

## Czy koherentna tomografia optyczna zastąpi klasyczną ultrasonografię wewnątrzwieńcową w ocenie bezpośrednich i odległych efektów przezskórnych interwencji wieńcowych?

*Will optical coherence tomography replace intravascular ultrasound in the assessment of early and long-term effects of percutaneous coronary interventions?*

Arkadiusz Pietrasik, Adam Rdzanek, Janusz Kochman, Mateusz Szmidt, Krzysztof J. Filipiak, Grzegorz Opolski

I Katedra i Klinika Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Post Kardiol Interw 2008; 4, 1 (11): 15–19

**Słowa kluczowe:** koherentna tomografia optyczna, ultrasonografia wewnątrzwieńcowa

**Key words:** optical coherence tomography, intravascular ultrasound

Przezskórne interwencje wieńcowe (ang. *percutaneous coronary interventions* – PCI) od ponad 30 lat są uznaną metodą leczenia chorych z objawową miażdżycą tętnic wieńcowych. Jak wynika z licznych badań klinicznych z randomizacją, wykonanie zabiegu PCI prowadzi do poprawy jakości życia chorych ze stabilną postacią choroby wieńcowej i powoduje istotną redukcję częstości występowania poważnych zdarzeń wieńcowych w populacji chorych z zawałem mięśnia sercowego (ang. *myocardial infarction* – MI). W świetle obowiązujących standardów postępowania, w większości przypadków zabieg PCI wymaga optymalizacji za pomocą implantacji stentu, który zmniejsza ryzyko wystąpienia powikłań okołozabiegowych, takich jak dyssekcja, zjawisko *elastic recoil* czy nagłe zamknięcie poddawanego interwencji naczynia [1]. Odległą konsekwencją wszczepienia protezy wewnątrznaczyniowej może być nadmierna proliferacja neointimy prowadząca do nawrotu zwężenia w miejscu poddawanym interwencji. Zastosowanie kolejnych, udoskonalonych generacji stentów, w tym stentów uwalniających substancje antyproliferacyjne, zredukowało częstość występowania restenozy. Rozbieżne wyniki licznych metaanaliz, w których oceniano odległą skuteczność i bezpieczeństwo zabiegów PCI z implantacją stentów uwalniających substancje antyproliferacyjne, wskazują na potencjalnie zwiększone ryzyko wystąpienia póź-

nej i bardzo późnej (tj. >12 miesięcy) zakrzepicy w tej grupie chorych [2, 3]. Do postulowanych patomechanizmów predysponujących do wystąpienia epizodu zakrzepicy w stencie, poza nieskutecznością stosowanej farmakoterapii, należą czynniki mechaniczne związane z brakiem optymalnego efektu zabiegu oraz stopień endotelizacji elementów konstrukcyjnych stentu w obserwacji odległej.

Od czasu wprowadzenia do praktyki klinicznej w roku 1988, ultrasonografia wewnątrznaczyniowa (ang. *intravascular ultrasound* – IVUS) jest jedną z najważniejszych technik obrazowania tętnic wieńcowych. Metoda ta odegrała istotną rolę w poznaniu patomechanizmów nieskuteczności zabiegów angioplastyki oraz umożliwiła optymalizację zarówno bezpośrednich, jak i odległych efektów przezskórnych interwencji wieńcowych. Jedną z pierwszych publikacji poświęconych tematyce optymalizacji efektów zabiegów PCI z wykorzystaniem implantacji stentu pod kontrolą IVUS była opublikowana w roku 1995 praca Colombo i wsp. Wyniki cytowanego badania przyczyniły się do powszechnego wprowadzenia wysokociśnieniowej techniki implantacji stentów wieńcowych, a ponadto wskazywały na konieczność stosowania skojarzonego leczenia przeciwplatekowego w miejsce stosowanych dotychczas doustnych antykoagulantów [4]. Prace poświęcone ocenie restenozy w stencie wykazały, że podstawo-

