

Near infrared spectroscopy (NIRS) – metoda na ústupu, nebo vycházející hvězda?

Martin Hudec^{1,2}, Jan Kaňovský^{1,2}, Ivona Kask¹, Kristýna Hlaváčová¹, Vojtěch Brázdil^{1,2}, Petr Kala^{1,2}

¹Interní kardiologická klinika Fakultní nemocnice Brno

²Lékařská fakulta Masarykovy univerzity Brno

Od počátku rozvoje intervenční kardiologie počítáme v současnosti již téměř 50 let. Za tuto dobu došlo k velkému pokroku nejen ve využívaných materiálech, ale také v metodách zobrazujících koronární řečiště. Do popředí zájmu se dostává identifikace vulnerabilních plátů (VP), v níž mají neotřesitelné postavení intrakoronární zobrazovací metody. Do běžné klinické praxe zavedené a využívané metody intravaskulárního zobrazování jsou jednak optická koherenční tomografie (OCT), jednak intravaskulární ultrazvuk (IVUS). Moderní metodou, založenou na spektrální analýze koronární tepny, která hodnotí chemické složení tepny, je NIRS (near infrared spectroscopy – blízká infračervená spektroskopie). Kromě identifikace VP ji lze využít v predikci periprocedurálních infarktů, hodnocení účinku hypolipidemické terapie či sizingu implantovaného stentu. Kombinací uvedených metod získáme morfologicko-chemickou analýzu aterosklerotických plátů, která přispívá ke komplexní informaci o postižení vyšetřovaného koronárního řečiště. Tyto informace mohou být základem v určení vulnerability jednotlivých plátů a tím optimalizace naší terapie.

Klíčová slova: NIRS, near infrared spectroscopy, intrakoronární zobrazovací metody.

Near infrared spectroscopy (NIRS) – method in retreat or rising star?

The development of interventional cardiology has been going on for more than 50 years. During this time, great progress has been made not only in the materials used, but also in intravascular imaging (IVI). IVI plays a key role in the identification of vulnerable plaques (VP). The methods established and used in common clinical practice are mainly optical coherence tomography (OCT) and intravascular ultrasound (IVUS). NIRS (near infrared spectroscopy) is a modern method based on spectral analysis that evaluates the chemical composition of an artery. It can be used in identification of VP, the prediction of periprocedural infarctions, evaluation of the effect of hypolipidemic therapy or sizing of the implanted stent. Using combination of these methods, we obtain a morphologic and chemical analysis of atherosclerotic plaques. In the future, it could provide complete information about the evaluated coronary system. This could be the basis for determining the vulnerability of individual plaques and thus optimizing the therapy.

Key words: NIRS, near infrared spectroscopy, intracoronary imaging.

Úvod

Intervenční kardiologie se vyvíjí již více než půl století. Za tuto dobu se zdokonalily vyšetřovací postupy, používané materiály a instrumentarium, zkušenosti vyšetřujících i samotné možnosti zobrazení koronárního řečiště. V posledních dekádách se postupně ukazovalo, že informace získané z prostého koronarogramu nemusí být dostatečné.

Do popředí zájmu se dostává identifikace tzv. vulnerabilního plátu (VP), tedy léze, která je prognosticky nejrizikovější pro vytvoření trombu a rozvoj akutního koronárního syndromu (AKS). Samotná selektivní koronarografie (SKG) není ideální metodou v diagnostice VP a to především z důvodu insuficientních informací o charakteru vyšetřovaných plátů. Ideální zobrazovací metoda by dokázala

informovat o tíži aterosklerotického postižení v celém koronárním řečišti, analyzovat asymetrická zúžení, rozhodnout o významnosti hraničních lézí, odhalit úseky časně aterogeneze, stratifikovat vulnerability lézí, optimalizovat techniku implantace stentu, usnadnila by volbu vhodného stentu, ověřila jeho apozici a také pomohla předejít možným post-intervenčním komplikacím.

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA: MUDr. Jan Kaňovský, Ph.D., kanovsky.jan@fnbrno.cz

Interní kardiologická klinika LF MU a FN Brno

Jihlavská 20, 602 00 Brno

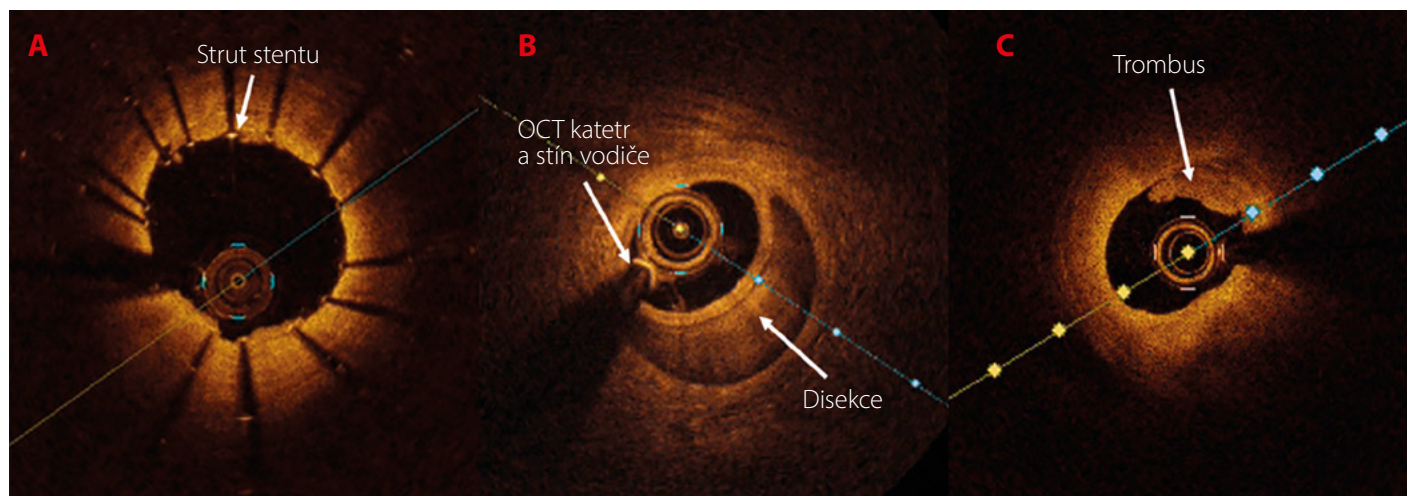
Cit. zkr: Interv Akut Kardiolog. 2022;21(3):132-138

