

Intravaskulární ultrazvuk

Tomáš Kovárník¹, Jan Horák¹, Milan Šonka²

¹II. interní klinika kardiologie a angiologie Všeobecné fakultní nemocnice v Praze a 1. lékařské fakulty UK, Praha

²Department of Electrical and Computer Engineering, The University of Iowa, Iowa City IA, USA

Autoři přinášejí přehled současných indikací použití intravaskulárního ultrazvuku v katetrizační laboratoři. Důraz je kladen na praktické použití v reálné praxi. Práce je doplněna ukázkou možností 3D zobrazení koronárních tepen vzniklou fúzí angiografického vyšetření a intravaskulárního ultrazvuku.

Klíčová slova: intravaskulární ultrazvuk, koronární intervence.

Intravascular ultrasound

The authors are presenting an overview of current indication for intravascular ultrasound in catheterization laboratory. Practical applications in daily life are underlined. Summary encompasses the examples of 3D reconstruction of coronary arteries done by fusion of angiography and intravascular ultrasound

Key words: intravascular ultrasound, coronary interventions.

Interv Akut Kardiol 2011; 10(Suppl. D): 15–20

Úvod

Intravaskulární ultrazvuk (IVUS) byl dlouhá léta uváděn jako zlatý standard při vyšetření koronárních tepen. Dnes část z jeho indikací pro hodnocení morfologie převzala optická koherentní tomografie (OCT) a z hodnocení hemodynamické významnosti je vytlačován měřením frakční průtokové rezervy (FFR). Účelem tohoto přehledu je souhrn racionálního využití intravaskulárního ultrazvuku v katetrizační laboratoři v roce 2011.

Terminologie

V záplavě prací, které se intravaskulárním ultrazvukem zabývají, někdy dochází k používání různých názvů pro stejné veličiny, nebo v horším případě k používání termínů, jejichž význam se různě překrývá. Proto je důrazně doporučováno používat standardních veličin, jak jsou uvedeny v guidelines (1, 2). Jejich přehled je uveden v tabulce 1.

Více sofistikované zobrazení koronárního postižení je možné získat využitím 3D rekonstrukce, která vzniká fúzí angiografického a IVUS obrazu. Při této technice se kombinují výhody obou vyšetřovacích metod a výsledkem je třírozměrný obraz koronární tepny. Informace o tvaru a zakřivení tepny jsou získány ze dvou na sebe navzájem kolmých angiografických projekcí a informace o velikosti plátu, lumen a tepny jsou získány z intravaskulárního ultrazvuku. Jednotlivé IVUS řezy jsou softwarově orientovány tak, aby odpovídaly angiografickému zobrazení a dodatečně je zkonstruována ideální dráha pohybu IVUS sondy přesně středem tepy tak, aby měřené

údaje nebyly ovlivněny reálnou polohou sondy (3, 4) (obrázek 1 a 2).

Diagnostika Zhodnocení nejasného koronarografického nálezu

Typickým rysem těchto lézí je defekt v kontrastní náplni lumen, odtud také plyne jejich anglický název „lesions with filling defect“ nebo tzv. „hazy“ léze. Diagnostická nejistota z těchto lézí a vzhled, který často imponuje jako intraluminální trombóza, může vést k chybné indikaci k intervenci, často navíc provázenou podáním inhibitory IIb/IIIa a protražovanou anti-

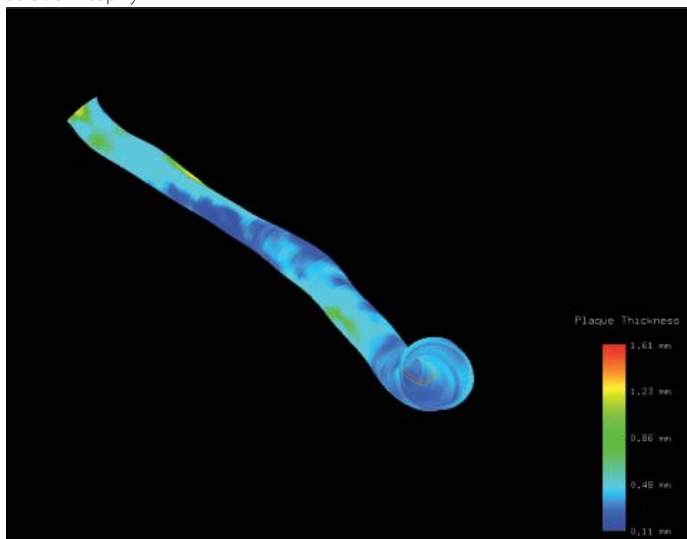
koagulací a z toho plynoucího zvýšeného rizika krvácení. Reálná přítomnost intrakoronární trombózy se u těchto lézí uvádí v 50–60% (5), což ovšem platí pro léze, kde je angiograficky vysoká pravděpodobnost přítomnosti trombu. Podle našich zkušeností je přítomnost trombu v těchto lézích podstatně nižší a hlavní příčinou angiograficky nejasného vzhledu jsou intrakoronární kalcifikace nebo excentrické pláty s rupturou. Možné příčiny „hazy“ vzhledu při angiografii jsou: kalcifikace, excentrický plát s rupturou, disekce, trombus, tak zvaný „flow phenomenon“ (projasnění v náplni vzniklé při nedostatečné náplni velké tepny kontrastem). IVUS hodnocení

