„Stav umění“ PCI chronických totálních uzávěrů koronárních tepen

Vojtěch Novotný

Kardiologické centrum AGEL, a.s., Pardubice

PCI chronických totálních uzávěrů (CTO) koronárních tepen je jednou z nejdynamičtěji se rozvíjejících oblastí intervenční kardiologie. Samotné téma s sebou nese některé kontroverze. Jedná se o velmi komplexní výkony, které na jedné straně mohou řadě pacientů výrazně zlepšit kvalitu života, na druhé jsou ale zatíženy vyšším rizikem periprocedurálních komplikací než běžné non-CTO PCI. Skutečnost, že i v našich podmínkách vznikly na některých pracovištích dedikované CTO programy s rostoucími počty těchto výkonů, ukazuje, že jde o téma aktuální. V tomto přehledném článku předkládám zkrácenou verzi „state-of-the-art“ dokumentu vytvořeného respektovanými světovými experty na problematiku CTO. Základní stavební kameny úspěšného a bezpečného programu CTO PCI jsou tu rozděleny do sedmi obecných principů od indikace, přes plánování výkonů a jejich technických aspektů až po minimalizaci rizika vzniku a případné řešení komplikací.

Klíčová slova: CTO, chronický totální uzávěr, PCI, state-of-the-art, přehledný článek.

State-of-the-art PCI for coronary artery chronic total occlusion

PCI for chronic total occlusion (CTO) of coronary arteries is one of the most dynamically developing fields in interventional cardiology. The issue itself involves some controversy. These are very complex procedures which, on the one hand, can significantly improve the quality of life of many patients, but on the other hand, are burdened by a higher risk of periprocedural complications compared to common non-CTO PCI. The fact that, even in our conditions, dedicated CTO programmes with increasing numbers of these procedures were set up at some centres implies that it is a current issue. The review article presents an abridged version of a state-of-the-art document developed by world-renowned experts in the subject of CTO. The basic principles of a successful and safe CTO PCI programme are divided into seven general principles, ranging from indications to planning of procedures and their technical aspects to minimizing the risk of developing and/or possibly managing complications.

Key words: CTO, chronic total occlusion, PCI, state-of-the-art, review article.

Motto: „Je skvělé revaskularizovat pacienty, u kterých to umíme, ale ještě lepší umět revaskularizovat ty, kteří to potřebují.“

Úvod

Jako chronické totální uzávěry („Chronic Total Occlusion“, dále jen CTO) se označují uzávěry koronárních tepen s TIMI průtokem 0, o kterých lze předpokládat, že trvají alespoň tři měsíce. CTO nejsou vzácným nálezem, vyskytují se u téměř 20 % pacientů s angiograficky dokumentovanou ICHS, v populaci pacientů po

CABG až v 50 % případů (1), intervenovány však bývají daleko méně často než neokluzivní stenózy koronárních tepen – v citované prospektivní práci z roku 2012 byla téměř polovina pacientů CTO léčena konzervativně, 25 % podstoupilo chirurgickou revaskularizaci a pouze v 10 % byl učiněn pokus o CTO PCI, který byl pak úspěšný v 70 % případů.

Zásadou zlepšení materiálního vybavení a rozvoji speciálních intervenčních technik a ucelených algoritmů se úspěšnost CTO PCI zvýšila z oblasti mezi 60–70 % (2, 3) až k hra-

nici 90 %, která je nyní úspěšně atakována ve většině registrů zahrnující expertní centra pro CTO PCI.

V průběhu roku 2018 při setkáních na největších odborných akcích týkajících se problematiky CTO byl vytvořen dokument, který představuje konsensus expertů z celého světa (4). Zahrnuje sedm hlavních principů, které jsou široce respektovány a používány zkušenými CTO PCI operátory a centry a které umožňují dosahovat vysoké úspěšnosti při zachování akceptovatelného výskytu komplikací.

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

MUDr. Vojtěch Novotný, vojtech.novotny@kca.agel.cz

Kardiologické centrum AGEL, a.s., Kyjevská 44, 532 03 Pardubice

Cit. zkr: Interv Akut Kardiolog 2020; 19(1): 31–38

Obr. 1. Zdravice prof. Emmanouila S. Brilakise (Minneapolis Heart Institute), hlavního autora „state-of-the-art“ článku o CTO PCI (4)

Happy 30th Anniversary
to the Czech
Interventional
Cardiology Workshop
and good luck for
all your CTO PCIs!
Manolis
Brilakis

V následujícím textu přináším se souhlasem hlavního autora (obr. 1) zkrácenou verzi tohoto dokumentu, který představuje současný „state-of-the-art“ této disciplíny intervenční kardiologie.

Primární indikací pro CTO PCI je zlepšení symptomů

Dvě publikované randomizované studie (5, 6) a několik observačních studií (7) prokázalo zlepšení symptomů po úspěšné CTO PCI. Multicentrická studie EuroCTO randomizovala 396 pacientů mezi CTO PCI a optimální farmakologickou léčbu, pacienti ve skupině CTO PCI vykazovali výraznější zlepšení v četnosti anginózních záchvatů a v kvalitě života podle hodnocení Seattle Angina Questionnaire (5). V monocentrické studii IMPACTOR-CTO bylo 94 pacientů s izolovaným CTO ACD randomizováno k CTO PCI či optimální farmakologické léčbě. Po 12 měsících měli pacienti z větve CTO PCI vý-

znamnou redukci ischemické zátěže a zlepšení v testu šestiminutové chůze a kvalitě života (6). Tato data potvrzují nálezy z observačních studií a metaanalýz (8, 9, 10). Při interpretaci studií týkajících se CTO PCI je nutné vzít v úvahu selekční bias (pacienti s nejvýraznějšími symptomy jsou zařazováni méně) a nezanedbatelný cross-over mezi větvemi. Například do randomizované studie DECISION CTO (11) byli zařazeni pacienti s minimálními symptomy a procento cross-over bylo vysoké v obou léčebných větvích. Nebyla dosud provedena žádná randomizovaná studie kontrolovaná „sham“ procedurou, takže nelze vyloučit, že část pozorovaného benefitu je vedena placebo efektem. První studie tohoto typu (studie SHINE-CTO) právě probíhá.