---

**Adres do korespondencji/Corresponding author:** lek. Arkadiusz Pietrasik, I Katedra i Klinika Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Banacha 1a, 02-097 Warszawa, tel. +48 22 599 19 51, e-mail: [apietrasik@tlen.pl](mailto:apietrasik@tlen.pl)  
Praca wpłynęła 07.12.2007, przyjęta do druku 15.12.2007.

wym patomechanizmem prowadzącym do wystąpienia tego zjawiska jest nadmierna proliferacja tkanki wewnątrz implantowanej protezy wewnątrznaczyniowej, która w sposób istotny korelowała z późną redukcją światła naczynia [5]. Ponadto wykazano, że w porównaniu z angiografią tętnic wieńcowych IVUS charakteryzuje się większą czułością w ocenie wymiarów i apozycji stentu oraz w identyfikacji brzeżnej dyssekcji bezpośrednio po zabiegu PCI [6]. Skuteczność i bezpieczeństwo PCI z implantacją stentu optymalizowanej za pomocą IVUS zostały potwierdzone w badaniu MUSIC (*Multicenter Ultrasound Stenting In Coronaries*). W okresie obserwacji trwającym około 198 dni wykazano, że przeprowadzenie zabiegu pod kontrolą IVUS prowadzi do redukcji ryzyka angiograficznej restenozy do poziomu <10% [7]. W kolejnym badaniu klinicznym z randomizacją TULIP (*Thrombocyte activity evaluation and effects of Ultrasound guidance in Long Intracoronary stent Placement*) wykazano przewagę angioplastyki z implantacją stentu pod kontrolą IVUS w porównaniu z klasyczną oceną angiograficzną (w grupie chorych z długimi, >20 mm, zmianami w tętnicach wieńcowych o średnicy odcinka referencyjnego >3 mm) w redukcji częstości ponownych rewaskularyzacji zmiany poddawanej interwencji (ang. *target lesion revascularization* – TLR) – 10 vs 23% ( $p=0,018$ ), oraz złożonego punktu oceny końcowej obejmującego zgon, MI i TLR – 12 vs 27% ( $p=0,026$ ) [8]. W 2007 roku opublikowano wyniki polskiego wielośrodkowego badania z randomizacją porównującego odległe efekty trzech alternatywnych strategii terapeutycznych: bezpośredniej implantacji stentu pod kontrolą IVUS, bezpośredniej implantacji stentu pod kontrolą angiografii i angioplastyki balonowej pod kontrolą IVUS [9]. Pierwotnym punktem oceny końcowej była łączna częstość występowania zdarzeń sercowo-naczyniowych (ang. *major adverse cardiac events* – MACE), takich jak: zgon, MI i konieczność ponownej rewaskularyzacji. W obserwacji 6-miesięcznej częstość występowania MACE była niższa w grupie chorych, u których wykonano PCI metodą bezpośredniej implantacji stentu pod kontrolą IVUS (7,3%). Protokół badania AVID (*Angiography Versus Intravascular ultrasound Directed stent placement*) zakładał randomizację chorych do grupy PCI z implantacją stentu pod kontrolą IVUS lub angiografii [10]. W grupie chorych poddanych zabiegowi PCI optymalizowanemu na podstawie wyników badania ultrasonograficznego stwierdzono trend do niższej częstości występowania objawowej klinicznie restenozy (8,4 vs 12,4%;  $p=0,08$ ). Istotną różnicę między porównywanymi strategiami obserwowano w subpopulacji chorych po zabiegu PCI w naczyniach o średnicy >2,5 mm (4,9 vs 10,8%;  $p=0,02$ ) oraz w pomostach żylnych (5,1 vs 20%;  $p=0,03$ ).