Tabulka 1. Přehled standardních veličin (dle guidelines)

název	zkratka	Popis	jednotka
membrana elastica externa	EEM	obvod tepny	mm
plocha tepny	EEM _{CSA}	plocha tepny	mm ²
plocha lumen	Lumen _{CSA}	plocha lumen	mm ²
rozměry lumen	MLD, MxLD	nejmenší a největší rozměr lumen	mm
excentricita lumen	EI	MxLD - MLD/MxLD	
plát	PM	EEM _{CSA} - Lumen _{CSA}	mm ²
plaque burden	PB	(EEM _{CSA} - Lumen _{CSA} /EEM _{CSA}) × 100	%
lumen area stenosis	LAS	[(Lumen _{CSA} ref. - Lumen _{CSA} min)/Lumen _{CSA} ref] × 100	%
délka plátu	PL	délka plátu s PB > 40%	mm
celkový objem plátu	TAV	Σ (EEM _{CSA} - Lumen _{CSA})	mm ³
normalizovaný objem plátu*	TAVn	(TAV/počet měřených segmentů) × průměrný počet měřených segmentů ze všech pacientů ve studii	mm ³
procentuální objem plátu	PAV	(Σ (EEM _{CSA} - Lumen _{CSA})/Σ EEM _{CSA}) × 100	%

CSA – cross sectional area (plocha v příčném řezu); MLD – minimal lumen diameter; MxLD – maximal lumen diameter; EI – eccentricity index; TAV – total atheroma volume; PAV – percent atheroma volume; * – parametr používaný při studiích hodnotící změny aterosklerotických plátů v čase

Obrázek 1. 3D rekonstrukce vzniklá fúzí angiografie a IVUS. Barevnou škálou je zobrazena různá tloušťka plátu. V lumen jsou patrné dvě linie, červená znamená reálnou trajektorii IVUS sondy a zelená virtuální trajektorii středem tepny



„hazy“ lézí vede ke zpřesnění diagnózy a umožňuje neprovádět neindikované intervence. Tato strategie vede ke snížení indikací PCI u „hazy“ lézí na 15–20% (6–8).

Indikace ke koronární intervenci

Hlavní indikací koronární intervence je ošetření hemodynamicky významné stenózy. Nejrozšířenějším parametrem pro diagnostiku hemodynamicky významné léze je více než 50% zmenšení průměru lumen při angiografickém vyšetření. Nicméně dnes je známo, že angiograficky hodnocené stenózy v rozmezí 40–70% nekorelují s funkčním měřením provedeném frakční průtokovou rezervou (9).

Řada studií se zabývala korelací mezi morfolo- gickými kritérii zjistitelnými při IVUS vyšetření a hemodynamickou významností léze prokázanou zátěžovou scintigrafií myokardu nebo měřením FFR. Další skupina studií hodnotila bezpečnost IVUS kritérii pro kontraindikaci PCI. Na základě těchto prací (10–16) byla uznávána následující kritéria hemodynamicky významné léze:

Hlavní epikardiální tepny

(rozměr ≥ 3 mm)

- MLA < 4 mm²
- MLD < 2 mm

Kmen ACS

- MLA < 6 mm²
- MLD < 3 mm

Žádná studie nezkoumala IVUS kritéria hemodynamické významnosti stenózy u bypassů. Obecně se doporučuje používat kritérium MLA 4 mm², pokud se jedná o bypass na jednu větev

a MLA 6 mm², pokud se jedná o bypass zásobující dvě větve.

V poslední době se však objevují práce, které tyto hodnoty zpochybňují. Kang, et al. (17) publikovali studii srovnávající FFR a IVUS. FFR hodnota $< 0,8$ korelovala s MLA 2,4 a s PB 79%. Ben-Dor, et al. (18) zjistili různé hodnoty MLA pro různou velikost tepny, které korelují s FFR $< 0,8$:

- MLA 2,4 mm² pro tepny 2,5–3 mm
- MLA 2,7 mm² pro tepny 3,0–3,5 mm
- MLA 3,6 mm² pro tepny 3,0–3,5 mm

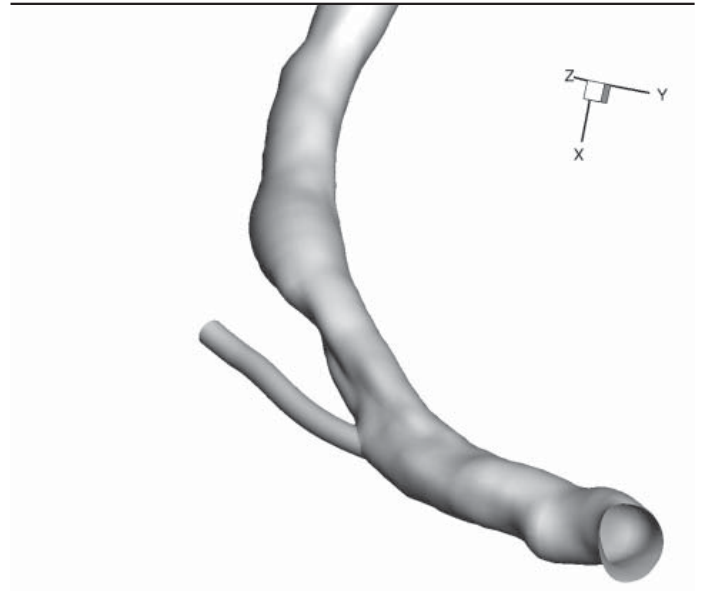
Park Seun-Jung (19) našel pro hodnocení kmene ACS korelaci mezi FFR $< 0,8$ a význ. MLA 4,5 mm².

Jednoduché a všeobecně používané hodnoty MLA 4 mm² a 6 mm² byly zpochybněny a dosud není jasné, které hodnoty se budou používat nyní. Je zřejmé, že IVUS jako morfolo- gická metoda může jen omezeně predikovat hemodynamickou významnost dané léze a už vůbec není možné pomocí intravaskulárního ultrazvuku hodnotit dopad stenózy na perfuzi různých typů funkčního stavu myokardu (normální tkáň, hybernovaný či nekrotický myokard), jako je to možné pomocí FFR. Nicméně se stále domníváme, že v případě angiograficky hraničních lézí může IVUS minimálně vyloučit hemodynamicky významnou stenózu a zabránit tak zbytečné intervenci.