Článek přijat redakcí: 14. 3. 2022

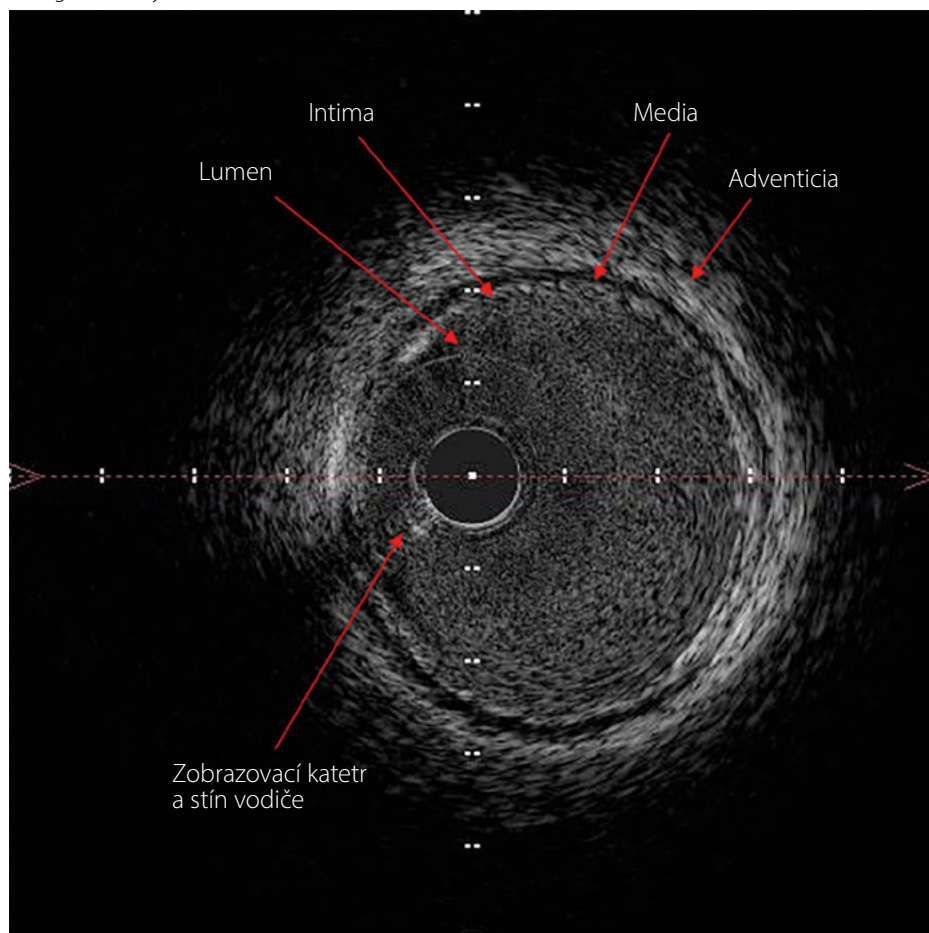
Článek přijat k publikaci: 1. 5. 2022

Článek přijat po přepracování: 17. 4. 2022

Obr. 1. Příklady průřezu tepnou zobrazeného pomocí OCT (zdroj: vlastní databáze Interní kardiologické kliniky Fakultní nemocnice Brno). A: Koronární tepna s implantovaným koronárním stentem a optimální apozicí. Jasně patrné „stíny“ jednotlivých strutů implantovaného stentu. B: Intrakoronární disekce s patrným falešným lumen. C: Koronární lumen s nasedajícím trombem u pacienta s AKS



Obr. 2. Fyziologická struktura cévní stěny zobrazená pomocí IVUS (zdroj: vlastní databáze Interní kardiologické kliniky Fakultní nemocnice Brno)



VP jsou léze spojené s možným vznikem intrakoronárních trombů. Pokud trombus signifikantně redukuje průtok nebo tepnu obturuje, dochází k redukcí perfúze a oxygenace postiženého myokardu. Virmani a kol. ve své práci identifikují 3 typy vulnerabilních plátů a to na základě výsledků patologické

analýzy pitevních nálezů pacientů zemřelých s AKS. Těmi jsou (i) prasklý aterosklerotický plát (ruptura), (ii) erodovaný plát bez trhliny v intimě a (iii) vápenaté uzlíky nasedající na cévní intimu (1). Zastoupení těchto typů v souboru pacientů s AKS zmiňují ve své práci Higuma a kol., a to v poměru – 64 % pacien-

tů s rupturou plátu, 27 % s erozí plátu a 8 % s vápenatými uzlíky (2).

Běžnou součástí katetrizačních sálů se tak v dnešní době stávají intravaskulární zobrazovací metody napomáhající získat mnohem větší množství informací o vyšetřované koronární tepně, než může poskytnout konvenční SKG. Podrobně zkoumají mikroanatomii plátů (intravaskulární ultrazvuk – IVUS; optická koherenční tomografie – OCT), jejich metabolickou aktivitu (intravaskulární termografie či elastografie) anebo identifikují jejich chemické složení (spektroskopie blízká infračervenému světlu – NIRS). Každá z metod má své výhody i nevýhody a je vhodná pro zobrazení odlišných struktur cévní stěny. NIRS se v poslední době kombinuje i s dalšími zobrazovacími modalitami (komerčně dostupný IVUS-NIRS a OCT-NIRS v rámci výzkumného využití). A právě jejich kombinace může být příslibem dostupné komplexní intravaskulární zobrazovací metody, která umožní zdokonalit rizikovou stratifikaci aterosklerotických plátů.