Rejestr Brazylijskiego Towarzystwa Kardiologii Interwencyjnej obejmujący ogółem grupę 3375 osób poddanych PCI pod kontrolą IVUS jest największym dotychczas opublikowanym badaniem oceniającym częstość występowania

około zabiegowych zdarzeń klinicznych. W porównaniu z chorymi poddanymi klasycznemu zabiegowi angioplastyki (51 151 chorych) zastosowanie IVUS prowadziło do redukcji zgonów z przyczyn sercowych (0,4 vs 1,1%;  $p=0,001$ ), zmniejszenia częstości występowania złożonego punktu końcowego obejmującego zgon i MI z wytworzeniem załamka Q (0,8 vs 1,7%;  $p >0,01$ ). Należy jednak podkreślić, że wyniki badań klinicznych z randomizacją, takich jak RESIST (*REStenosis after IVUS-guided STenting*) [11, 12] OPTICUS (*OPTimization with ICUS to reduce stent restenosis*) [13], nie potwierdziły klinicznych korzyści wynikających z wykonania PCI z implantacją stentu pod kontrolą IVUS – częstość występowania restenozy w porównywanych grupach chorych była zbliżona.

Istotnym ograniczeniem badania IVUS jest dość mała rozdzielczość (około 150–200  $\mu\text{m}$ ), która nie pozwala na dokładną identyfikację struktur znajdujących się wewnątrz naczynia wieńcowego. Koherentna tomografia optyczna (ang. *optical coherence tomography* – OCT) jest kolejną metodą obrazowania wewnątrznaczyniowego wprowadzoną do praktyki kardiologicznej na początku obecnej dekady. Wysoka rozdzielczość OCT pozwala na jeszcze bardziej precyzyjną ocenę efektów zabiegu PCI z implantacją stentu i umożliwia ocenę procesów związanych z odpowiedzią ściany naczynia na uraz wywołany implantacją i obecnością protezy wewnątrznaczyniowej. Porównanie wybranych właściwości OCT oraz IVUS zawiera tab. 1. Ryciny 1.–5., pochodzące ze zbiorów Pracowni Kardiologii Inwazyjnej I Katedry i Kliniki Kardiologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, przedstawiają obrazy struktur wewnątrz naczyń wieńcowych uzyskane za pomocą omawianych metod diagnostycznych.

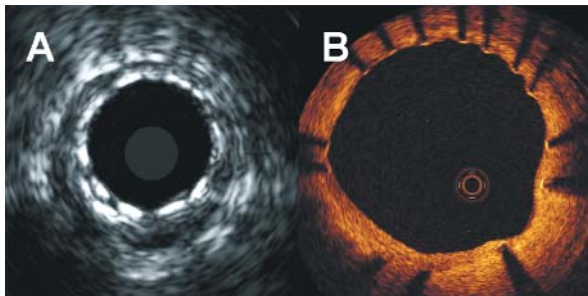
Zasada działania urządzeń OCT opiera się na odbiciu wiązki światła widzialnego, które jest emitowane przez światłowód umieszczony wewnątrz tętnicy wieńcowej [14]. Obraz struktur wewnątrz naczynia uzyskiwany jest dzięki porównaniu własności odbitych promieni z parametrami wiązki referencyjnej. Metoda OCT wykorzystuje zjawisko interferencji dwóch wiązek światła pochodzących z jednego źródła [14–16]. Uzyskiwanie obrazów z wnętrza naczynia jest utrudnione przez wysoką echogeniczność elementów morfotycznych krwi, przede wszystkim komórek układu czerwokrwinkowego. Problem ten został rozwiązany przez wprowadzenie specjalnie zaprojektowanych niskociśnieniowych balonów okluzyjnych typu *over-the-wire*, które umożliwiają czasowe zamknięcie naczynia i wypłukanie światła tętnicy z zastosowaniem roztworów soli fizjologicznej lub kontrastu.

