in Pubmed: [29790954](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29790954/).
27. Doi H, Maehara A, Mintz GS, et al. Impact of post-intervention minimal stent area on 9-month follow-up patency of paclitaxel-eluting stents: an integrated intravascular ultrasound analysis from the TAXUS IV, V, and VI and TAXUS ATLAS Workhorse, Long Lesion, and Direct Stent Trials. *JACC Cardiovasc Interv*. 2009; 2(12): 1269–1275, doi: [10.1016/j.jcin.2009.10.005](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2009.10.005), indexed in Pubmed: [20129555](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20129555/).
28. Prati F, Di Vito L, Biondi-Zoccai G, et al. 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*. 2012; 8(7): 823–829, doi: [10.4244/EIJV8I7A125](https://doi.org/10.4244/EIJV8I7A125), indexed in Pubmed: [23034247](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23034247/).
29. Meneveau N, Souteyrand G, Motreff P, et al. 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*. 2016; 134(13): 906–917, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024393](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024393), indexed in Pubmed: [27573032](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27573032/).
30. Ali ZA, Karimi Galougahi K, Maehara A, et al. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILUMIEN III: OPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016; 388(10060): 2618–2628, doi: [10.1016/S0140-6736\(16\)31922-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31922-5), indexed in Pubmed: [27806900](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27806900/).
31. Kubo T, Akasaka T, Shite J, et al. OCT compared with IVUS in a coronary lesion assessment: the OPUS-CLASS study. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Imaging*. 2013; 6(10): 1095–1104, doi: [10.1016/j.jcmg.2013.04.014](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2013.04.014), indexed in Pubmed: [24011777](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24011777/).
32. Mintz GS, Painter JA, Pichard AD, et al. Atherosclerosis in angiographically „normal“ coronary artery reference segments: an intravascular

- ultrasound study with clinical correlations. *J Am Coll Cardiol*. 1995; 25(7): 1479–1485, doi: [10.1016/0735-1097\(95\)00088-I](https://doi.org/10.1016/0735-1097(95)00088-I), indexed in Pubmed: 7759694.
33. Otake H, Kubo T, Takahashi H, et al. Optical frequency domain imaging versus intravascular ultrasound in percutaneous coronary intervention (OPINION trial): results from the OPINION imaging study. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Imaging*. 2018; 11(1): 111–123, doi: [10.1016/j.jcmg.2017.06.021](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.06.021), indexed in Pubmed: 28917678.
  34. Hong MK, Mintz GS, Lee CW, et al. Intravascular ultrasound predictors of angiographic restenosis after sirolimus-eluting stent implantation. *Eur Heart J*. 2006; 27(11): 1305–1310, doi: [10.1093/eurheartj/ehi882](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi882), indexed in Pubmed: 16682378.
  35. Prati F, Romagnoli E, Burzotta F, et al. Clinical impact of OCT findings during PCI: the CLI-OPCI II study. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Imaging*. 2015; 8(11): 1297–1305, doi: [10.1016/j.jcmg.2015.08.013](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.08.013), indexed in Pubmed: 26563859.
  36. Ali ZA, Galougahi KK, Mintz GS, et al. Intracoronary optical coherence tomography: state of the art and future directions. *EuroIntervention*. 2021; 17(2): e105–e123, doi: [10.4244/EIJ-D-21-00089](https://doi.org/10.4244/EIJ-D-21-00089), indexed in Pubmed: 34110288.
  37. Hong SJ, Lee SY, Hong MK. Clinical implication of optical coherence tomography-based neointimal area stenosis after second-generation drug-eluting stent implantation. *Circ Cardiovasc Interv*. 2017; 32(7): 1056–1061, doi: [10.3346/jkms.2017.32.7.1056](https://doi.org/10.3346/jkms.2017.32.7.1056), indexed in Pubmed: 28581259.
  38. Lee SY, Hur SH, Lee SG, et al. Optical coherence tomographic observation of in-stent neointimal area stenosis in lesions with more than 50% neointimal area stenosis after second-generation drug-eluting stent implantation. *Circ Cardiovasc Interv*. 2015; 8(2): e001878, doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.001878](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.001878), indexed in Pubmed: 25613674.
  39. Park SJ, Kim YH, Park DW, et al. Impact of intravascular ultrasound guidance on long-term mortality in stenting for unprotected left main coronary artery stenosis. *Circ Cardiovasc Interv*. 2009; 2(3): 167–177, doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.108.799494](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.108.799494), indexed in Pubmed: 20031713.
  40. de la Torre Hernandez J, Alonso JB, Hospital JG, et al. Clinical impact of intravascular ultrasound guidance in drug-eluting stent implantation for unprotected left main coronary disease. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014; 7(3): 244–254, doi: [10.1016/j.jcin.2013.09.014](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.09.014), indexed in Pubmed: 24650399.
  41. Andell P, Karlsson S, Mohammad MA, et al. Intravascular ultrasound guidance is associated with better outcome in patients undergoing unprotected left main coronary artery stenting compared with angiography guidance alone. *Circ Cardiovasc Interv*. 2017; 10(5), doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.116.004813](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.116.004813), indexed in Pubmed: 28487356.