Intravaskulární zobrazovací metody v katetrizační laboratoři dneška

Optická koherenční tomografie (OCT) a intravaskulární ultrazvuk (IVUS)

OCT a IVUS jsou invazivní zobrazovací metody využívané k morfologickému posouzení koronárních tepen. Princip OCT je založen na

nízko koherentní interferometrii využívající elektromagnetické záření (1 300 nm) blízké infračervenému světlu. Ke snímání se využívají dva identické světelné paprsky. Jeden jako referenční a druhý jako diagnostický, který se odrazem mění v závislosti na charakteru a hloubce vyšetřovaných struktur. Odražený paprsek je následně automaticky přepočítán do výsledného obrazu, jež detailně zobrazuje morfologické struktury koronárních tepen (3). Hlavní výhodou OCT je velmi vysoké rozlišení (až 10 µm), díky čemuž dokáže dokonale zobrazovat povrchové části cévní stěny (např. i shluky makrofágů). OCT se využívá k detailnímu morfologickému hodnocení lézí, rozlišení intrakoronárních trombóz, ozřejmění i drobných intrakoronárních disekcí, analýze in stent restenózy nebo běžně při samotné koronární intervenci k přesnější navigaci a optimalizaci výkonu. OCT má však nevýhodu v malé penetraci do tkáně (pouze 1–3 mm), limitující využití při zobrazování tepen s větším průměrem. Naproti tomu IVUS využívá k zobrazení cévní stěny principu odražených ultrazvukových vln. Jeho hlavní výhodou je velmi dobrá penetrace do tkání (v rozsahu 4–8 mm) (4). Rozlišovací schopnost (100–150 µm) je však asi 10× menší než rozlišení u OCT (5) a zároveň výsledný obraz ve formě odstínů šedi neumožňuje často bezpečně rozlišit charakter plátů (např. zastoupení lipidové a fibrotické složky v plátu). Z těchto důvodů je dnes IVUS možno doporučit k analýze nebo vedení intervencí na tepnách s větším průměrem – nejčastěji kmen levé věnčité tepny či proximální úseky hlavních větví nebo při řešení chronických uzávěrů koronárních tepen. Jednou z možností zvýšení hodnoty informací získaných při IVUS vyšetření je kombinace s metodou NIRS. Vzhledem k dobré penetraci do tkání je tato kombinace metodou výrazně zvyšující komplexnost analýzy struktur cévní stěny.

NIRS – Near-infrared spectroscopy

Jedná se o intravaskulární zobrazovací metodu s nejkratší historií, která využívá princip spektroskopické analýzy vzorku. Preklinické testování této metody začalo v roce 1993. Schopnost poměrně přesné detekce cholesterolových částic byla v roce 2008 ověřena v klinickém testování na více než 200 segmentech koronárních tepen z pitevních vzorků (6).

Zásadním zlomem pro jeho užití v reálné praxi byla studie SPECTACL (Spectroscopic Assessment of Coronary Lipid, 2009), v níž byl systém poprvé využit na živých pacientech. V této práci byla prokázána srovnatelná bezpečnost se systémy IVUS a zároveň potvrzena schopnost detekce lipidových plátů (7). To vedlo k udělení FDA certifikace v roce 2013, od kdy je systém využíván k chemické analýze aterosklerotických lézí – konkrétně tedy detekce jejich lipidových částí (8).

Postavení intravaskulárních zobrazovacích metod v současných guidelines

Spektroskopie je metoda nová a v současných doporučeních prozatím není zmiňována. IVUS a OCT jsou v klinické praxi dostupné již po řadu let, čemuž nesporně pomohlo i jejich zakotvení v aktuálních guidelines (Doporučení ESC pro revaskularizaci myokardu z roku 2018 a Doporučení ESC pro léčbu AKS bez elevace ST segmentů z roku 2020).

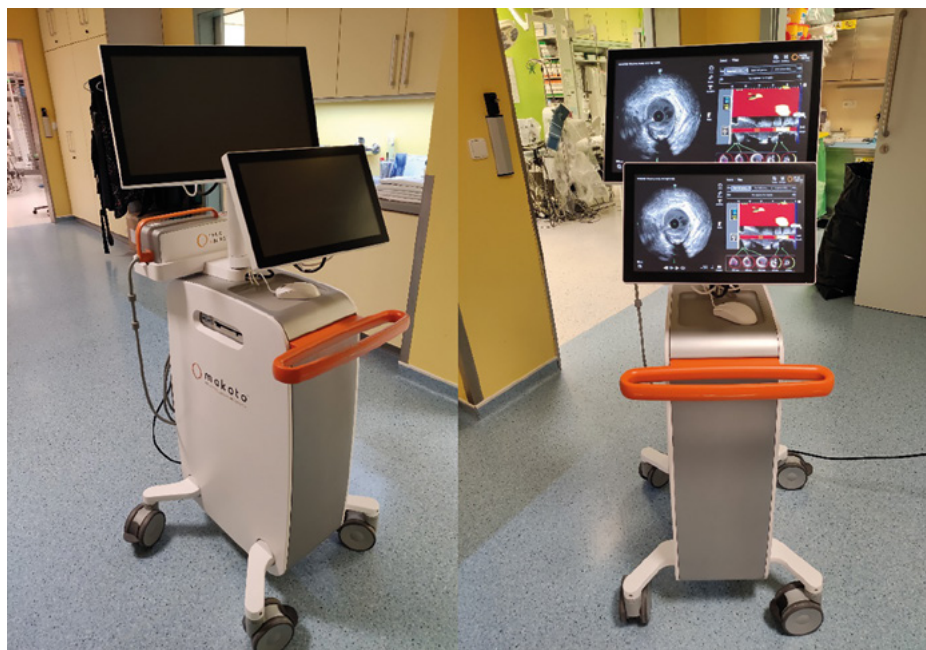
IVUS nebo OCT by měly být zváženy k odhalení mechanických problémů ve stentu, jež vedou k in – stent – restenóze (třída doporučení 2 A, úroveň důkazů C). Dále je doporučeno jejich použití při optimalizaci implantace stentu (třída doporučení 2 A, úroveň důkazů B). IVUS je navíc doporučen k určení závažnosti stenózy kmene levé věnčité tepny a také optimalizace terapie nechráněné stenózy kmene levé věnčité tepny (doporučení 2 A,

úroveň důkazů B) (9). Jejich využití je také doporučeno v případě diagnostiky spontánní disekce koronární tepny (třída doporučení 2 A, úroveň důkazů C), či v managementu diagnostiky MINOCA (myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries) (10).