Hodnocení kmene ACS

IVUS kmene se většinou provádí z RIA pro jednodušší sondáž a přímý směr, ale pro hodnocení kmene není rozdíl mezi vyšetřením provedeným z RIA a RCX (20). Při hodnocení ostiálního postižení druhé větve, než je vyšet-

Obrázek 2. 3D rekonstrukce vzniklá fúzí angiografie a IVUS zobrazující tvar lumen



řovaná (např. ostia RCx při pullbacku z RIA), je hodnocení méně přesné pro nadhodnocování ostia při jeho neortográdním zobrazení (21). Pro přesné zhodnocení ostiálního postižení je nutno provést dvě vyšetření z RIA i z RCX. Podle našich zkušeností je však tento pracnější postup nutný pouze v případech výrazného postižení ostia nevyšetřované tepny, kdy je nutno přesně stanovit strategii intervence. Pokud není ostium postiženo, nebo je zde jen malý plát, je informace z jednoho vyšetření (byť nepřesná) dostatečná ke zvolení strategie výkonu.

Velká pozornost je rovněž třeba při hodnocení ostia kmene ACS. Pokud se toto jeví jako elipsa, je to známka nekoaxiální pozice IVUS sondy ve kmene a dochází pak k nadhodnocování velikosti lumen. Je to důležité v situacích, kdy je v ostiu kmene patrný objemný plát. Na našem pracovišti provádíme všechny intervence na kmene pod kontrolou intravaskulárního ultrazvuku, a to jak před intervencí, tak kontrolujeme i výsledný efekt. Tento postup je velmi doporučován a v registru MAIN COMPARE (22) dokonce snižoval mortalitu při PCI s použitím lékových stentů.

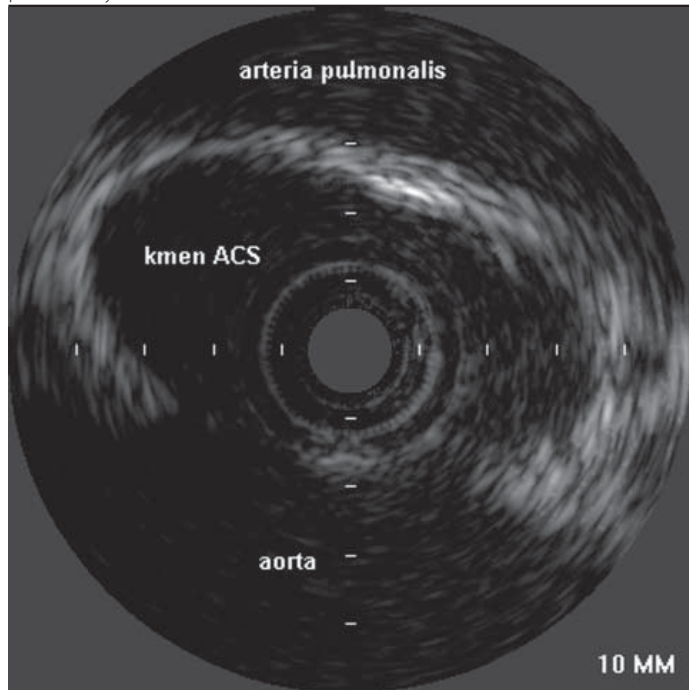
Zvláštním případem stenózy kmene ACS je komprese ostia mezi aortou a dilatovanou plicnicí u pacientů s těžkou plicní hypertenzí (obrázek 3). Zde je dosti nejasné, kdy indikovat intervenci, neboť komprese je patrna pouze v systole a v diastole, kdy je koronární tepna nejvíce perfundována, se lumen opět zvětšuje.

Intervence

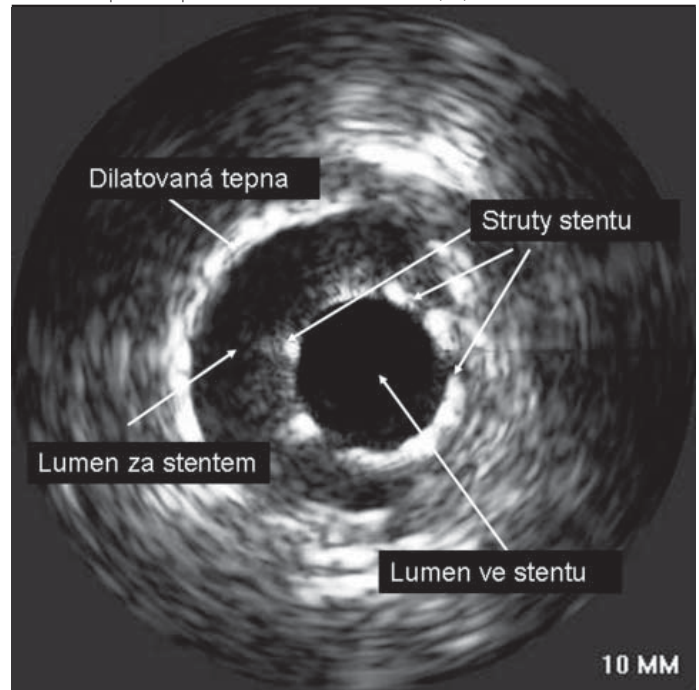
IVUS vedené intervence

Existuje řada prací, které hodnotí výběr velikosti a typu instrumentária, zvolení strategie

Obrázek 3. Externí komprese ostia kmene mezi aortou a dilatovanou plicnicí v systole



Obrázek 4. Extrémní malapozice stentu, která vznikla predilatací lékovým balonkem před implantací nelékového stentu (56)



intervence a hodnocení efektu intervence jak pro prostou balonkou dilataci, tak pro implantaci stentů. Zde bychom rádi shrnuli několik doporučení.