  42. Gao XF, Kan J, Zhang YJ, et al. Comparison of one-year clinical outcomes between intravascular ultrasound-guided versus angiography-guided implantation of drug-eluting stents for left main lesions: a single-center analysis of a 1,016-patient cohort. *Patient Prefer Adherence*. 2014; 8: 1299–1309, doi: [10.2147/PPA.S65768](https://doi.org/10.2147/PPA.S65768), indexed in Pubmed: 25278749.
  43. Kang SJ, Ahn JM, Song H, et al. Comprehensive intravascular ultrasound assessment of stent area and its impact on restenosis and adverse cardiac events in 403 patients with unprotected left main disease. *Circ Cardiovasc Interv*. 2011; 4(6): 562–569, doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.964643](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.964643), indexed in Pubmed: 22045969.
  44. de la Torre Hernandez JM, Garcia Camarero T, Baz Alonso JA, et al. Outcomes of predefined optimisation criteria for intravascular ultrasound guidance of left main stenting. *EuroIntervention*. 2020; 16(3): 210–217, doi: [10.4244/EIJ-D-19-01057](https://doi.org/10.4244/EIJ-D-19-01057), indexed in Pubmed: 32011286.
  45. Fujino Y, Bezerra HG, Attizzani GF, et al. Frequency-domain optical coherence tomography assessment of unprotected left main coronary artery disease—a comparison with intravascular ultrasound. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013; 82(3): E173–E183, doi: [10.1002/ccd.24843](https://doi.org/10.1002/ccd.24843), indexed in Pubmed: 23359350.
  46. Cortese B, Burzotta F, Alfonso F, et al. Role of optical coherence tomography for distal left main stem angioplasty. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2020; 96(4): 755–761, doi: [10.1002/ccd.28547](https://doi.org/10.1002/ccd.28547), indexed in Pubmed: 31631525.
  47. Amabile N, Rangé G, Souteyrand G, et al. Optical coherence tomography to guide percutaneous coronary intervention of the left main coronary artery: the LEMON study. *EuroIntervention*. 2021; 17(2): e124–e131, doi: [10.4244/EIJ-D-20-01121](https://doi.org/10.4244/EIJ-D-20-01121), indexed in Pubmed: 33226003.
  48. Cortese B, de la Torre Hernandez JM, Lanocha M, et al. Optical coherence tomography, intravascular ultrasound or angiography guidance for distal left main coronary stenting. The ROCK cohort II study. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2022; 99(3): 664–673, doi: [10.1002/ccd.29959](https://doi.org/10.1002/ccd.29959), indexed in Pubmed: 34582631.
  49. Opolski M, Spiewak M, Marczak M, et al. Mechanisms of Myocardial Infarction in Patients With Nonobstructive Coronary Artery Disease. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Imaging*. 2019; 12(11): 2210–2221, doi: [10.1016/j.jcmg.2018.08.022](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.08.022), indexed in Pubmed: 30343070.
  50. Eitel I, Stiermaier T, Graf T, et al. Optical coherence tomography to evaluate plaque burden and morphology in patients with Takotsubo syndrome. *J Am Heart Assoc*. 2016; 5(12), doi: [10.1161/JAHA.116.004474](https://doi.org/10.1161/JAHA.116.004474), indexed in Pubmed: 28007746.
  51. Pawłowski T, Mintz G, Kulawik T, et al. Virtual histology intravascular ultrasound evaluation of the left anterior descending coronary artery in patients with transient left ventricular ballooning syndrome. *Kardiologia Pol*. 2010; 68(10): 1093–1098.
  52. Vergallo R, Ren X, Yonetsu T, et al. Pancoronary plaque vulnerability in patients with acute coronary syndrome and ruptured culprit plaque: a 3-vessel optical coherence tomography study. *Am Heart J*. 2014; 167(1): 59–67, doi: [10.1016/j.ahj.2013.10.011](https://doi.org/10.1016/j.ahj.2013.10.011), indexed in Pubmed: 24332143.
  53. Shin ES, Ann SH, Singh GB, et al. OCT-Defined morphological characteristics of coronary artery spasm sites in vasospastic angina. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Imaging*. 2015; 8(9): 1059–1067, doi: [10.1016/j.jcmg.2015.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.03.010), indexed in Pubmed: 26298073.
  54. Kądziała J, Kochman J, Grygier M, et al. The diagnosis and management of spontaneous coronary artery dissection — expert opinion of the Association of Cardiovascular Interventions (ACVI) of Polish Cardiac Society. *Kardiologia Pol*. 2021; 79(7–8): 930–943, doi: [10.33963/KP.a2021.0068](https://doi.org/10.33963/KP.a2021.0068), indexed in Pubmed: 34292564.