V observačních studiích vedla CTO PCI ke snížení regionální ischemie a byla spojena se zlepšením tolerance zátěže (12), zvýšením anaerobního prahu a zlepšením deprese (13). Viabilní myokard zásobovaný tepnou s CTO je zónou perzistující

ischemie (14, 15). Není dosud prokázáno, zda CTO PCI zlepšuje jiné kardiovaskulární parametry jako ejekční frakci levé komory, riziko arytmií či mortalitu. V některých observačních studiích (16) došlo ke zlepšení jak regionální, tak globální funkce levé komory po úspěšné CTO PCI u pacientů s prokazatelnou viabilitou nebo preexistující dysfunkcí levé komory (17). Totéž se nepodařilo prokázat ve dvou randomizovaných studiích EXPLORE (18) a REVASC (19), tyto studie však byly provedeny u pacientů, jejichž průměrná ejekční frakce levé komory byla normální. U pacientů s ischemickou kardiomyopatií se sníženou ejekční frakcí by měla být prokázána přítomnost ischemie a viability myokardu zásobovaného tepnou s CTO před zvažováním revaskularizace CTO.

Pacienti s CTO, jimž byl implantován ICD v primární či sekundární prevenci, měli vyšší riziko komorových arytmií než pacienti s neokluzivním postižením koronárních tepen (20, 21) a vyšší riziko rekurentních komorových tachykardií po ablaci (22). Nebyly však provedeny žádné randomizované studie, které by zkoumaly, zda CTO PCI snižuje riziko následných arytmií. V observačních studiích měli pacienti se STEMI a zároveň přítomným CTO na neinfarktové tepně vyšší riziko rozvoje kardiogenního šoku a vyšší mortalitu (23).

Několik observačních studií porovnávalo úspěšné a neúspěšné CTO PCI, pacienti s úspěšnými procedurami měli nižší mortalitu. Tyto observační studie jsou ovšem zatíženy bias (8, 24). Stejný typ studií prokázal nižší incidenci MACE u pacientů s CTO PCI (25, 26) oproti pacientům se samotnou optimální farmakoterapií, a to i u pacientů s dobře vyvinutou kolaterální cirkulací. Hypotézu, že CTO PCI může zlepšit tvrdé výsledky obzvláště u pacientů s velkou ischemickou zátěží, u kterých je dosažena kompletní revaskularizace (27, 28), bude nutné potvrdit v dobře designovaných prospektivních randomizovaných studiích, jako jsou probíhající ISCHEMIA-CTO a NOBLE-CTO.

Doporučení ESC/EACTS pro revaskularizaci myokardu z r. 2018 uvádějí pro CTO PCI doporučení třídy IIa/úroveň důkazů B: „Perkutánní rekanalizace CTO by měla být zvážena u pacientů s anginou pectoris rezistentní k farmakologické léčbě nebo s velkou oblastí dokumentované ischemie v povodí uzavřené tepny (29).“

V souhrnu tedy zlepšení symptomů způsobených myokardiální ischemií (angina, námaňová dušnost, únava) navzdory optimální farmakologické léčbě zůstává jediným benefitem

Obr. 2. Duální angiografie u CTO ACD – čtveřice základních angiografických parametrů, které je třeba zhodnotit při plánování CTO PCI

CTO PCI, který byl prokázán randomizovanými studiemi, a proto by mělo být primární indikací, proč našim pacientům tuto proceduru nabízet. Důrazně je přitom doporučen důkladný rozhovor s pacientem o rizicích a benefitech výkonu v zájmu poskytnutí realistických očekávání před samotnou procedurou.

Duální angiografie a strukturovaná analýza angiogramu

Nejjednodušší, ale zároveň nejdůležitější technikou, jak zlepšit technickou úspěšnost a snížit výskyt komplikací CTO PCI, je provedení kvalitní simultánní duální koronární angiografie. Ta umožňuje lepší zobrazení a pochopení anatomie CTO a je zásadní k odhadnutí komplexity léze a pravděpodobnosti úspěšné rekanalizace. Zvyšuje rovněž bezpečnost procedury tím, že objasňuje polohu vodiče během pokusů o průchod uzávěrem a usnadňuje řešení komplikací, např. perforací. CTO PCI s jediným vodičím katétre může být provedena ve vybraných případech, kdy kolaterální cirkulace vychází výlučně z ipsilaterálních cév, např. u CTO levé koronární tepny při dominanci RC. V tomto případě je možné použít selektivní nástřik kontrastní látky přes mikrokátér do dárkové tepny a omezit tak spotřebu kontrastní látky a propagaci antegrádních disekčních

zón. Technika ping-pong, tj. použití dvou vodičích katétrů ve kmeni levé věnčité tepny, umožňuje lepší manipulaci s vodiči a mikrokatétrů obzvláště při použití retrográdního přístupu.

Před vlastní procedurou je zásadní důkladná analýza angiogramu a (je-li dostupná) i CT koronarografie. Ta umožňuje vytvořit primární a sekundární plán vlastního výkonu a zhodnotit poměr rizika a benefitu. Z tohoto důvodu i z důvodu možnosti dalšího hodnocení (např. viability myokardu) a detailní diskuze s pacientem o všech aspektech výkonu se u většiny případů ad-hoc CTO PCI nedoporučuje.

Anatomie CTO určuje nejpravděpodobnější úspěšnou a nejbezpečnější strategii rekanalizace. Angiografická analýza se zaměřuje na čtyři charakteristiky CTO (obr. 2): (1) morfologii proximální čepičky; (2) délku, průběh a složení (např. kalcium) uzávěru; (3) kvalitu distální části tepny a (4) charakteristiku kolaterální cirkulace (31, 32). Zároveň je nutné zhodnotit přítomnost non-CTO lézí, neboť např. hraniční stenóza kmeňe ACS či jiné léze mohou vést k úvaze o alternativní revaskularizační strategii (CABG, PCI dárkové tepny v první době).