1. při plánování IVUS vedené intervence považujeme z řady hodnotitelných parametrů za nejdůležitější:
 - MLA pro zvážení hemodynamické významnosti stenózy
 - EEM v distálním referenčním segmentu, nebo průměrnou EEM v referenčních segmentech pro určení velikosti instrumentária
 - délka léze (pouze při použití automatického pullbacku)
 - postižení postranních větví pro určení strategie výkonu
 - alespoň orientační zhodnocení složení plátu; anechogenní pláty (při VH hodnocení pláty s vysokým zastoupením nekrotického tkáně) mají větší riziko periferních embolizací provázené vyšším vzestupem kardiomarkerů po intervenci a častějším výskytem „no-reflow“ fenoménu při intervenci u pacientů s akutním koronárním syndromem; intervence výrazně kalcifikovaných plátů je spojeno s menší finální plochou ve stentu a častější nedostatečnou apozicí stentu, proto je třeba rutinně používat vysokotlakou postdilataci
2. při hodnocení efektu intervence používáme na našem pracovišti následující kritéria:
 - po prosté balonkové dilataci $MLA > 6 \text{ mm}$ a nepřítomnost významné disekce (kri-

téria významné disekce jsou uvedena níže); splnění kritérii po prosté balonkové dilataci je spojeno s dobrým klinickým efektem a srovnatelným výskytem restenózy jako po implantaci BMS, proto je možno ponechat tyto léze bez stentu

- po implantaci BMS do tepen $\geq 3 \text{ mm}$ $MSA > 8 \text{ mm}^2$ u tepen menších než 3 mm $MSA > 6 \text{ mm}^2$
- po implantaci DES $5,5 \text{ mm}^2$

Nejnižší výskyt in stent restenózy u BMS je popisován u stentů s plochou lumen více než 9 mm^2 . Ta je ovšem dosažitelná až u stentů o velikosti $3,5 \text{ mm}$, které mají ideální plochu $9,6 \text{ mm}^2$. Nejčastěji udávanou hodnotou pro dostatečnou plochu ve stentu, která predikuje nízký výskyt restenózy je 8 mm^2 (23).

Parise, a spol. (24) recentně publikovali meta-analýzu všech randomizovaných studií, které srovnávaly angiograficky verus IVUS vedenou implantaci nelékových stentů. Svou práci uzavírají tím, že IVUS vede k signifikantnímu snížení 6měsíční angiografické restenózy, 12měsíční nutnosti revaskularizace a výskytu MACE.

Vzhledem k tomu, že lékové stenty (DES) významným způsobem redukuje výskyt restenózy ve stentu (v selektované populaci 5–10%) (25, 26) a je proto možno ponechat menší minimální plochu ve stentu ($5,0\text{--}6,0 \text{ mm}^2$) (27, 28), by se mohlo zdát, že IVUS vedená implantací DES nemůže již přinést další zlepšení výsledků. Po počáteční euforii z používání DES dnes víme, že jsou tyto stenty spojeny s některými kompli-

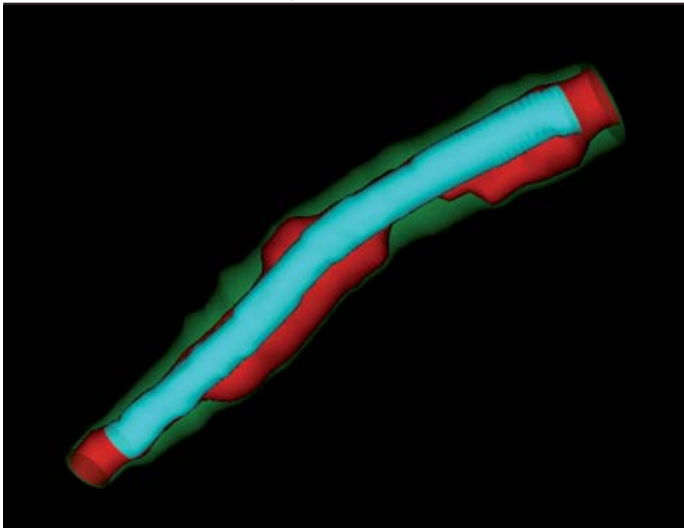
kacemi, které se zde vyskytují častěji než u BMS. Jedná se především o trombózu ve stentu (IST, in stent thrombosis) a pozdní malapozici (LSM, late stent malaposition).

Výskyt IST je u DES 1–1,5% (29) ve srovnání s 0,9% u BMS (30). Hlavními prediktory této závažné komplikace jsou malá finální plocha ve stentu ($4,3\text{--}4,6 \text{ mm}^2$), reziduální stenóza při okrajích stentu (definovaná jako $MLA < 4 \text{ mm}^2$), plaque burden $> 70\%$ (31, 32) a prolaps tkáně do stentu (33, 34). Všechny tyto parametry jsou dobře zjištělné při IVUS vyšetření. Roy, et al. (35) publikovali studii, která prokázala snížení výskytu MACE při IVUS vedené implantaci DES, a to díky snížení výskytu IST.