Základní fyzikální principy NIRS

Spektroskopie je metodou využívanou v řadě odvětví při zjišťování chemického složení neznámých substancí. Principem metody je interakce elektromagnetického vlnění o známé vlnové délce blízké infračervenému světlu (780–2500 nm) se substancemi různého chemického složení. Tato vlnová délka zaručí minimální míru interakce s hemoglobinem a vodou, což umožní vyšetření bez použití kontrastní látky (11). Spektrometr emituje záření o známé vlnové délce do vzorku, kde dochází k jeho rozptylu a absorpci. Rozptýlení nastává při interakci s buněčnými a mimobuněčnými strukturami, jejichž velikost je větší než vlnová délka záření. To tak musí změnit směr pohybu a nastává jeho rozptýlení. Světelná energie je v určité míře zároveň pohlcena při průchodu vyšetřovaným vzorkem. Toto pohlcení se nazývá absorbance a je závislé na množství určitých chemických vazeb ve vzorku (největší míru absorbance vykazují C-H, O-H, N-H) (12, 13). Takto částečně odražený a absorbovaný signál se vrací zpět do spektrometru a je analyzován. Vzniká graf

Obr. 3. Nejnovější verze systému IVUS + NIRS (Makoto Intravascular Imaging System™)



absorbance každé z vlnových délek. Míra absorbance je specifická pro každou chemickou substanci. Výsledkem je spektroskopický otisk, který je analogem daktyloskopického otisku prstu (11, 12). Dle těchto grafů absorbance je poté možno i z neznámého vzorku detekovat zastoupení určité chemické substance (např. cholesterol).

NIRS systémy

S vývojem intrakoronární spektroskopie je od počátku spojena americká společnost InfraRedx, Inc. Historicky prvním systémem NIRS k detekci lipidových plaků byl katetr LipiScan™ (Infraredx Inc., Bedford, MA, USA), schopný pouze spektroskopické analýzy vyšetřovaného vzorku cévní stěny. Postupem času došlo ke zdokonalení systému a to především přidáním další zobrazovací modality – IVUS. Vznikaly tak systémy s obchodními názvy LipiScan™, TVC Imaging System™ a recentně na světový trh uvedený Makoto Intravascular Imaging System™ (14). Pro všechny tři platí možnost ko-registrovaného záznamu ve 2 modalitách, přičemž získaná informace z vyšetřované léze obsahuje informace o struktuře cévy (IVUS záznam) a složení plátu (NIRS analýza).

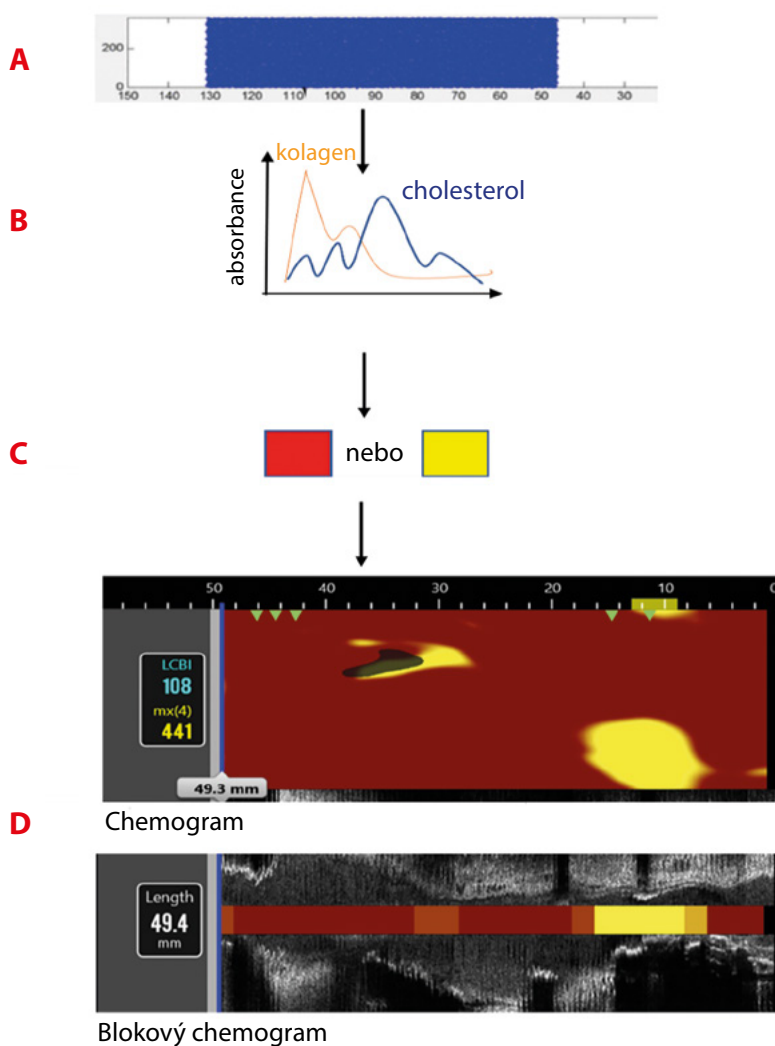
IVUS-NIRS systém je zaváděn po běžném koronárním vodiči. Nahrávka je pořizována během automatického, „pull-back“ manévru celého systému za současné rotace až 1 800 otáček za minutu. Analyzovaný úsek může mít až 15 cm délky, přičemž NIRS analyzuje 1 300 bodů na 1 mm. Každému z těchto bodů je poté přidělena hodnota od 0 do 1, dle pravděpodobnosti přítomnosti lipidů, přičemž každá hodnota je vyjádřena na barevné škále od červené po žlutou (12, 14).