Morfologie proximální čepičky

Určení lokality a morfologie proximální čepičky je zásadní pro výběr optimálního pří-

stupu k CTO PCI. Pokusy o průchod nejasnou („ambiguous“) proximální čepičkou mohou vést k perforaci. V identifikaci mohou pomoci dodatečné angiografické projekce s duálním nástřikem, selektivní nástřik přes mikrokátér v blízkosti čepičky, použití IVUS nebo CT koronarografie. Pokud přesto nelze objasnit lokalizaci proximální čepičky, je často vhodné zvolit retrográdní přístup jako primární strategii.

Délka, průběh a složení uzávěru

Při pouze antegrádním nástřiku bývá často nadhodnocena délka uzávěru vzhledem k nedostatečnému naplnění a chudé opacifikaci distálního průběhu tepny při kompetici antegrádního a retrográdního průtoku. Výsledkem je nejistota v umístění a morfologii distální čepičky. Duální nástřik či preprocedurální CT koronarografie umožňuje přesnější odhad délky CTO a anatomie distální čepičky. Závažné kalcifikace a vinutí v průběhu CTO znesnadňují průchod vodičem a zvyšují pravděpodobnost vstupu vodiče do subintimálního prostoru. V případě nejasného průběhu tepny či výrazného vinutí je často výhodnější pokračovat vodičem ve tvaru J (tzv. „knuckle“) nebo přejít na retrográdní přístup. Vodič ve tvaru J („knuckled wire“) umožňuje postup uvnitř architektury tepny s nízkým rizikem perforace (33).

Distální tepna

Přítomnost distálního povodí tepny většího kalibru (>2,0 mm) s dobrým plněním a bez významnějšího postižení či důležitých bočních větví usnadňuje rekanalizaci CTO. Více versa, malé, difúzně postižené distální tepny lze mnohem obtížněji rekanalizovat, obzvláště v situaci, kdy vodič prochází subintimálně. V některých případech však bývá distální povodí CTO tepny malého kalibru z důvodu hypoperfúze, která vede k negativní remodelaci. Tyto tepny po úspěšné rekanalizaci obvykle svou velikost zvětší (34). U pacientů po koronárních bypasech bývá distální čepička častěji kalcifikovaná a tuhá. Kalcifikace v distální části tepny pak mohou bránit návratu vodiče do pravého lumen („reentry“) v případě subintimální pozice vodiče.

Kolaterální cirkulace

Zhodnocení kolaterální cirkulace je zásadní pro určení, zda je možné využít retrográdní přístup (35). Kvalitní angiografie (bez posunu stolu

během akvizice) s kompletní opacifikací kolaterál v optimálních projekcích by měla být v případě nálezu CTO součástí diagnostické koronarografie. Retrográdní přístup do distální části tepny může být dosažen přes septální kolaterály, epikardiální kolaterály a bypassové štěpy (průchodné či uzavřené). Při hodnocení kolaterálních kanálků je nutno brát v potaz velikost, vinutí, bifurkace, úhel odstupu kolaterály a její napojení na distální tepnu a vzdálenost napojení kolaterály od distální čepičky. Nejdůležitějším prediktorem průchodu vodičem a mikrokateétre je absence vinutí, až na druhém místě je velikost kolaterály (36). I neviditelné septální kolaterální kanálky je někdy možné projít vodičem za použití techniky tzv. surfování, kdy vodič necháme najít vlastní cestu nejmenšího odporu (37). Kdykoli je to nutné, je možné provést selektivní nástřik kontrastní látky 2–3 ml stříkačkou přes špičku mikrokateétru k zobrazení anatomie kolaterální cirkulace. Podmínkou je zajištění dostatečného zpětného odtoku krve z mikrokateétru k prevenci barotraumatů. Bypassové štěpy jsou ideálním retrográdním konduitem, dokonce i uzavřené štěpy mohou být použity k retrográdnímu přístupu. Obezřetnosti je třeba, pokud kolaterály pocházejí z RIA, který je zásobován LIMA. Takový přístup je zatížen vyšším rizikem globální ischemie a není-li to nezbytné, není doporučeno ho používat (38).

Průchod vodičem septálními kolaterálami je v porovnání s epikardiálními typicky snazší a bezpečnější (39, 40), využívají se vodiče s polymerovou vrstvou a měkkou špičkou. Septální kolaterály je rovněž na rozdíl od epikardiálních možné dilatovat malými balonky a usnadnit tak průchod mikrokateétru.

CTO skórovací systémy

Kombinací angiografických i klinických charakteristik (např. předchozí neúspěšný pokus o CTO PCI či předchozí CABG) byly vytvořeny skórovací systémy k odhadu obtížnosti a rizikovosti specifické CTO PCI u různých populací pacientů. Prvním a nejrozšířenějším je J-CTO skóre (Multicentrický japonský CTO registr) (41), který odhaduje pravděpodobnost úspěšného průchodu CTO vodičem antegrádně do 30 minut. Hodnotí pět kritérií (oblá proximální čepička, délka > 20 mm, přítomnost kalcifikací, alespoň jeden ohyb > 45° a předchozí neúspěšný pokus). J-CTO skóre bylo validováno i u jiných kohort CTO PCI a je spojeno s klinickými výsledky po

jednom roce (42). Existují i další skórovací systémy (43, 44, 45, 46, 47, 48, 49), skóre založené na hodnocení CT koronarografie (50) a skóre odhadující pravděpodobnost komplikací (51).

Komplexní CTO, tj. takové, které mají J-CTO skóre ≥ 2 , nesou vysokou pravděpodobnost nutnosti využití „dissection-reentry“ technika retrográdního přístupu a tyto výkony by měly být prováděny zkušenými operátory.