Badanie OCT pozwala na bardziej dokładne niż IVUS określenie stopnia rozprężenia i apozycji stentu. Charakteryzuje się również wyższą czułością wykrywania dyssekcji powstających w wyniku zabiegu PCI. W jednej z prac Bouma i wsp. w grupie 39 chorych poddawanych zabiegowi PCI z implantacją stentu wykazali, że w badaniu OCT niekompletna apozycja stentu widoczna była po-

**Tabela 1.** Porównanie wybranych właściwości koherentnej tomografii optycznej oraz ultrasonografii wewnątrzcieńcowej (IVUS)**Table 1.** Selected features of OCT and IVUS – comparison of methods

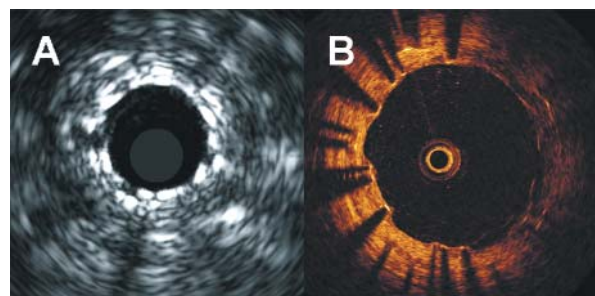
	OCT	IVUS
Rozdzielczość	10 $\mu\text{m}$	100–150 $\mu\text{m}$
Penetracja	2 mm	10 mm
Wymiary cewnika	0,019"	2,9 F
Wymagana okluzja naczyń	TAK	NIE
Ocena grubości neointymy	+++	+
Ocena dyssekcji	+++	++
Wizualizacja elementów blaszki przenikających do światła stentu	+++	+
Wizualizacja skrzeplin wewnątrznaczyniowych	+	+++
Ocena stopnia apozycji stentu	+++	+
Ocena stopnia rozprężenia stentu	+	+

Zmodyfikowano na podstawie: Rodriguez-Granillo GA, Serruys PW. OCT plaque characterization comparison to IVUS-VH. In: Optical Coherence Tomography in Cardiovascular Research. Regar E, van Leeuwen TG, Serruys PW (eds.). Informa Healthcare 2007: 95-102.



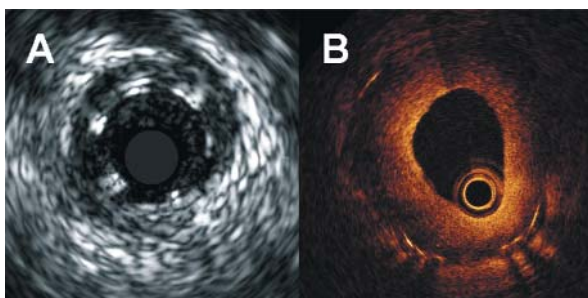
**Ryc. 1.** Stent uwalniający sirolimus w 36 miesięcy po implantacji do gałęzi przedniej zstępującej. **A** – ultrasonografia wewnątrznaczyniowa; **B** – koherentna tomografia optyczna. Widoczna cienka warstwa neointymy pokrywająca elementy konstrukcyjne stentu oraz elementy niepokryte warstwą neointymy

**Fig. 1.** Sirolimus eluting stent in left descending artery 36 months after the implantation. **A** – intravascular ultrasound examination; **B** – optical coherence tomography examination, visible thin layer of neointimal tissue covering struts and struts without coverage



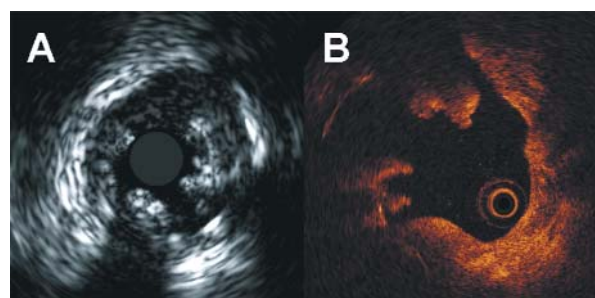
**Ryc. 3.** Stent uwalniający sirolimus implantowany w obrębie restenozy w stenocie konwencjonalnym, obrazy uzyskane w 25 miesięcy po zabiegu. **A** – ultrasonografia wewnątrznaczyniowa; **B** – koherentna tomografia optyczna. Widoczne dwie warstwy elementów konstrukcyjnych oraz przęśta niepokryte warstwą neointymy