Výsledkem této analýzy je chemogram – 2D grafické zobrazení analyzovaného úseku. Osa x představuje longitudinální osu cévy v milimetrech (dáno „pull-back“ posunem katetru) a osa y její rotační stupně (dáno rotací katetru). Každý bod má dle pravděpodobnosti přítomnosti lipidů určitou barvu ve škále od červené po žlutou: červená (pravděpodobnost menší než 0,57), oranžová (0,57–0,83), žlutohnědá (0,84–0,97), žlutá (0,98 a větší) (12, 15). Tvoří tak vizuální zobrazení naměřených hodnot. Blokovaný chemogram je potom shrnutím pravděpodobností

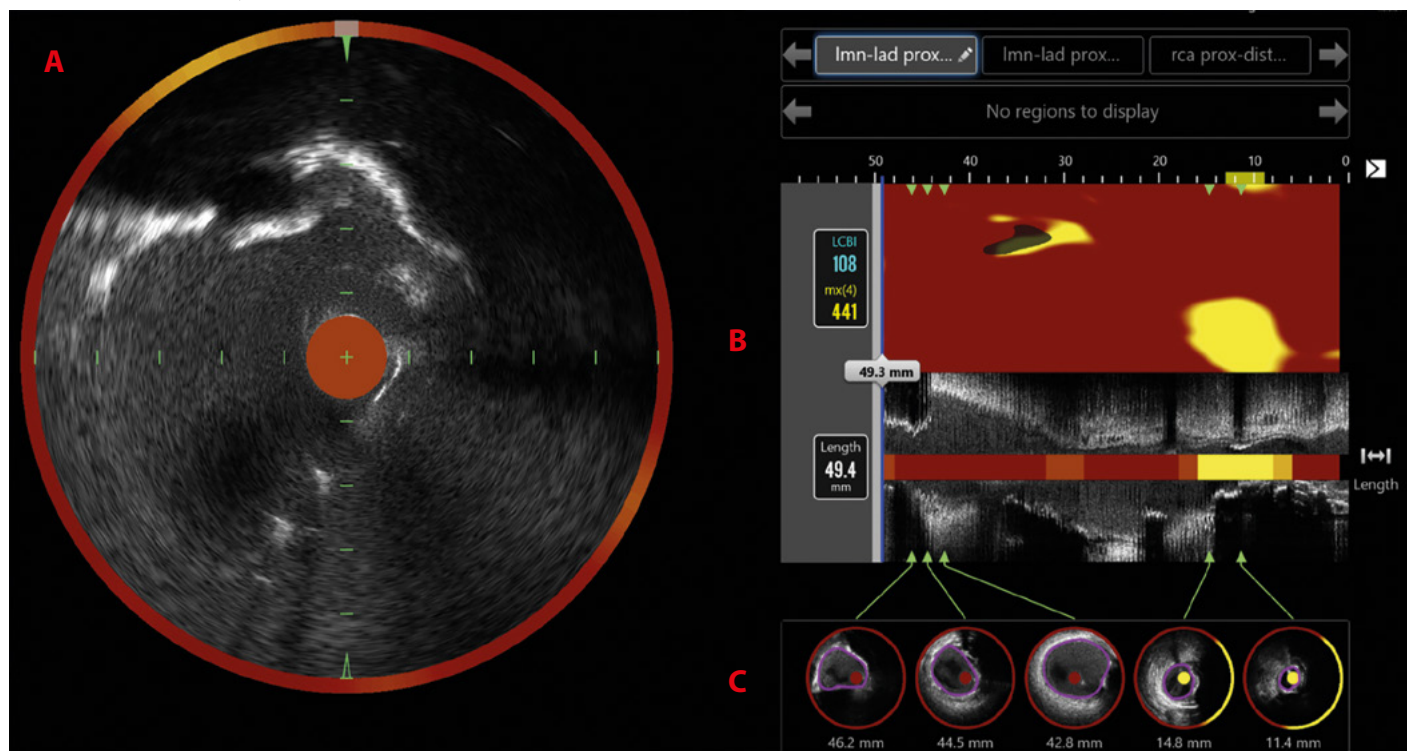
přítomnosti lipidů každých 2 mm délky vyšetřovaného úseku.

Naproti vizuálnímu chemogramu vyjadřuje LCBI (lipid-core burden index) jakousi kvantitativní číselnou hodnotu bodů s pravděpodobností přítomnosti lipidů větší než 0,6 (uvádí se v promilích). LCBI je tedy číselným vyjádřením barevného chemogramu. Od něj odvozenou veličinou je maxLCBI (4 mm) – tedy největší hodnota v úseku 4 milimetrů (12, 16). Tyto dvě hodnoty jsou zmiňovány ve většině klinických studiích, hodnotících prospěšnost a přínos systému NIRS v klinické praxi.

Obr. 4. Fyzikální princip vzniku chemogramu a blokového chemogramu. A: Úsek analyzované koronární tepny (osa x zobrazuje tepnu podélně, osa y zobrazuje příčný řez). Modře je zobrazena část u níž proběhla chemická analýza „bod po bodu“. B: Zjednodušený graf absorbance různých vlnových délek pro cholesterol a kolagen (tvar křivek je schematický a neodpovídá reálným křivkám). C: Dle pravděpodobnosti přítomnosti cholesterolových částic je každému z analyzovaných bodů přiřazena hodnota 0–1, což odpovídá barevné škále od červené po žlutou. D: Výsledný chemogram i s hodnotami LCBI a LCBI4mm a blokovaný chemogram s délkou analyzovaného úseku



Obr. 5. Kombinované zobrazení vyšetřovaného úseku z nejnovější verze IVUS-NIRS (Makoto Intravascular Imaging System™) v reálné praxi. A: Sagitální řez v distální části vyšetřovaného úseku koronární tepny (ramus interventricularis anterior). Jedná se o koregistrovaný záznam IVUS a NIRS. Ve středové části černobílý IVUS obraz. Po jeho obvodu barevný pruh vyjadřující chemogram v přilehlé části (dle pravděpodobnosti přítomnosti cholesterolu od červené po žlutou). V samotném středu obrázku barevné kolečko – vyjadřuje blokový chemogram pro daný řez. B: Chemogram a blokový chemogram celého vyšetřovaného úseku. Posunem kurzoru lze zvolit jednotlivé řezy v IVUS pull-back záznamu. C: Ukázka 5 řezů vyšetřovaným úsekem, na nichž je zřejmá vysoká pravděpodobnost přítomnosti cholesterolových plátů v pravé části pull-back záznamu (proximální část ramus interventricularis anterior)



no-flow či slow-flow fenomén s možným klinickým korelátem v podobě bolestí na hrudi, EKG změn a elevace kardiomarkerů – periprocedurálního infarktu myokardu (PPIM) (17).