Použití mikrokateétru k manipulaci s vodiči

Mikrokateétry by měly být užívány rutinně k zajištění opory pro manipulaci s koronárními vodiči a jejich snadné výměny jak v antegrádní, tak retrográdní pozici. Mikrokateétry zvyšují přesnost rotačních i longitudinálních pohybů vodiče v krevním řečišti i v samotném uzávěru a umožňují dynamicky měnit penetrační sílu vodiče změnou vzdálenosti mezi špičkou mikrokateétru a vodiče. Zároveň umožňují rychlé natvarování špičky vodiče či jeho výměnu beze ztráty dosažené pozice. Mikrokateétry svou konstrukcí dilatují retrográdní kolaterální kanálky a chrání je proti poškození vodičem. Umožňují také podání kontrastní látky pro selektivní vizualizaci nebo provedení Carlino techniky (injekce 1–2 ml kontrastní látky přímo do uzávěru k objasnění polohy mikrokateétru a usnadnění průchodu) u tuhých lézí, které odolávají průchodu vodičem (52). Je jednoznačná preference mikrokateétru nad over-the-wire balonovými katétry. Podobně jako u vodičů, volba konkrétního mikrokateétru závisí na angiografických charakteristikách CTO, zkušenosti operátora, ale i na lokální dostupnosti. Je třeba zdůraznit, že k usnadnění rekanalizace CTO je neméně důležitá volba správného vodičového katétru, který zajistí koaxiální intubaci a silnou oporu.

Strategie rekanalizace CTO

Existují čtyři základní strategie rekanalizace CTO, klasifikace zohledňuje směr průchodu vodiče (antegrádní a retrográdní) a zda je či není využit subintimální prostor (tzv. „wiring“ versus disekce a „reentry“) (31, 32).

Antegrádní průchod vodičem

Antegrádní průchod vodičem (označován také jako antegrádní eskalace vodičů, pozn. překladatele: nověji je technika průchodu vodičem uzávěrem označována v angličtině jako „wiring“, eskalace vodičů předpokládá stupňo-

vání penetrační síly vodičů, v praxi je pro zachování bezpečnosti neméně důležitá i deeskalace vodičů při překonání místa největší rezistence) je nejrozšířenější technikou rekanalizace CTO (53, 54, 55). Volba vodiče závisí na charakteristikách CTO. V případě zašpičatělé („tapered“) proximální čepičky či funkčního uzávěru s viditelným kanálkem je první volbou polymerem potažený vodič s nízkou penetrační silou a zužující se špičkou, v případě potřeby je potom doporučena eskalace na vodiče se střední či vysokou penetrační silou. Pokud je proximální čepička oblá („blunt“), doporučuje se začínat polymerem potahovaným vodičem se střední penetrační silou nebo vodičem s kompozitním jádrem. Tuhé vodiče s vysokou penetrační silou mohou být nutné u rezistentních proximálních čepiček nebo tam, kde se objeví oblasti vysoké rezistence v průběhu těla uzávěru. Po průchodu 1–2 mm za proximální čepičku je pro navigaci vlastním tělem CTO vhodné deeskalovat na vodiče s nižší penetrační silou.

Kontralaterální nástřiky a kolmé angiografické projekce jsou klíčové pro správné určení polohy vodiče při pokusech o průnik. Pokud vodič dosáhne distálního pravého lumina, dalším krokem je posun mikrokateétru za uzávěr a dedikovaný CTO vodič je poté vyměněn za „workhorse“ vodič, aby bylo minimalizováno riziko poranění cévy či perforace během angioplastiky a stentování (deeskalace vodičů). Pokud vodič penetruje mimo strukturu tepny, má být vytažen a změněn směr jeho průchodu, aniž bychom po takovém vodiči posouvali mikrokateér. Jestliže vodič vstoupí do subintimálního prostoru, může být změněn směr průchodu, ale pokud tento manévř selže, je možné v této pozici vodič nechat a podle něj navigovat druhý vodič do distálního pravého lumen (tzv. technika paralelních vodičů). Pomocí může využití dual-lumen mikrokateétru nebo IVUS. Alternativou je přechod na techniku antegrádní disekce a reentry, jak je popsáno níže. Je vhodné se vyvarovat subintimálního posunu vodiče za distální čepičku, což může vést ke tvorbě hematomu, který způsobuje kompresi distálního lumina a snižuje šanci na úspěch. Pokročilým manévrem je návrat do pravého lumina navigovaný pomocí IVUS.

Antegrádní disekce a reentry

Technika antegrádní disekce a reentry zahrnuje vstup do subintimálního prostoru, průchod

oblastí CTO tímto prostorem a následný návrat („reentry“) do distálního pravého lumen. Může se jednat o záměr, ale i o nezáměrný výsledek během pokusů o antegrádní průchod vodičem. První technikou byl tzv. STAR (Subintimal Tracking And Re-entry) a využíval náhodný a nekontrolovatelný návrat do distálního lumina (56). Vzhledem k možné okluzi bočních větví a nutnosti dlouhých stentovaných úseků s výrazným poraněním cévy a vyšším výskytem restenóz a reokluzí (56, 57, 58) je v současnosti STAR technika využívána jako „bailout“ strategie bez implantace stentů po balonkové dilataci. Jako taková slouží jako příprava pro opakovaný pokus o CTO PCI a je označována jako subintimální modifikace plátu nebo přípravná procedura („investment procedure“) (59, 60, 61). Důležitý pokrok způsobil rozvoj technik limitované disekce/reentry za využití dedikovaných systémů pro reentry (62, 63) či strategií založených na práci s vodiči (64). Tyto techniky umožňují omezit délku disekce, a tím i implantovaných stentů a zvýšit pravděpodobnost zachování bočních větví. Tento přístup je spojený s příznivými klinickými výsledky (65, 66, 67, 68, 69).