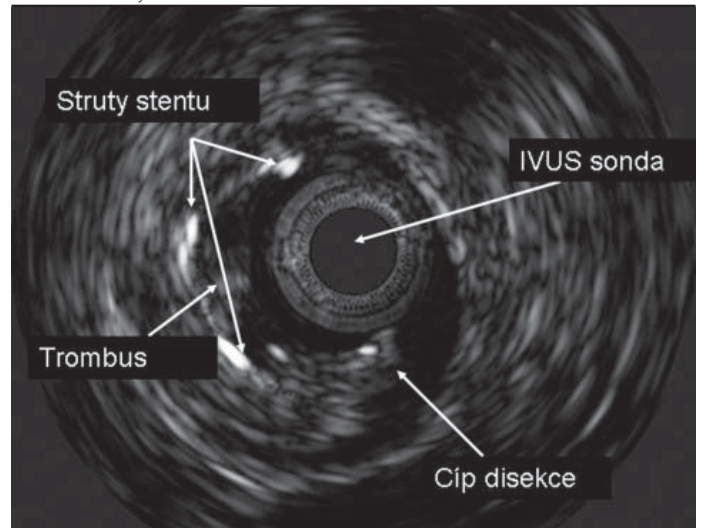
Pozdní malapozice ve stentu je definována jako nedostatečný kontakt stentu s cévní stěnou, který nebyl přítomen bezprostředně po implantaci stentu (obrázky 4, 5). Frekvence tohoto fenoménu není jasná a je pro DES udávána v širokém rozmezí (4–21%) (36, 37). LSM se rovněž vyskytuje u BMS, ale méně často ($4,4\text{--}5,4\%$) (38, 39). Existuje obava, že zpomalený průtok krve za stentem může vést k rozvoji IST. Cook, a spol. (40) popisuje vztah mezi LSM a pozdní IST. Na druhou stranu ovšem existují práce sledující pacienty s LSM, které zvýšený výskyt IST neprokázaly (41, 42). Tato otázka je stále námětem řady studií využívajících IVUS a OCT.

3. Nevýhodou IVUS vedených intervencí je prodloužení doby intervence o 10–15 minut (při využití integrované verze intravaskulárního ultrazvuku to může být méně), zvýšení

Obrázek 5. 3D rekonstrukce pozdní malapozice. Červeně je zobrazeno lumen, modře stent a zeleně tepna



Obrázek 6. Disekce vzniklá při okraji stentu, která vedla k rozvoji akutního koronárního syndromu



radiačního času v průměru o 2–3,6 minut a větší spotřeba kontrastu v průměru o 15–30 ml (43, 44).

4. Existují práce, které prokazují finanční přínos IVUS vedených intervencí, neboť umožňují použití menšího počtu stentů a odstraňují nutnost reintervencí v místech s nedostatečným efektem předchozí intervence a v místech, kde na základě IVUS nálezu nebyla intervence nutná (45, 46).
5. Koronární intervence by měly být vedeny intravaskulárním ultrazvukem v případe:
 - intervence na kmeni levé věnčité tepny,
 - intervence poslední koronární arterie,
 - intervence u pacienta, kterému není možno implantovat stent pro kontraindikaci duální antiagregace,
 - v situaci nejasného nálezu v průběhu nebo po koronární intervenci.

Využití IVUS vedení u bifurkačních lézí

Intervence bifurkačních lézí mají větší riziko vzniku restenózy a zhoršení průtoku v postranní větvi (SB, side branch). Nejčastěji udávanými příčinami pro tyto horší výsledky jsou (47):

- komprese plátu v ostiu postranní větve při implantaci stentu do hlavní větve (MV, main vessel), přičemž větší riziko tohoto fenoménu je u difuzního postižení ostia SB (48)
- přesun plátu z MV do SB při dilataci v hlavní větvi (tak zvaný fenomén sněžného pluhu)
- překrytí ostia SB stentem implantovaným v MV

Zásadní změnu pohledu na změny plátu při intervenci bifurkačních lézí přinesla práce Mediny, a kol. (49). Autoři vyvrací dlouho tradovaný názor, že vzhledem k lokálním hemodynamickým

parametrům, jakými je např. nízký shear stress (stříhové napětí) se aterosklerotický plát tvoří pouze na protilehlé části bifurkace a nikoli v oblasti kariny (50). Autoři našli plát v oblasti kariny u 32% bifurkačních lézí a v 16% těchto lézí byl plát v oblasti kariny dokonce větší než na protilehlé straně. Dalším zajímavým zjištěním byla přítomnost objemnějšího plátu v oblasti kariny u lézí, kde byla nejvýznamnější stenóza lokalizována pod bifurkací, což zřejmě souvisí se změnou shear stressu nad významnou stenózou.

Při hodnocení mechanismu vzniku ostiální stenózy v oblasti SB po stentingu MV autoři našli žádné známky přetlačení plátu z MV do SB a důvodem kompromitace ostia SB bylo vždy přesunutí kariny směrem do ostia SB. Přítomnost plátu v oblasti kariny byla dokonce negativním prediktorem kompromitace ostia SB. Ateroskleroticky změněná karina je zřejmě méně náchylná k dislokaci do ostia SB. Dislokace kariny do ostia SB nebude ale jediným mechanismem vzniku ostiální stenózy v SB, neboť jejími dalšími prediktory jsou MLA $2,4 \text{ mm}^2$ a PB $> 51\%$, které korelují se zhoršením FFR pod 0,8 v postranní větvi (51).

Důležitou informací je rovněž zjištění, že v oblasti bezprostředně distálně od ostia SB (tzv. „lower diamond“ nebo „polygon of confluence“) dochází po dilataci ostia SB přes oka stentu ke zmenšení plochy ve stentu, které se nenormalizuje ani při provedení kissing dilatace, což může mít vliv na rozvoj restenózy v tomto místě (52).

Hlavním přínosem intravaskulárního ultrazvuku při vedení intervencí bifurkačních lézí je přesné zhodnocení hlavní větve, bifurkace a ostia SB, které umožňuje zvolení nejlepší strategie. Oblast bifurkace je často změněna negativní remodelací, což nebývá patrné při angiografickém

vyšetření (53). Může také dojít k tomu, že příznivý nález v oblasti ostia SB vede ke změně strategie z komplexní na jednoduchou (jeden stent do MV bez dalšího výkonu).

IVUS vedení intervencí chronických uzávěrů

Hlavní nevýhodou intravaskulárního ultrazvuku při PCI chronických uzávěrů je pouze laterální pohled, který ultrazvuková sonda umožňuje. Tuto limitaci lze obejít v anatomicky příhodné situaci, kde je IVUS zaveden do postranní větve v blízkosti místa uzávěru a poté lze směřovat vodič přesněji do uzavřeného lumen. Tato technika však nedoznala širšího využití. V současné době bude brzy uvedena na trh sonda s novou technologií umožňující přímý pohled. To umožní lepší vedení vodiče do uzávěru a lepší orientaci, zda se vodič nachází v pravém či falešném lumen. Na to, zda skutečně tento katétr přinese zlepšení výsledků v terapii chronických uzávěrů, si budeme muset ovšem ještě počkat.