V registru COLOR (Chemometric Observation of Lipid Core Plaques of Interest in Native Coronary Arteries) bylo u podskupiny 62 intervenovaných pacientů označeno 14 lézí jako rizikových (maxLCBI (4 mm) ≥ 500), přičemž PPIM nastal v 7 případech. U zbylých 48 pacientů pouze ve 2 případech (18). Ve studii CANARY (Coronary Assessment by NIR of Atherosclerotic Rupture-prone Yellow) bylo NIRS provedeno u 85 pacientů se stabilní anginou pectoris před samotnou intervencí. PPIM myokardu nastal u skupiny s vyšším maxLCBI (4 mm). U podskupiny 31 pacientů stratifikovaných jako nejrizikovější (maxLCBI (4 mm) ≥ 600) byla použita distální protekce – statisticky významný rozdíl v počtu PPIM však prokázán nebyl (19). Stratifikace nejrizikovějších lézí by tak hypoteticky mohla předejít PPIM výběrem pacientů k použití dokonalejších způsobů distální protekce, vést k volbě účinnější antitrombotické farmakoterapie či

důslednější hypolipidemické terapii a optimální přípravě pacientů před intervencí.

Hodnocení účinku antilipidemické terapie

Pro schopnost identifikace lipidových struktur a zároveň i jejich kvantifikace, je systém NIRS kandidát k hodnocení účinnosti terapie hypolipidemiky. Ve studii YELLOW (Reduction in Yellow Plaque by Aggressive Lipid-Lowering therapy) byl prokázán účinek maximálních dávek rosuvastatinu poklesem hodnot indexu maxLCBI (4 mm) v neintervenovaných tepnách (20). Navazující studie YELLOW II hodnotící význam non-culprit léze však tyto výsledky nepotvrdila a změna hodnoty maxLCBI (4 mm) statistickou významnost neprokázala (21), přičemž rozdílné výsledky jsou námětem dalšího výzkumu. V letošním roce bychom se měli dočkat výsledků studie PACMAN-AMI – hodnotící redukci množství lipidů v ošetřené lézi u pacientů s akutním infarktem myokardu léčeným PCSK9 inhibitory (alirocumab) (22) a v příštím roce pak výsledků studie FITTER hodnotící lipidovou složku non-culprit lézí u pacientů léčených evolocumabem (23).

Sizing implantovaného stentu

V roce 2012 zveřejnil Dixon et al. výsledky klinické analýzy stentovaných úseků koronárních tepen u 69 pacientů. Před koronární intervencí a implantací stentu byly tyto úseky zhodnoceny angiograficky a poté také systémem NIRS. Následně proběhlo srovnání v identifikaci délky léze prostou angiografií a pomocí NIRS. V 16 % případů byla délka lipidového plaku delší, než angiograficky udaná délka léze a mohl tak být zvolen delší stent, který pokryl postižený úsek cévy v celé délce (24).

Stratifikace vulnerability lézí

Vulnerabilita léze vyjadřuje její náchylnost k erozi či ruptuře a akutní trombóze, které mohou být klinicky vyjádřeny jako AKS. Je dána velikostí plátu, strukturou, zánětlivou aktivitou a také histologickým složením (množství lipidů, hladké svaloviny, kalcia a vazivové složky). Dle patologických analýz koronárních tepen pacientů s AKS je nejrizikovější lézí fibroaterom s nekrotickým lipidovým jádrem, tenkou vazivovou čepičkou ($\leq 65 \mu\text{m}$) infiltrovanou makro-

fágy a s absencí hladké svaloviny (thin cap fibroatheroma = TCFA) (1).

První studií, jež potvrdila důležitost složení plátu byla studie PROSPECT. U téměř 700 pacientů primárně vyšetřených pro AKS, byly pomocí IVUS vyšetřeny také non-culprit léze. Více než polovina následných MACE (major adverse cardiac events – smrt z kardiovaskulárních příčin, srdeční zástava, akutní infarkt myokardu či rehospitalizace pro nestabilní či progredující anginu pectoris) byla v souvislosti s primárně non-culprit lézí. Většina těchto non-culprit lézí byla původně angiograficky hodnocena jako hemodynamicky nevýznamná (25). Identifikace vulnerabilních lézí je hlavním cílem moderních zobrazovacích metod a NIRS se dle výsledků recentních studií tak může stát jednou ze stěžejních metod.

ATHEROREMO-NIRS observační studie se zaměřila na non-culprit léze u pacientů s ischemickou chorobou srdeční (stabilní forma či AKS). Jako první prospektivní studie prokázala 4x větší riziko výskytu primárního ukazatele (úmrtí z jakékoli příčiny, nefatální AKS, cévní mozková příhoda anebo neplánovaná koronární revaskularizace) u pacientů s LCBI > 43 během ročního sledování (26).