Retrográdní přístup

Retrográdní technika se liší od antegrádního přístupu tím, že k uzávěru přistupujeme z distální části tepny, kam je vodič zaveden přes kolaterální kanálky nebo přes bypassový štěp (70). Následujícím krokem je posun mikrokatétru k distální čepičce CTO, o retrográdní překonání CTO se pak snažíme buď přímým průchodem uzávěrem vlastním lumenem tepny (obvykle u kratších uzávěrů, zejména je-li distální čepička zašpičatělá) nebo za využití retrográdních technik disekce/reentry. Nejčastěji používanou retrográdní technikou překonání CTO je tzv. Reverse-CART (Reverse Controlled Antegrade and Retrograde Tracking), při kterém jsou oba vodiče v subintimální pozici a po inflaci balonku na antegrádním vodiči je retrográdní vodič zaveden do prostoru, který antegrádní balonek vytvoří. V případech obtížného reverse-CART může IVUS objasnit příčinu selhání a zvýšit šanci na úspěch (71). Retrográdní vodič i mikrokatétr jsou pak zavedeny do antegrádního vodičového katétru (výrazně pomoci může extenze vodičového katétru) a po externalizaci, tj. propojení retrográdního a antegrádního systému pomocí dlouhého 300cm vodiče z retrográdní strany, je PCI dokončena antegrádní cestou.

Volba strategie

Volba úvodní a alternativních strategií závisí na charakteristikách CTO léze, zkušenosti operátora a lokální dostupnosti vybavení. K usnadnění volby strategie byly vytvořeny různé algoritmy, jako například Hybridní (31), Asia-Pacific (72) a Euro-CTO (73) algoritmus. Jako iniciální strategie je většinou preferován antegrádní přístup nad retrográdním s ohledem na vyšší riziko komplikací u retrográdního přístupu (53, 54, 55) a faktu, že i v případě retrográdních technik je určitá antegrádní příprava léze nezbytná. Je třeba zmínit, že některé komplikace retrográdních CTO PCI jsou způsobené pokusy o předchozí antegrádní průchod. Retrográdní přístup je zásadní pro dosažení vysokého stupně úspěšnosti zejména u komplexních CTO (53, 55) a má příznivé dlouhodobé klinické výsledky (74).

U CTO s nejasnou proximální čepičkou a aorto-ostiální CTO je často retrográdní přístup volen jako primární strategie. Alternativami, zejména nejsou-li přítomny interveční kolaterály či štěp, jsou: 1) objasnění přesné lokalizace proximální čepičky pomocí IVUS nebo pre-procedurální CT koronarografie (72, 73, 74, 75) nebo 2) techniky k usnadnění vstupu do subintimálního prostoru proximálně od uzávěru, např. BASE (Balloon-Assisted Subintimal Entry), kdy je vodič zaveden do disekce vytvořené předchozí inflací balonku proximálně od uzávěru a oblast CTO poté překonána subintimálním prostorem (76).

Změny strategie

Důležitým aspektem pro zajištění úspěšnosti, bezpečnosti a efektivity celé CTO PCI procedury je flexibilita. Pokud úvodní strategie nevede k úspěchu či progresi, je vhodné na základě plánování před samotným výkonem časné přistoupit k menším (např. změně angulace špičky vodiče nebo výměně vodiče) nebo podstatnějším (např. konverze na retrográdní přístup) změnám. Je velmi důležité nesetrvávat v módu selhání a opakovat nefungující postup, neboť to vede k neefektivnímu prodlužování výkonu, zvýšení dávky záření i kontrastní látky a ve výsledku to může znemožnit přechod na alternativní strategii nebo zvýšit riziko komplikací.

Podobně jako u iniciální strategie je i načarování a volba následných strategií závislá na charakteristikách léze, úskalích, na která jsme při původní strategii narazili, zkušenostech a dostupnosti vybavení. I zde mohou pomoci existující

algoritmy (31, 72). Pouze 50–60 % CTO se daří rekanalizovat výlučně za použití iniciální strategie (53, 54). Změny strategie mohou pomoci maximalizovat pravděpodobnost úspěchu a omezit spotřebu kontrastní látky a dávky záření.

Důvody ukončit pokus o CTO PCI zahrnují výskyt komplikace, vysokou dávku záření (obvykle > 5 Gy air kerma dávky, není-li zároveň dosaženo průniku lézí nebo podstatného pokroku), vysokou dávku kontrastní látky (> 3,7 násobek odhadované clearance kreatininu), vyčerpání možnosti rekanalizace nebo únavu operátora či pacienta. I zde platí, že je nutné v různých stádiích výkonu individuálně zvažovat poměr rizika a benefitu a podle toho se rozhodovat o dalších krocích. V mnoha případech je lepší neuspět než pokračovat vysoce agresivní strategií, která může vést k závažné komplikaci (53).

Vybavení a zkušenost týmu

CTO PCI by měly být prováděny v rámci dedikovaného programu, který zahrnuje kontinuální trénink a monitorování výsledků (77). Větší objem CTO PCI výkonů je pevně spojen s jejich vyšší úspěšností (47, 78, 79).

Provádění CTO PCI zkušeným operátorem a týmem je mimořádně důležité z hlediska minimalizace výskytu komplikací a jejich zvládnutí. CTO PCI s sebou nese zvýšené riziko komplikací v porovnání s non-CTO PCI (78), obzvláště pak perforace (7). Ve všech aktuálních registrech se tamponáda vyskytuje u 0,4 % až 1,3 % případů (7, 53, 54, 55, 80, 81). Ostatní nežádoucí příhody spojené s CTO PCI zahrnují komplikace v místě cévního přístupu, poranění dárčkové koronární tepny, arytmie, CMP, kontrastem indukovanou nefropatii, radiační dermatitidu, nutnost emergentní chirurgické revaskularizace a úmrtí (82). Průměrné riziko komplikací je cca 3 %, v různých sériích se liší a zvyšuje se s větší komplexitou lézí (7, 53, 54, 55, 80, 81). Základními opatřeními jsou používání duálních nástřiků, rutinního zavádění bezpečnostního vodiče do dárčkové tepny, udržování ACT $\geq$ 300–350 sekund za kontrol ACT každých 30 minut. V případě perforace velké tepny je třeba mít k dispozici stentgrafty, u distálních perforací intravaskulární coily. Operátor musí ovládat manipulaci s těmito zařízeními, aby je dokázal efektivně využít v emergentní situaci. Dojde-li k perfora-

ci epikardiální kolaterály (40, 83), je často nutné k zastavení extravazace provést embolizaci z obou směrů (využít lze coily, trombin nebo vlastní podkožní tuk pacienta) (84). Zvláštní pozornost je třeba věnovat pacientům po předchozím CABG, u kterých perforace může vést k život ohrožující a k punkci špatně přístupné lokální tamponádě (85) nebo ke krvácení do mediastinu či pleurálních dutin.