Diagnostika komplikací Disekce

Disekce jsou trhliny v cévní stěně, které jsou paralelní s tepnou, ve většině případů s patrným zatékáním kontrastní látky do falešného lumen, které se obvykle vyskytují na rozhraní dvou oblastí s rozdílnou poddajností (např. hranice normální cévní stěny a plátu, nebo rozhraní cévní stěny a stentu) (obrázek 6). Je mnoho parametrů, kterými mohou být disekce popsány (8):

- lokalizace: proximálně či distálně od léze
- směr šíření: myokardiální nebo epikardiální stěna tepny
- délka disekce (počet framů, ve kterých je patrna), rozsah disekce (úhel tepny, který

disekce zaujímá), hloubka disekce (od intimy až po adventicii)

■ pohyblivost cípu disekce

Hlavním faktorem, který je jednoznačně spojen s nepříznivou prognózou disekce, je zhoršení průtoku v tepně. Tato situace je angiograficky dobře patrna a musí být řešena okamžitě. U disekcí, které nevedou ke zhoršení lumen může IVUS přinést další informace a může také odhalit ty, které nejsou angiograficky patrné. Pak ovšem vyvstává otázka, které z nich mají být ošetřeny a které je možno ponechat ke konzervativnímu řešení. Nishida, a spol. (54) sledovali osud 124 pacientů s průtok nelimitující disekcí (65% z nich bylo po stentingu). Autoři uvádějí, že lze bezpečně ponechat neošetřeny ty disekce, které mají reziduální lumen větší než 6 mm² a plochu lumen větší než 40% EEM.

Další autoři uvádějí, že disekce, kterou nejsou angiograficky patrné a jsou diagnostikovány pouze při IVUS vyšetření, je možno ponechat neošetřeny, protože jejich prognóza je velmi dobrá (55).

Defekt v náplni

Léze s defektem v kontrastní náplni se vyskytují rovněž po koronárních intervencích. Zde je nejčastější příčinou velký reziduální plát, dále disekce, protruze plátu, méně často deformace stentu nebo intramurální hematom. Zvláštním případem je nařazení intimy při narovnání vinutě tepny tužším vodičem (8).

Závěr

IVUS je i v roce 2011 stále technikou, která přináší mnoho cenných informací, a to zejména v případě nejasného angiografického nálezu a při určování strategie komplexních koronárních intervencí. V poslední době došlo ke zpochybnění role intravaskulárního ultrazvuku při diagnostice hemodynamicky významné stenózy, nicméně plocha lumen nad 4 mm² prakticky vylučuje významnou stenózu a hodnoty pod touto hranicí musí být ještě dále ověřeny. IVUS je rovněž velmi cennou vyšetřovací technikou při zkoumání rozvoje aterosklerózy a změn indukovaných hypolipidemickou terapií.

Tato práce byla podpořena grantem IGA NR 9214–3.

Literatura

1. Mintz GS, Nissen SE, Anderson WD, Erbel R, Fitzgerald PJ, Pinto FJ, Rosenfelds K, Siegel K, Tuzcu EM, Yock PG. American college of cardiology clinical expert consensus document on

standards for acquisition, measurement and reporting of intravascular ultrasound studies (IVUS) a report of the american college of cardiology task force on clinical expert consensus documents. JACC 2001; 37: 1478–1492.

2. Mintz GS, Garcia-Gracia HM, Nicholls SJ, Weissman NJ, Bruining N, Crowe T, Tardif JC, Serruys PW. Clinical expert consensus document on standards for acquisition, measurement and reporting of intravascular ultrasound regression. progression studies. Eurointervention 2011; 6: 1123–1130.

3. Wahle A, Prause GPM, DeJong SC, Sonka M. Geometrically correct 3-D reconstruction of intravascular ultrasound images by fusion with biplane angiography – methods and validation. IEEE Transactions on Medical Imaging 1999; 18: 686–699.

4. Wahle A, Lopez J, Olszewski M, Vigmostad S, Chandran K, Rossen J, Sonka M. Plaque development, vessel curvature, and wall shear stress in coronary arteries assessed by X-ray angiography and intravascular ultrasound. Medical Image Analysis 2006; 10: 615–631.

5. Kotani J, Mintz GS, Rai P, et al. Intravascular ultrasound assessment of angiographic filling defects in native coronary arteries: Do they always contain thrombi? JACC 2004; 44: 2087–2089.

6. Grewal J, Ganz P, Selwyn A, et al. Usefulness of intravascular ultrasound in preventing stenting of hazy areas adjacent to coronary stents and its support of support spot-stenting. Am J Cardiol 2001; 87: 1246–1249.

7. Ziada KM, Tuzcu EM, De Franco AC, et al. Intravascular ultrasound assessment of the prevalence and cause of angiographic „haziness“ following high-pressure coronary stenting. Am J Cardiol 1997; 80: 116–121.

8. Mintz GS. Intracoronary ultrasound. Taylor & Francis 2005.

9. Pijls NH, de Bruyne B, Peels K, et al. Measurement of fractional flow reserve to assess the functional severity of coronary-artery stenoses. NEJM 1996; 334: 1703–1708.

10. Briguori C, Anzuini A, Airolidi F, et al. Intravascular ultrasound criteria for the assessment of the functional significance of intermediate coronary artery stenoses and comparison with fractional flow reserve. Am J Cardiol 2001; 87: 136–141.