**Fig. 3.** In-stent restenosis treated with sirolimus eluting stent 25 months after the implantation. **A** – intravascular ultrasound examination; **B** – optical coherence tomography examination, two layers of stent struts visible, struts without neointimal coverage present



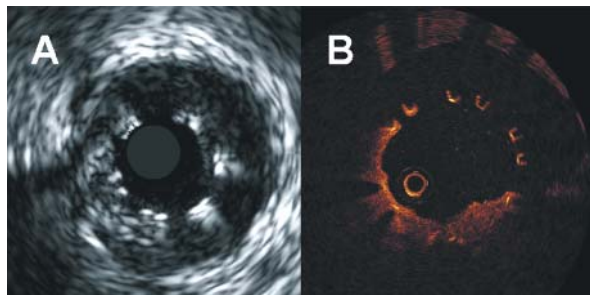
**Ryc. 2.** Stent uwalniający sirolimus w 12 miesięcy po implantacji do prawej tętnicy wieńcowej z powodu restenozy w stenocie stalowym. **A** – ultrasonografia wewnątrznaczyniowa; **B** – koherentna tomografia optyczna. Widoczny ponowny nawrót zwężenia

**Fig. 2.** In-stent restenosis in right coronary artery treated with sirolimus eluting stent 16 months after the implantation. **A** – intravascular ultrasound examination; **B** – optical coherence tomography examination, recurrent restenosis present



**Ryc. 4.** Stent uwalniający paklitaksel implantowany w obrębie zmiany *de novo*, obrazy uzyskane w 18 miesięcy po zabiegu. **A** – ultrasonografia wewnątrznaczyniowa; **B** – koherentna tomografia optyczna. Widoczne skrzepliny w świetle naczynia

**Fig. 4.** Paclitaxel eluting stent in *de novo* lesion 18 months after the implantation. **A** – intravascular ultrasound examination; **B** – optical coherence tomography examination, intraluminal thrombotic mass present



**Ryc. 5.** Efekt odległej angioplastyki przewlekłej okluzji gałęzi przedniej zstępującej z implantacją stentu uwalniającego sirolimus. **A** – ultrasonografia wewnątrznaczyniowa; **B** – koherentna tomografia optyczna. Widoczna malapozycja elementów konstrukcyjnych stentu

**Fig. 5.** Long-term follow-up after percutaneous revascularization of the chronic total left anterior descending artery occlusion with SES implantation. **A** – intravascular ultrasound examination; **B** – optical coherence tomography examination, pronounced struts malapposition visible

naddwukrotnie częściej (17 vs 7%), a obecność dyssekcji stwierdzano czterokrotnie częściej niż w badaniu metodą IVUS (19 vs 5%). Badanie OCT umożliwiło także precyzyjną wizualizację zjawiska przenikania elementów tkankowych blaszki miażdżycowej do światła implantowanego uprzednio stentu (69% OCT vs 29% IVUS) [17]. W pracy Takedy i wsp. częstość występowania zjawiska niecałkowitego przylegania elementów konstrukcyjnych stentu do ściany naczynia wieńcowego wynosiła 28% w badaniu OCT i zaledwie 6% w badaniu ultrasonograficznym. W przypadku stentów bez pełnej apozycji, wyznaczona metodą OCT odległość pomiędzy przęsłem stentu a powierzchnią ściany naczynia wynosiła 120–360  $\mu\text{m}$  [18].