Důslednou pozornost je také nutno věnovat minimalizaci dávky záření a rizika radiačního poranění kůže. Toho je možné dosáhnout použitím nižší obnovovací frekvence u skioskopie, „fluoro-store“ funkce k záznamu důležitých částí procedury, změnami projekcí během výkonu a samozřejmě respektováním ostatních zásad radiační ochrany. Podobně je třeba věnovat

pozornost i minimalizaci dávky použité kontrastní látky.

Optimální implantace stentu

Při CTO PCI se často nevyhne implantaci více stentů do terénu kalcifikovaných, difúzně postižených a negativně remodelovaných tepen. Je třeba věnovat odpovídající pozornost optimalizaci implantace stentů, v opačném případě může být důsledkem vyšší výskyt restenózy či trombózy stentů. Použití intravaskulárních zobrazovacích metod může pomoci zhodnotit velikost tepny a přítomnost kalcifikací před vlastním stentováním a ověřit správnou expanzi, apozici a pokrytí léze bezprostředně po PCI a tím snížit riziko budoucích nežádoucích příhod (86, 87, 88, 89). Difúzní postižení distálního povodí tepny často

nevyžaduje léčbu, obvykle dochází ke zvětšení distální tepny po obnovení průtoku (90).

Závěr

Výše uvedená doporučení vycházejí z letitých zkušeností intervenčních kardiologů, které lze označit za „key opinion leaders“ v oblasti CTO PCI. Zdůrazňují organizační, technické a bezpečnostní aspekty komplexní procedury, při jejichž dodržování je možné si techniky CTO PCI osvojit a zasadit je do provozu katetrizace sálu coby účinnou a bezpečnou metodu léčby pacientů se specifickým typem koronárního postižení.

Je skvělé revaskularizovat pacienty, u kterých to umíme, ale ještě lepší umět revaskularizovat ty, kteří to potřebují.

LITERATURA

- Fefer P, Knudtson ML, Cheema AN, et al. Current perspectives on coronary chronic total occlusions: the Canadian Multicenter Chronic Total Occlusions Registry. *J Am Coll Cardiol.* 2012; 59(11): 991–997.
- Ivanhoe RJ, Weintraub WS, Douglas JS Jr, et al. Percutaneous transluminal coronary angioplasty of chronic total occlusions. Primary success, restenosis, and long-term clinical follow-up. *Circulation* 1992; 85(1): 106–115.
- Suero JA, Marso SP, Jones PG, et al. Procedural Outcomes and Long-Term Survival Among Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention of a Chronic Total Occlusion in Native Coronary Arteries: A 20-Year Experience. *J Am Coll Cardiol.* 2001; 38(2): 409–414.
- Brilakis ES, Mashayekhi K, Tsuchikane E, et al. Guiding Principles for Chronic Total Occlusion Percutaneous Coronary Intervention. *Circulation* 2019; 140(5): 420–433.
- Werner GS, Martin-Yuste V, Hildick-Smith D, et al.; EURO-CTO trial investigators. A randomized multicentre trial to compare revascularization with optimal medical therapy for the treatment of chronic total coronary occlusions. *Eur Heart J.* 2018; 39: 2484–2493.
- Obedinskiy AA, Kretov EI, Boukhris M, et al. The IMPACTOR-CTO Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018; 11: 1309–1311.
- Sapontis J, Salisbury AC, Yeh RW, et al. Early procedural and health status outcomes after chronic total occlusion angioplasty: a report from the OPEN-CTO Registry (Outcomes, Patient Health Status, and Efficiency in Chronic Total Occlusion Hybrid Procedures). *JACC Cardiovasc Interv.* 2017; 10: 1523–1534.
- Christakopoulos GE, Christopoulos G, Carlino M, et al. Meta-analysis of clinical outcomes of patients who underwent percutaneous coronary interventions for chronic total occlusions. *Am J Cardiol.* 2015; 115: 1367–1375.
- Joyal D, Afilalo J, Rinfret S. Effectiveness of recanalization of chronic total occlusions: a systematic review and meta-analysis. *Am Heart J.* 2010; 160: 179–187.
- Ybarra LF, Dautov R, Gibrat C, Dandona S, Rinfret S. Mid-term angina-related quality of life benefits after percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions. *Can J Cardiol.* 2017; 33: 1668–1674.
- Lee SW, Lee PH, Ahn JM, et al. Randomized trial evaluating percutaneous coronary intervention for the treatment of chronic total occlusion: the DECISION-CTO Trial. *Circulation* 2019; 139: 1674–1683.
- Mashayekhi K, Neuser H, Kraus A, et al. Successful percutaneous coronary intervention improves cardiopulmo-