  55. Sawada T, Shite J, Garcia-Garcia HM, et al. Feasibility of combined use of intravascular ultrasound radiofrequency data analysis and optical coherence tomography for detecting thin-cap fibroatheroma. *Eur Heart J*. 2008; 29(9): 1136–1146, doi: [10.1093/eurheartj/ehn132](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehn132), indexed in Pubmed: 18397871.
  56. Fujii K, Masutani M, Okumura T, et al. Frequency and predictor of coronary thin-cap fibroatheroma in patients with acute myocardial infarction and stable angina pectoris a 3-vessel optical coherence tomography study. *J Am Coll Cardiol*. 2008; 52(9): 787–788, doi: [10.1016/j.jacc.2008.05.030](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.05.030), indexed in Pubmed: 18718429.
  57. Hong MK, Mintz GS, Lee CW, et al. Intravascular ultrasound predictors of angiographic restenosis after sirolimus-eluting stent implantation. *Eur Heart J*. 2006; 27(11): 1305–1310, doi: [10.1093/eurheartj/ehi882](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi882), indexed in Pubmed: 16682378.
  58. Hoffmann R, Mintz GS, Popma JJ, et al. Treatment of calcified coronary lesions with Palmaz-Schatz stents. An intravascular ultrasound study. *Eur Heart J*. 1998; 19(8): 1224–1231, doi: [10.1053/euhj.1998.1028](https://doi.org/10.1053/euhj.1998.1028), indexed in Pubmed: 9740344.
  59. Fujino A, Mintz G, Matsumura M, et al. TCT-28 a new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion. *EuroIntervention*. 2017; 13(18): e2182–e2189, doi: [10.4244/EIJ-D-17-00962](https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00962), indexed in Pubmed: 29400655.
  60. Wang X, Matsumura M, Mintz GS, et al. In vivo calcium detection by comparing optical coherence tomography, intravascular ultrasound, and angiography. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Imaging*. 2017; 10(8): 869–879, doi: [10.1016/j.jcmg.2017.05.014](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.05.014), indexed in Pubmed: 28797408.
  61. Yamamoto MH, Maehara A, Karimi Galougahi K, et al. Mechanisms of orbital versus rotational atherectomy plaque modification in severely calcified lesions assessed by optical coherence tomography. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv*. 2017; 10(24): 2584–2586, doi: [10.1016/j.jcin.2017.09.031](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2017.09.031), indexed in Pubmed: 29268891.
  62. Ali ZA, Brinton TJ, Hill JM, et al. Optical coherence tomography characterization of coronary lithoplasty for treatment of calcified lesions: first description. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Imaging*.

- 2017; 10(8): 897–906, doi: [10.1016/j.jcmg.2017.05.012](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.05.012), indexed in Pubmed: [28797412](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28797412/).
63. Cosgrove CS, Wilson SJ, Bogle R, et al. Intravascular lithotripsy for lesion preparation in patients with calcific distal left main disease. *EuroIntervention*. 2020; 16(1): 76–79, doi: [10.4244/EIJ-D-19-01052](https://doi.org/10.4244/EIJ-D-19-01052), indexed in Pubmed: [32224480](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32224480/).
64. Shlofmitz E, Ali ZA, Maehara A, et al. Intravascular imaging-guided percutaneous coronary intervention: a universal approach for optimization of stent implantation. *Circ Cardiovasc Interv*. 2020; 13(12): e008686, doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.008686](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.008686), indexed in Pubmed: [33233934](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33233934/).
65. Calé R, Rebocho M, Aguiar C, et al. Diagnosis, prevention and treatment of cardiac allograft vasculopathy. *Rev Port Cardiol*. 2012; 31(11): 721–730, doi: [10.1016/j.repce.2012.09.007](https://doi.org/10.1016/j.repce.2012.09.007).
66. Dyrbuś M, Gąsior M, Szyguła-Jurkiewicz B, et al. The role of optical coherence tomography and other intravascular imaging modalities in cardiac allograft vasculopathy. *Adv Interv Cardiol*. 2020; 16(1): 19–29, doi: [10.5114/aic.2020.93909](https://doi.org/10.5114/aic.2020.93909), indexed in Pubmed: [32368233](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32368233/).
67. Park SJ, Kang SJ, Virmani R, et al. In-stent neoatherosclerosis: a final common pathway of late stent failure. *J Am Coll Cardiol*. 2012; 59(23): 2051–2057, doi: [10.1016/j.jacc.2011.10.909](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.10.909), indexed in Pubmed: [22651862](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22651862/).
68. Joner M, Koppa T, Byrne R, et al. Neoatherosclerosis in patients with coronary stent thrombosis. *J Am Coll Cardiol Cardiovasc Interv*. 2018; 11(14): 1340–1350, doi: [10.1016/j.jcin.2018.02.029](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2018.02.029).
69. Mueller C, Hodgson JM, Schindler C, et al. Cost-effectiveness of intracoronary ultrasound for percutaneous coronary interventions. *Am J Cardiol*. 2003; 91(2): 143–147, doi: [10.1016/s0002-9149\(02\)03099-0](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(02)03099-0), indexed in Pubmed: [12521624](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12521624/).