LRP (Lipid Riche Plaque) kohortová studie publikovaná v roce 2019 v Lancet se stala pro systém NIRS-IVUS zlomovou. Zařazeno bylo více než 1 500 pacientů s ischemickou chorobou srdeční a předpokladem koronární intervence. U těchto pacientů byly systémem IVUS-NIRS vyšetřeny neobstruktivní koronární léze. Poté byl 24 měsíců sledován budoucí výskyt MACE (kardiovaskulární úmrtí, náhlé úmrtí, infarkt myokardu, AKS, revaskularizace či rehospitalizace pro anginu pectoris) ve spojitosti s non-culprit lézí (NC-MACE). Základní tezí této studie bylo posoudit závislost výskytu NC-MACE na hodnotě maxLCBI (4 mm). Ve studii byla prokázána statisticky významná souvislost mezi hodnotou maxLCBI (4 mm) a NC-MACE v následujících 24 měsících. Pokud měl pacient maxLCBI (4 mm)

≥ 400, bylo riziko NC-MACE vyšší o 89 % (hazard ratio bylo 1,89 a hodnota $p = 0,0021$) (27).

Nejaktuálnější výsledky studie PROSPECT II zabývající se problematikou vulnerabilních plátů pak byly zveřejněny v březnu 2021 v časopisu Lancet. Jedná se o první multicentrickou prospektivní studii sledující výskyt MACE u non-culprit lézí, jež byly stratifikovány pomocí IVUS-NIRS. Zařazeno bylo takřka 900 pacientů po proběhlém akutním IM s úspěšně ošetřenou culprit lézí. S odstupem pak byly u těchto pacientů vyšetřeny všechny tři proximální úseky koronárních tepen (6–10 cm) metodou IVUS-NIRS. Celkově bylo takto analyzováno 3 600 non-culprit lézí. Primárním cílem bylo riziko výskytu kompozitního MACE (kardiovaskulární úmrtí, infarkt myokardu, nestabilní či zhoršující se AP) v závislosti na výskytu 3 vysoce rizikových charakteristik vyšetřených lézí. Těmi byly na lipidy bohaté pláty (pláty s maxLCBI (4 mm) ≥ 400), celková lipidová nálož (≥ 70 %; hodnocená z poměru plochy lumen a samotné nativní tepny) a nízká minimální plocha lumen (MLA; menší než 4 mm²). Medián dalšího sledování byl takřka 4 roky. Celkově nastal MACE u 13 % pacientů, z toho 8 % u non-culprit lézí (což je rozdíl, oproti předchozím studiím, kde byl poměr vyrovnaný). Pro každé z rizik byla provedena samostatná analýza a při kumulaci faktorů se pravděpodobnost MACE zvýšila. Ve skupině s vysokou hodnotou maxLCBI nastal NC-MACE u 4 % lézí, přičemž převažovala progres anginy pectoris (asi 3 %). Důležitá byla také informace, že jako hranice rizikové hodnoty maxLCBI (4 mm) byla identifikována hodnota 324. Jako vulnerabilní pak autoři označují léze s maxLCBI (4 mm) ≥ 325, celkovou lipidovou nálož ≥ 70 % a MLA ≤ 4 mm² (samotná MLA se za rizikový faktor značit nedá). Zajímavé je, že většina těchto lézí byla primárně angiograficky označena jako nevýznamná či hraniční. Cíl studie, schopnost systému IVUS-NIRS stratifikovat možné rizikové léze, tím byl dle autorů dosažen (28).

Závěr

Informace získané vyšetřením koronárního řečiště byly donedávna omezené na informace z prosté koronarografie a IVUS. Díky novým zobrazovacím metodám může být v poslední dekádě charakteristika koronárního řečiště rozšířena o podrobný morfologický a spektroskopický rozbor, jehož význam postupně získává i data z randomizovaných projektů. Jako vizi budoucnosti si autoři umí představit automatickou morfologicko-chemickou analýzu jednotlivých aterosklerotických plátů, tj. prostou charakteristiku referenčních úseků a léze, volumetrický popis množství a velikosti lipidových jader, popis chemického složení, charakter a tloušťku fibrózního krytu plátu, identifikaci přítomnosti vápenatých uzlíků, makrofágů apod. Tento rozbor by tak mohl nést komplexní informaci o aterosklerotickém postižení ve vyšetřovaném povodí, lépe pak v celém koronárním řečišti. Na základě těchto informací by bylo možné stratifikovat vulnerabilitu jednotlivých plátů a jako vysoce rizikové označit i část těch, které by mohly být prostou angiografií považovány za nevýznamné. To by následně mohlo napomoci individualizovat terapeutický postup „na míru“ každému pacientovi, např. ve smyslu agresivnější medikamentózní terapie, anebo naopak indikace využití implantace stentu. K tomu ovšem ještě vede dlouhá cesta jak po stránce technologické, tak i po stránce medicíny založené na důkazech včetně implementace do guidelines a praxe. NIRS, byť byl po přechodnou dobu považován za metodu bez jasného klinického využití s nedostatkem tvrdých dat, se v kombinaci s dalšími modalitami a na základě dostupných informací jeví jako jedna z technologií, které mohou mít na cestě k popsání vizi důležité místo.

Podpořeno MZ ČR – RVO (FNBr, 65269705)

LITERATURA

- Virmani R, Burke AP, Farb A, Kolodgie FD. Pathology of the Vulnerable Plaque. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47(8):C13-C18. doi:10.1016/j.jacc.2005.10.065.
- Higuma T, Soeda T, Abe N, et al. A Combined Optical Coherence Tomography and Intravascular Ultrasound Study on Plaque Rupture, Plaque Erosion, and Calcified Nodule in Patients With ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015;8(9):1166-1176. doi:10.1016/j.jcin.2015.02.026

- Červinka P, Špaček R, Kala P. Optická koherentní tomografie. *Interv Akut Kardiolog*. 2011;10 (Suppl.D):21-23.
- Nováková T, Kala P, Prýmková L, Kaňovský J. Využití optické koherentní tomografie (OCT) u akutního koronárního syndromu. *Interv Akut Kardiolog* 2019;18(1): 28-31. doi: 10.36290/kar.2018.019.
- Garcia-Garcia HM, Gogas BD, Serruys PW, Bruining N. IVUS-

- based imaging modalities for tissue characterization: similarities and differences. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2011;27(2): 215-224. doi:10.1007/s10554-010-9789-7.
- Gardner CM, Tan H, Hull EL, et al. Detection of Lipid Core Coronary Plaques in Autopsy Specimens With a Novel Catheter-Based Near-Infrared Spectroscopy System. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2008;1(5):638-648. doi:10.1016/j.jcmg.2008.06.001.
- Waxman S, Dixon SR, L'Allier P, et al. In Vivo Validation of

a Catheter-Based Near-Infrared Spectroscopy System for Detection of Lipid Core Coronary Plaques. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2009;2(7):858-868. doi:10.1016/j.jcmg.2009.05.001.