- nary exercise capacity in patients with chronic total occlusions. *J Am Coll Cardiol.* 2017; 69: 1095–1096.
- Bruckel JT, Jaffer FA, O'Brien C, et al. Angina severity, depression, and response to percutaneous revascularization in patients with chronic total occlusion of coronary arteries. *J Invasive Cardiol.* 2016; 28: 44–51.
- Werner GS, Ferrari M, Heinke S, et al. Angiographic assessment of collateral connections in comparison with invasively determined collateral function in chronic coronary occlusions. *Circulation* 2003; 107: 1972–1977.
- Sachdeva R, Agrawal M, Flynn SE, Werner GS, Uretsky BF. The myocardium supplied by a chronic total occlusion is a persistently ischemic zone. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2014; 83: 9–16.
- Galassi AR, Boukhris M, Toma A, et al. Percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions in patients with low left ventricular ejection fraction. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017; 10: 2158–2170.
- Megaly M, Saad M, Tajti P, et al. Meta-analysis of the impact of successful chronic total occlusion percutaneous coronary intervention on left ventricular systolic function and reverse remodeling. *J Interv Cardiol.* 2018; 31: 562–571.
- Henriques JP, Hoebers LP, Råmunddal T, et al.; EXPLORE Trial Investigators. Percutaneous intervention for concurrent chronic total occlusions in patients with STEMI: the EXPLORE Trial. *J Am Coll Cardiol.* 2016; 68: 1622–1632.
- Mashayekhi K, Nührenberg TG, Toma A, et al. A randomized trial to assess regional left ventricular function after stent implantation in chronic total occlusion: the REVASC Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018; 11: 1982–1991.
- Nombela-Franco L, Mitroi CD, Fernández-Lozano I, et al. Ventricular arrhythmias among implantable cardioverter-defibrillator recipients for primary prevention: impact of chronic total coronary occlusion (VACTO Primary Study). *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2012; 5: 147–154.
- Nombela-Franco L, Iannaccone M, Anguera I, et al. Impact of chronic total coronary occlusion on recurrence of ventricular arrhythmias in ischemic secondary prevention implantable cardioverter-defibrillator recipients (VACTO Secondary Study): insights from coronary angiogram and electrogram analysis. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017; 10: 879–888.
- Di Marco A, Paglino G, Oloriz T, et al. Impact of a chronic total occlusion in an infarct-related artery on the long-term outcome of ventricular tachycardia ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2015; 26: 532–539.
- O'Connor SA, Garot P, Sanguineti F, et al. Meta-analysis of the impact on mortality of noninfarct-related artery co-

- ronary chronic total occlusion in patients presenting with ST-segment elevation myocardial infarction. *Am J Cardiol.* 2015; 116: 8–14.
- George S, Cockburn J, Clayton TC, et al.; British Cardiovascular Intervention Society; National Institute for Cardiovascular Outcomes Research. Long-term follow-up of elective chronic total coronary occlusion angioplasty: analysis from the U.K. Central Cardiac Audit Database. *J Am Coll Cardiol.* 2014; 64: 235–243.
- Tomasello SD, Boukhris M, Giubilato S, et al. Management strategies in patients affected by chronic total occlusions: results from the Italian Registry of Chronic Total Occlusions. *Eur Heart J.* 2015; 36: 3189–3198.
- Yang JH, Kim BS, Jang WJ, et al. Optimal medical therapy vs. percutaneous coronary intervention for patients with coronary chronic total occlusion – a propensity-matched analysis. *Circ J.* 2016; 80: 211–217.
- Garcia S, Sandoval Y, Roukoz H, et al. Outcomes after complete versus incomplete revascularization of patients with multivessel coronary artery disease: a meta-analysis of 89,883 patients enrolled in randomized clinical trials and observational studies. *J Am Coll Cardiol.* 2013; 62: 1421–1431.
- Goel PK, Khanna R, Pandey CM, Ashfaq F. Long-term outcomes post chronic total occlusion intervention-implications of completeness of revascularization. *J Interv Cardiol.* 2018; 31: 293–301.
- Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al.; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J.* 2019; 40: 87–165.
- Azzalini L, Agostoni P, Benincasa S, et al. Retrograde chronic total occlusion percutaneous coronary intervention through ipsilateral collateral channels: a multicenter registry. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017; 10: 1489–1497.
- Brilakis ES, Grantham JA, Rinfret S, et al. A percutaneous treatment algorithm for crossing coronary chronic total occlusions. *JACC Cardiovasc Interv.* 2012; 5: 367–379.
- Brilakis ES. Manual of Coronary Chronic Total Occlusion Interventions. A Step-By-Step Approach. 2nd ed. London, United Kingdom: Elsevier; 2017.
- Azzalini L, Carlino M, Brilakis ES, et al. Subadventitial techniques for chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: the concept of „vessel architecture“. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2018; 91: 725–734.
- Galassi AR, Tomasello SD, Crea F, et al. Transient impairment of vasomotion function after successful chronic total occlusion recanalization. *J Am Coll Cardiol.* 2012; 59: 711–718.