Kolejnym zastosowaniem metody koherentnej tomografii optycznej jest ocena odległych efektów zabiegów angioplastyki, w szczególności PCI z implantacją stentów uwaniających substancje antyproliferacyjne. Dzięki wysokiej rozdzielczości OCT umożliwia dokładny pomiar grubości i dystrybucji neointimy. Pozwala także na ocenę stopnia pokrycia poszczególnych elementów konstrukcyjnych stentu oraz na określenie częstości występowania późnej malapozycji. Wydaje się, że znajomość wyżej wymienionych parametrów ma kluczowe znaczenie w poszukiwaniu przyżyciowych wykładników ryzyka późnej zakrzepicy w stencie uwalniającym substancje antyproliferacyjne. W pracy Matsumoto i wsp. w grupie 34 chorych oceniono łącznie 57 stentów uwalniających sirolimus [19]. W obserwacji 6-miesięcznej stwierdzono, że średnia grubość neointimy wynosiła 52,2  $\mu\text{m}$ . Częstość występowania elementów pokrytych niewidoczną w IVUS warstwą neointimy wynosiła 64%. Obecność tkanki pokrywającej wszystkie oceniane elementy stwierdzono jedynie w 16% analizowanych stentów. W pozostałych przypadkach (84%) obserwowano obecność elementów niepokrytych lub jedynie częściowo pokrytych widoczną w OCT warstwą neointimy. Ocena stopnia endotelizacji elementów konstrukcyjnych

stentu za pomocą OCT była przedmiotem pracy Chena i wsp. [20]. Badaniu poddano grupę 24 chorych po zabiegach implantacji stentów zarówno uwalniających sirolimus (DES), jak i konwencjonalnych stentów stalowych (BMS). W grupie chorych z BMS implantowanym w okresie od 5 do 10 miesięcy poprzedzających badanie OCT średnia minimalna i maksymalna grubość neointimy wynosiły odpowiednio 0,2 i 0,59 mm. Wyżej wymienione parametry nie różniły się w sposób istotny od wartości odnotowanych w wypadku BMS implantowanych w dłuższym okresie obserwacji (23–93 miesięcy), co najprawdopodobniej wskazuje na zakończenie procesu gojenia w ciągu pierwszych miesięcy po implantacji BMS. W wypadku DES maksymalna i minimalna grubość neointimy oceniana w 6–12 miesięcy po zabiegu były istotnie mniejsze od obserwowanych w grupach BMS i wynosiły odpowiednio 0,12 i 0,04 mm. Częstość występowania elementów konstrukcyjnych pokrytych warstwą neointimy wynosiła 99,7% w grupach BMS i jedynie 83% w populacji chorych z implantowanym DES. Pomiedzy badanymi grupami odnotowano także istotne różnice pod względem liczby elementów konstrukcyjnych charakteryzujących się brakiem pełnej apozycji. Malapozycja (definiowana jako odległość między przęsłem stentu a wewnętrzną powierzchnią ściany naczynia) przekraczająca 200  $\mu\text{m}$  obserwowana była tylko w grupie chorych z implantowanym DES i dotyczyła 2% ocenianych elementów konstrukcyjnych.

Doświadczenia przeprowadzone na modelu zwierzęcym wskazują na dużą czułość i specyficzność OCT w identyfikacji neointimy pokrywającej implantowane protezy wewnątrznaczyniowe. W pracy Pratiego i wsp. badaniu poddano 8 stentów stalowych wszczepionych w tętnicach szyjnych królików doświadczalnych. Rezultat zabiegu i stopień pokrycia elementów konstrukcyjnych oceniane były za pomocą OCT w kolejnych dobach po zabiegu. Klasyczne, mikroskopowe badanie histopatologiczne stanowiło referencyjną metodę oceny grubości neointimy [21]. Za pomocą OCT prawidłowo zidentyfikowano 97,4% przęseł stentów widocznych w badaniu mikroskopowym oraz stwierdzono stuprocentową zgodność w identyfikacji obecności lub braku tkanki pokrywającej stent. Częstość występowania warstwy neointimy korelowała z czasem, który upłynął od momentu zabiegu, i wynosiła odpowiednio 0, 12, 41 i 97% w 2., 7., 15. i 28. dobie obserwacji ( $p < 0,001$ ). Ponadto nie stwierdzono różnic w mierzonej za pomocą porównywanych metod średniej grubości tkanki pokrywającej przęsła (0,135 $\pm$ 0,079 vs 0,145 $\pm$ 0,085 mm, odpowiednio dla histologii i OCT,  $p = \text{NS}$ ) oraz w średniej wielkości pola implantowanego stentu (odpowiednio 3,56 $\pm$ 0,31 vs 3,48 $\pm$ 0,37 mm<sup>2</sup>,  $p = \text{NS}$ ). Minimalna grubość neointimy zidentyfikowana za pomocą badania histologicznego wynosiła 0,025 mm i nie różniła się w sposób istotny od wielkości tej struktury ocenionej w OCT (0,024 mm). Wyniki badania Pratiego i wsp. wskazują, że OCT może się stać wiarygodną me-