8. Negi SI, Didier R, Ota H, et al. Role of near-infrared spectroscopy in intravascular coronary imaging. *Cardiovasc Revasc Med*. 2015;16(5):299-305. doi:10.1016/j.carev.2015.06.001.

9. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J*. 2019;40(2):87-165. doi:10.1093/eurheartj/ehy394.

10. Collet JP, Thiele H, Barbato E, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2021;42(14):1289-1367. doi:10.1093/eurheartj/ehaa575

11. Gributs CEW, Burns DH. In Vivo Near-Infrared Spectrometry. In: Chalmers JM, Griffiths PR, eds. *Handbook of Vibrational Spectroscopy*. John Wiley & Sons, Ltd; 2006:s8108. doi:10.1002/0470027320.s8108.

12. Kilic ID, Caiazzo G, Fabris E, et al. Near-infrared spectroscopy-intravascular ultrasound: scientific basis and clinical applications. *Eur Heart J – Cardiovasc Imaging*. Published online September 20, 2015;jev208. doi:10.1093/ehj-ci/jev208.

13. Moreno PR, Lodder RA, Purushothaman KR, et al. Detection of Lipid Pool, Thin Fibrous Cap, and Inflammatory Cells in Human Aortic Atherosclerotic Plaques by Near-Infrared Spectroscopy. *Circulation*. 2002;105(8):923-927. doi:10.1161/hc0802.104291.

14. Kuku KO, Singh M, Ozaki Y, et al. Near-Infrared Spec-

troscopy Intravascular Ultrasound Imaging: State of the Art. *Front Cardiovasc Med*. 2020;7. doi:10.3389/fcvm.2020.00107

15. Swamy PM, Mamas MA, Bharadwaj AS. Role of Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) in Intracoronary Imaging. *Curr Cardiovasc Imaging Rep*. 2019;12(8):34. doi:10.1007/s12410-019-9510-8.

16. Horváth M, Hájek P, Štěchovský C, et al. Vulnerable plaque imaging and acute coronary syndrome. *Cor Vasa*. 2014;56(4):e362-e368. doi:10.1016/j.crvasa.2014.05.002.

17. Jaffe R, Charron T, Puley G, et al. Microvascular Obstruction and the No-Reflow Phenomenon After Percutaneous Coronary Intervention. *Circulation*. 2008;117(24):3152-3156. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.107.742312.

18. Goldstein JA, Maini B, Dixon SR, et al. Detection of Lipid-Core Plaques by Intracoronary Near-Infrared Spectroscopy Identifies High Risk of Periprocedural Myocardial Infarction. *Circ Cardiovasc Interv*. 2011;4(5):429-437. doi:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.963264.

19. Stone GW, Maehara A, Muller JE, et al. Plaque Characterization to Inform the Prediction and Prevention of Periprocedural Myocardial Infarction During Percutaneous Coronary Intervention. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015;8(7):927-936. doi:10.1016/j.jcin.2015.01.032.

20. Kini AS, Baber U, Kovacic JC, et al. Changes in Plaque Lipid Content After Short-Term Intensive Versus Standard Statin Therapy. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62(1):21-29. doi:10.1016/j.jacc.2013.03.058.

21. Kini AS, Vengrenyuk Y, Shameer K, et al. Intracoronary Imaging, Cholesterol Efflux, and Transcriptomes After Intensive Statin Treatment. *J Am Coll Cardiol*. 2017;69(6):628-640. doi:10.1016/j.jacc.2016.10.029.

22. University Hospital Inselspital, Berne. Effects of the PCSK9 Antibody AliroCuMab on Coronary Atherosclerosis in

PatienTs With Acute Myocardial Infarction: A Serial, Multivessel, Intravascular Ultrasound, Near-Infrared Spectroscopy And Optical Coherence Tomography Imaging Study. *clinicaltrials.gov*; 2020. Accessed March 24, 2021. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03067844>.

23. Radboud University. Functional Improvement of Non-InfarCT Related Coronary Artery Stenosis by Extensive LDL-C Reduction With a PCSK9 Antibody. *clinicaltrials.gov*; 2020. Accessed March 24, 2021. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04141579>.

24. Dixon SR, Grines CL, Munir A, et al. Analysis of Target Lesion Length Before Coronary Artery Stenting Using Angiography and Near-Infrared Spectroscopy Versus Angiography Alone. *Am J Cardiol*. 2012;109(1):60-66. doi:10.1016/j.amjcard.2011.07.068.

25. Stone GW, Maehara A, Lansky AJ, et al. A Prospective Natural-History Study of Coronary Atherosclerosis. *N Engl J Med*. 2011;364(3):226-235. doi:10.1056/NEJMoa1002358.

26. Oemrawsingh RM, Cheng JM, García-García HM, et al. Near-Infrared Spectroscopy Predicts Cardiovascular Outcome in Patients With Coronary Artery Disease. *J Am Coll Cardiol*. 2014;64(23):2510-2518. doi:10.1016/j.jacc.2014.07.998.

27. Waksman R, Di Mario C, Torguson R, et al. Identification of patients and plaques vulnerable to future coronary events with near-infrared spectroscopy intravascular ultrasound imaging: a prospective, cohort study. *The Lancet*. 2019;394(10209):1629-1637. doi:10.1016/S0140-6736(19)31794-5.

28. Erlinge D, Maehara A, Ben-Yehuda O, et al. Identification of vulnerable plaques and patients by intracoronary near-infrared spectroscopy and ultrasound (PRO-SPECT II): a prospective natural history study. *The Lancet*. 2021;397(10278):985-995. doi:10.1016/S0140-6736(21)00249-X.