11. Abizaid A, Mintz GS, Pichard A, et al. Clinical, intravascular ultrasound, and quantitative angiographic determinants of the coronary flow reserve before and after percutaneous transluminal coronary angioplasty. Am J Cardiol 1998; 82: 423–428.

12. Nishioka T, Amanullah A, Luo H, et al. Clinical validation of intravascular ultrasound imaging for assessment of coronary stenosis severity. Comparison with stress myocardial perfusion imaging. J Am Coll Cardiol 1999; 33: 1870–1878.

13. Takagi A, Tsurumi Y, Suzuki K, et al. Clinical potential of intravascular ultrasound for physiological assessment of coronary stenosis. Circulation 1999; 100: 250–255.

14. Abizaid A, Mintz GS, Mehran R, et al. Long term follow-up after percutaneous transluminal coronary angioplasty was not performed based on intravascular ultrasound findings. Circulation 1999; 100: 256–261.

15. Jasti V, Ivan E, Yalamanchili V, et al. Correlation between fractional flow reserve and intravascular ultrasound in patients with an ambiguous left main coronary artery stenosis. Circulation 2004; 110: 2831–2836.

16. Abizaid A, Mintz GS, A. Abizaid, et al. One-year follow-up after intravascular ultrasound assessment of moderate left main coronary artery disease in patients with ambiguous angiograms. J Am Coll Cardiol 1999; 34: 707–715.

17. Kang SJ, Lee JY, Ahn JM, Mintz GS, Kim WJ, Park DW, Yun SCh, Lee SW, Kim YH, Lee ChW, Park SW, Park SJ. Validation of intravascular ultrasound-derived parameters with fractional flow reserve for assessment of coronary stenosis severity. Circulation: Cardiovascular Interventions 2011; 4: 65–71.

18. Ben-Dor. Eurointervention 2011 přijato k publikaci.

19. Park Seun-Jung, EuroPCR 2011.

20. Suter Y, Schoenenberger AW, Toggweiler S, Jamshidi P, Resink T, Erne P. Intravascular ultrasound-based left main

coronary artery assessment: comparison between pullback from left anterior descending and circumflex arteries. J Invasive Cardiol 2009; 21: 457–460.

21. Oviedo C, Maehara A, Mintz GS, Tsujita K, Kubo T, Doi H, Castellanos C, Lansky AJ, Mehran R, Dangas G, Leon MB, Stone G, Templin B, Araki H, Ochiai M, Moses JW. Is accurate intravascular ultrasound evaluation of the left circumflex ostium from a left anterior descending to left main pullback possible? Am J Cardiol 2010; 105: 948–95.

22. Park SJ, Kim YH, Park DW, Lee SW, Kim WJ, Suh J, Yun SCh, Lee CHW, Hong MK, Lee JH, Park SW; MAIN-COMPARE Investigators. Impact of intravascular guidance on long-term mortality in stenting for unprotected left main coronary artery stenosis. Circ Cardiovasc Interv 2009; 2: 167–177.

23. Hoffmann R, Mintz GS, Mehran R, et al. Intravascular ultrasound predictors of angiographic restenosis in lesions treated with Palmaz-Schatz stents. J Am Coll Cardiol 1998; 31: 43–49.

24. Parise H, Maehara A, Stone GW, Leon MB, Mintz GS. 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: 374–382.

25. Moses JW, Leon MB, Popma JJ, Fitzgerald PJ, Holmes DR, O’Shaughnessy C, Caputo RP, Kereiakes DJ, Williams DO, Teirstein PS, Jaeger JL, Kuntz RE. Sirolimus-eluting stents versus standard stents in patients with stenosis in a native coronary artery. N Engl J Med. 2003; 349: 1315–132.

26. Stone GW, Ellis SG, Cox DA, Hermiller J, O’Shaughnessy C, Mann JT, Turco M, Caputo R, Bergin P, Greenberg J, Popma JJ, Russell ME. Apolymer-based, paclitaxel-eluting stent in patients with coronary artery disease. N Engl J Med. 2004; 350: 221–230.

27. Sonoda S, Morino Y, Jako J, et al. Impact of final stent dimensions on long-term results following sirolimus-eluting stent implantation. Serial intravascular ultrasound analysis from the SIRIUS trial. J Am Coll Cardiol 2004; 43: 1959–1963.

28. Moses JW, Dangas G, Mehran R, Mintz GS. Drug-eluting stents in real world: how intravascular ultrasound can improve clinical outcome. Am J Cardiol 2008; 102(suppl): 24J–28J.

29. Jeremias A, Sylvia B, Bridges J, et al. Stent thrombosis after successful sirolimus-eluting stent implantation. Circulation 2004; 109: 1930–1932.

30. Cutlip DE, Baim DS, Ho KK, Popma JJ, Lansky AJ, Cohen DJ, Carrozza JP Jr, Chauhan MS, Rodriguez O, Kuntz RE. Stent thrombosis in the modern era: a pooled analysis of multicenter coronary stent clinical trials. Circulation 2001; 103: 1967–1971.

31. Fuji K, Carlier SG, Mintz GS, et al. Stent under expansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study. JACC 2005; 45: 995–998.

32. Okabe T, Mintz GS, Buch A, et al. Intravascular ultrasound parameters associated with stent thrombosis after drug-eluting stent deployment. Am J Cardiol 2007; 4: 615–620.

33. Uren NG, Schwarzwacher P, Metz JA, et al. Predictors and outcomes of stent thrombosis. An intravascular ultrasound registry. Eur Heart J 2002; 23: 124–132.

34. Cheneau E, Leborgne L, Mintz GS, et al. Predictors of subacute stent thrombosis. Results of a systematic intravascular ultrasound study. Circulation 2003; 108: 43–47.

35. Roy R, Steinberg DH, Sushinsky SJ, Okabe T, Slottow TP, Kaneshige K, Xue Z, Satler LF, Kent KM, Suddath WO, Pichard AD, Weissman NJ, Lindsay J, Waksman R. The potential clinical utility of intravascular ultrasound guidance in patients undergoing percutaneous coronary intervention with drug-eluting stents. European Heart J 2008; 29: 1851–1857.