tożą monitorowania odległych efektów angioplastyki oraz stopnia endotelializacji implantowanej protezy wewnątrz-naczyniowej po zabiegach PCI. Wydaje się, że może to mieć szczególne znaczenie u chorych po implantacji DES. W tej grupie chorych znajomość stopnia endotelializacji stentu może wpłynąć na decyzję o kontynuacji bądź zaprzestaniu podwójnego leczenia przeciwplatekowego.

Obecnie rozdzielczość OCT nie pozwala na zróżnicowanie poszczególnych typów komórek wchodzących w skład neointymy. Najprawdopodobniej w najbliższej przyszłości rozwój tej techniki obrazowania, dzięki zastosowaniu zmodyfikowanych źródeł fal świetlnych i polepszeniu metod analizy danych, pozwoli na uzyskiwanie obrazów umożliwiających identyfikację struktur o wymiarach nieprzekraczających 5  $\mu\text{m}$ . Dalsza wnikliwa ocena charakteru tkanki pokrywającej implantowany stent umożliwi między innymi rozróżnienie „dojrzałej”, pokrytej śródbłonką warstwy neointymy od tzw. pseudointymy, warstwy tkanki złożonej głównie z fibroblastów. Spodziewana ewolucja techniki OCT może się przyczynić do lepszego zrozumienia procesów naprawczych przebiegających w ścianie tętnicy wieńcowej w odpowiedzi na uraz wywołany implantacją protez wewnątrz-naczyniowych. Jak wiemy z dotychczasowych doświadczeń, OCT umożliwi uzyskanie wiarygodnych danych morfometrycznych dotyczących zarówno budowy zmian miażdżycowych, jak i poszczególnych elementów konstrukcyjnych implantowanych protez wewnątrz-naczyniowych. Należy podkreślić, że do tej pory nie dysponujemy danymi, które pozwoliłyby na zastosowanie OCT jako narzędzia diagnostycznego determinującego wybór strategii terapeutycznej. Wyniki kolejnych badań oceniających kliniczne zastosowanie OCT przyniosą być może w niedalekiej przyszłości odpowiedź na postawione w tytule pytanie: czy OCT zastąpi IVUS w ocenie bezpośrednich i odległych efektów PCI?

#### Piśmiennictwo

- Silber S, Albertsson P, Aviles F i wsp. Guidelines for percutaneous coronary interventions. The Task Force for Percutaneous Coronary Interventions of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2005; 26: 804-847.
- Stone GW, Moses JW, Ellis SG i wsp. Safety and efficacy of sirolimus- and paclitaxel-eluting coronary stents. *N Engl J Med* 2007; 356: 998-1008.
- Spaulding C, Daemen J, Boersma E i wsp. A pooled analysis of data comparing sirolimus-eluting stents with bare-metal stents. *N Engl J Med* 2007; 356: 989-997.
- Colombo A, Hall P, Nakamura S i wsp. Intracoronary stenting without anticoagulation accomplished with intravascular ultrasound guidance. *Circulation* 1995; 91: 1676-1688.
- Mintz GS, Popma JJ, Hong MK i wsp. Intravascular ultrasound to discern device-specific effects and mechanisms of restenosis. *Am J Cardiol* 1996; 78: 18-22.
- Blasini R, Neumann FJ, Schmitt C i wsp. Comparison of angiography and intravascular ultrasound for the assessment of lumen size after coronary stent placement: impact of dilation pressures. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1997; 42: 113-119.
- de Jaegere P, Mudra H, Figulla H i wsp. Intravascular ultrasound-guided optimized stent deployment. Immediate and 6 months clinical and angiographic results from the Multicenter Ultrasound Stenting in Coronaries Study (MUSIC Study). *Eur Heart J* 1998; 19: 1214-1223.
- Oemrawsingh PV, Mintz GS, Schlij GS i wsp. Intravascular ultrasound guidance improves angiographic and clinical outcome of stent implantation for long coronary artery stenoses: final results of a randomized comparison with angiographic guidance (TULIP Study). *Circulation* 2003; 107: 62-67.
- Gil RJ, Pawłowski T, Dudek D i wsp. 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: 669-675.
- Russo RJ, Attubato MJ, Davidson CJ i wsp. Angiography versus intravascular ultrasound-directed stent placement: final results from AVID (abstract). *Circulation* 1999; 100 (Suppl 1): I234.
- Schiele F, Meneveau N, Vuilleminot A i wsp. Impact of intravascular ultrasound guidance in stent deployment on 6-month restenosis rate: a multicenter, randomized study comparing two strategies – with and without intravascular ultrasound guidance. RESIST Study Group. *REStenosis after Ivas guided Stenting*. *J Am Coll Cardiol* 1998; 32: 320-328.
- Schiele F, Meneveau N, Seronde MF i wsp. Medical costs of intravascular ultrasound optimization of stent deployment. Results of the multicenter randomized 'REStenosis after Intravascular ultrasound Stenting' (RESIST) study. *Int J Cardiovasc Intervent* 2000; 3: 207-213.
- Mudra H, di Mario C, de Jaegere P i wsp. Randomized comparison of coronary stent implantation under ultrasound or angiographic guidance to reduce stent restenosis (OPTICUS Study). *Circulation* 2001; 104: 1343-1349.
- Tearney GJ, Brzezinski ME, Boppart SA i wsp. Images in cardiovascular medicine. Catheter-based optical imaging of a human coronary artery. *Circulation* 1996; 94: 3013.
- Maciejewski M, Strąkowski M, Pluciński J i wsp. Światłowodowa koherentna tomografia optyczna (OCT) w zastosowaniach optycznych. *Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania* 2005; 11: 24-25.
- Brezinski ME, Tearney GJ, Bouma BE i wsp. Optical coherence tomography for optical biopsy. Properties and demonstration of vascular pathology. *Circulation* 1996; 93: 1206-1213.
- Bouma B, Tearney GJ, Yabushita H i wsp. Evaluation of intracoronary stenting by intravascular optical coherence tomography. *Heart* 2003; 89: 317-320.
- Takeda Y, Ito T, Tsuchikane E i wsp. Incomplete apposition and tissue prolapse immediately after stenting evaluated by OCT. *Abstract AHA* 2004; 160.
- Matsumoto D, Shite J, Shinke T i wsp. Neointimal coverage of sirolimus-eluting stents at 6-month follow-up: evaluated by optical coherence tomography. *Eur Heart J* 2007; 28: 961-967.
- Chen BX, Ma FY, Wei L i wsp. Neointimal Coverage of Bare Metal and Sirolimus-Eluting Stents Evaluated with Optical Coherence Tomography. *Heart* 2007; [Epub ahead of print]
- Prati F, Zimarino M, Stabile E i wsp. Does optical coherence tomography identify arterial healing after stenting? An in vivo comparison with histology, on a rabbit carotid model. *Heart* 2008; 94: 217-221.