36. Degertekin M, Serruys PW, Tanabe K, et al. Long-term follow-up of incomplete stent apposition in patients who received sirolimus-eluting stent for de novo coronary lesions. An intravascular ultrasound analysis. Circulation 2003; 108: 2747–2750.

37. Serruys PW, Degertekin M, Tanabe K, et al. Intravascular ultrasound findings in the multicenter, randomized, double-blind RAVEL (RANdomized study with the sirolimus-eluting VELOCITY balloon-expandable stent in the treatment of patients with de novo native coronary artery Lesions) trial. *Circulation*. 2002; 106: 798–803.
38. Shah VM, Mintz GS, Apple S, et al. Background incidence of late malapposition after bare-metal stent implantation. *Circulation* 2002; 106: 1753–175.
39. Tanabe K, Serruys P, Degertekin M, et al. Incomplete stent apposition after implantation of paclitaxel-eluting stents or bare metal stents. Insights from the randomized TAXUS II trial. *Circulation* 2005; 111: 900–90.
40. Cook S, Wenaweser P, Togni M, et al. Incomplete stent apposition and very late stent thrombosis after drug-eluting stent implantation. *Circulation* 2007; 115: 2426–2436.
41. Hong MK, Mintz GS, Lee ChW, Park DW, Park KM, Lee BK, Kim YH, Song JM, Han KH, Kang DH, Cheong SS, Song JK, Kim JJ, Park SW, Park SJ. Late stent malapposition after drug-eluting stent implantation an intravascular ultrasound analysis with long-term follow-up. *Circulation* 2006; 113: 414–419.
42. Kimura M, Mintz GS, Carlier S, Takebayashi H, Fujii K, Sano K, Yasuda T, Costa RA, Costa JR, Quen J, et al. Outcome after acute incomplete sirolimus-eluting stent apposition as assessed by serial intravascular ultrasound. *Am J Cardiol* 2006; 98: 436–442.
43. Schiele F, Meneveau N, Gilard M, et al. Intravascular ultrasound-guided balloon angioplasty compared with stent. Immediate and 6-month results of the multicenter, randomized balloon equivalent to stent study (BEST). *Circulation* 2003; 107: 545–551.
44. Frey A, Hodgson J, Muller Ch, et al. Ultrasound-guided strategy for provisional stenting with focal balloon combination catheter. Results from the randomized strategy for intracoronary ultrasound-guided PTCA and stenting (SIPS) trial. *Circulation* 2000; 102: 2497–2502.
45. Gaster A, Skjoldborg S, Larsen J, et al. Continued improvement of clinical outcome and cost effectiveness following intravascular ultrasound guided PCI: insight from a prospective, randomized study. *Heart* 2003; 89: 1043–1049.
46. Mueller Ch, Hodgson J, Schindler Ch, et al. Cost-effectiveness of intracoronary ultrasound for percutaneous coronary interventions. *Am J Cardiol* 2003; 91: 143–147.
47. Aliabadi D, Tilli FV, Bowers TR, Benzuly KH, Safian RD, Goldstein JA, et al. Incidence and angiographic predictors of side branch occlusion following high-pressure intracoronary stenting. *Am J Cardiol* 1997; 80: 994–997.
48. Furukawa E, Hibi K, Kosuge M, et al. Intravascular ultrasound predictors of side branch occlusion in bifurcation lesions after percutaneous coronary intervention. *Circulation Journal* 2005; 69: 325–330.
49. Medina A, Martin P, de Lezo JS, Novoa J, Melian F, Hernandez E, de Lezo JS, Pan M, Burgos L, Amador C, Morera O, Garcia A. Ultrasound study of the prevalence of plaque at the carina in lesions that affect the coronary bifurcation: implications for treatment with provisional stent. *Rev Esp Cardiol* 2011; 64: 43–50.
50. Stankovic G, Darremont O, Ferenc M, Hildick-Smith D, Louvard Y, Albiero R, et al. Percutaneous coronary intervention for bifurcation lesions: 2008 consensus document from the fourth meeting of the European Bifurcation Club. *Eurointervention* 2009; 5: 39–49.
51. Kang SJ, Mintz GS, Kim WJ, Lee JY, Park DW, Lee SW, Kim YH, Lee ChW, Park SW, Park SJ. Preintervention angiographic and intravascular ultrasound predictors for side branch compromise after a single-stent crossover technique. *Am J Cardiol* 2011 ahead of prints.
52. De Lezo JS, Medina A, Martin P, et al. Ultrasound findings during percutaneous treatment of bifurcated coronary lesions. *Rev Esp. Cardiol*. 2008; 61: 930–935.
53. Fujii K, Kobayashi Y, Mintz GS, et al. Dominant contribution of negative remodeling to development of significant coronary bifurcation narrowing. *Am J Cardiol* 2003; 92: 59–61.
54. Nishida T, Colombo A, Briguori C, et al. Outcome of non-obstructive residual dissections detected by intravascular ultrasound following percutaneous coronary intervention. *Am J Cardiol* 2002; 89: 1257–1262.
55. Sheris SJ, Canos MP, Weissman NJ, et al. Natural history of intravascular ultrasound-detected edge dissections from coronary stent deployment. *Am Heart J* 2000; 139: 59–63.
56. Kovarnik T, Mintz GS, Sonka M. The late stent malapposition develops also after paclitaxel balloon predilatation before bare-metal stent implantation: case description. *Eur Heart J*. 2011 Feb. Přijato k publikaci.

MUDr. Tomáš Kovárník

*II. interní klinika kardiologie a angiologie VFN a 1. LF UK
U Nemocnice 2, 128 08 Praha 2
tkovarnik@yahoo.com*