35. McEntegart MB, Badar AA, Ahmad FA, et al. The collateral circulation of coronary chronic total occlusions. *EuroIntervention*. 2016; 11: e1596–e1603.
36. Huang CC, Lee CK, Meng SW, et al. Collateral channel size and tortuosity predict retrograde percutaneous coronary intervention success for chronic total occlusion. *Circ Cardiovasc Interv*. 2018; 11: e005124.
37. Dautov R, Urena M, Nguyen CM, Gibrat C, Rinfret S. Safety and effectiveness of the surfing technique to cross septal collateral channels during retrograde chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *EuroIntervention*. 2017; 12: e1859–e1867.
38. Tajti P, Karatasakis A, Karpaliotis D, et al. Retrograde CTO-PCI of native coronary arteries via left internal mammary artery grafts: insights from a multicenter U.S. registry. *J Invasive Cardiol*. 2018; 30: 89–96.
39. Rathore S, Katoh O, Matsuo H, et al. Retrograde percutaneous recanalization of chronic total occlusion of the coronary arteries: procedural outcomes and predictors of success in contemporary practice. *Circ Cardiovasc Interv*. 2009; 2: 124–132.
40. Benincasa S, Azzalini L, Carlino M, et al. Outcomes of the retrograde approach through epicardial versus non-epicardial collaterals in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *Cardiovasc Revasc Med*. 2017; 18: 393–398.
41. Morino Y, Abe M, Morimoto T, et al. J-CTO Registry Investigators. Predicting successful guidewire crossing through chronic total occlusion of native coronary lesions within 30 minutes: the J-CTO (Multicenter CTO Registry in Japan) score as a difficulty grading and time assessment tool. *JACC Cardiovasc Interv*. 2011; 4: 213–221.
42. Tanaka H, Morino Y, Abe M, et al. Impact of J-CTO score on procedural outcome and target lesion revascularization after percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion: a substudy of the J-CTO Registry (Multicenter CTO Registry in Japan). *EuroIntervention*. 2016; 11: 981–988.
43. Christopoulos G, Kandzari DE, Yeh RW, et al. Development and validation of a novel scoring system for predicting technical success of chronic total occlusion percutaneous coronary interventions: the PROGRESS CTO (Prospective Global Registry for the Study of Chronic Total Occlusion Intervention) Score. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016; 9: 1–9.
44. Maeremans J, Spratt JC, Knaapen P, et al. Towards a contemporary, comprehensive scoring system for determining technical outcomes of hybrid percutaneous chronic total occlusion treatment: the RECHARGE score. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018; 91: 192–202.
45. Alessandrino G, Chevalier B, Lefèvre T, et al. A clinical and angiographic scoring system to predict the probability of successful first-attempt percutaneous coronary intervention in patients with total chronic coronary occlusion. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015; 8: 1540–1548.
46. Galassi AR, Boukhris M, Azzarelli S, et al. Percutaneous coronary revascularization for chronic total occlusions: a novel predictive score of technical failure using advanced technologies. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016; 9: 911–922.
47. Ellis SG, Burke MN, Murad MB, et al.; CAPS Group. Predictors of successful hybrid-approach chronic total coronary artery occlusion stenting: an improved model with novel correlates. *JACC Cardiovasc Interv*. 2017; 10: 1089–1098.
48. Khanna R, Pandey CM, Bedi S, Ashfaq F, Goel PK. A weighted angiographic scoring model (W-CTO score) to predict success of antegrade wire crossing in chronic total occlusion: analysis from a single centre. *Asialntervention*. 2018; 4: 18–25.
49. Szijgyarto Z, Rampat R, Werner GS, et al. Derivation and validation of a chronic total coronary occlusion intervention procedural success score from the 20,000-patient EuroCTO Registry: the EuroCTO (CASTLE) Score. *JACC Cardiovasc Interv*. 2019; 12: 335–342.
50. Opolski MP, Achenbach S, Schubbäck A, et al. Coronary computed tomographic prediction rule for time-efficient guidewire crossing through chronic total occlusion: insights from the CT-RECTOR multicenter registry (Computed Tomography Registry of Chronic Total Occlusion Revascularization). *JACC Cardiovasc Interv*. 2015; 8: 257–267.
51. Danek BA, Karatasakis A, Karpaliotis D, et al. Development and validation of a scoring system for predicting periprocedural complications during percutaneous coronary interventions of chronic total occlusions: the Prospective Global Registry for the Study of Chronic Total Occlusion Intervention (PROGRESS CTO) Complications Score. *J Am Heart Assoc*. 2016; 5: e004272.
52. Azzalini L, Uretsky B, Brilakis ES, Colombo A, Carlino M. Contrast modulation in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2019; 93: E24–E29.
53. Tajti P, Karpaliotis D, Alaswad K, et al. The hybrid approach to chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: update from the PROGRESS CTO Registry. *JACC Cardiovasc Interv*. 2018; 11: 1325–1335.
54. Maeremans J, Walsh S, Knaapen P, et al. The hybrid algorithm for treating chronic total occlusions in Europe: the RECHARGE Registry. *J Am Coll Cardiol*. 2016; 68: 1958–1970.
55. Wilson WM, Walsh SJ, Yan AT, et al. Hybrid approach improves success of chronic total occlusion angioplasty. *Heart*. 2016; 102: 1486–1493.
56. Colombo A, Mikhail GW, Michev I, et al. Treating chronic total occlusions using subintimal tracking and reentry: the STAR technique. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2005; 64: 407–411.
57. Valenti R, Vergara R, Migliorini A, et al. Predictors of reocclusion after successful drug-eluting stent-supported percutaneous coronary intervention of chronic total occlusion. *J Am Coll Cardiol*. 2013; 61: 545–550.
58. Godino C, Latib A, Economou FI, et al. Coronary chronic total occlusions: mid-term comparison of clinical outcome following the use of the guided-STAR technique and conventional antegrade approaches. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012; 79: 20–27.
59. Hirai T, Grantham JA, Sapontis J, et al. OPEN CTO Study Group. Impact of subintimal plaque modification procedures on health status after unsuccessful chronic total occlusion angioplasty. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018; 91: 1035–1042.
60. Wilson WM, Bagnall AJ, Spratt JC. In case of procedure failure: facilitating future success. *Interv Cardiol*. 2013; 5: 521–531.
61. Golecki PJ, Nakamura K, Liebeskind E, et al. Revascularization of coronary chronic total occlusions with subintimal tracking and reentry followed by deferred stenting: experience from a high-volume referral center. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2019; 93: 191–198.
62. Whitlow PL, Burke MN, Lombardi WL, et al. FAST-CTOs Trial Investigators. Use of a novel crossing and re-entry system in coronary chronic total occlusions that have failed standard crossing techniques: results of the FAST-CTOs (Facilitated Antegrade Steering Technique in Chronic Total Occlusions) trial. *JACC Cardiovasc Interv*. 2012; 5: 393–401.
63. Karacsonyi J, Tajti P, Rangan BV, et al. Randomized comparison of a crossboss first versus standard wire escalation strategy for crossing coronary chronic total occlusions: the CrossBoss First Trial. *JACC Cardiovasc Interv*. 2018; 11: 225–233.
64. Galassi AR, Boukhris M, Tomasello SD, et al. Long-term clinical and angiographic outcomes of the mini-STAR technique as a bailout strategy for percutaneous coronary intervention of chronic total occlusion. *Can J Cardiol*. 2014; 30: 1400–1406.
65. Karatasakis A, Danek BA, Karacsonyi J, et al. Mid-term outcomes of chronic total occlusion percutaneous coronary intervention with subadventitial vs. intraplaque crossing: a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol*. 2018; 253: 29–34.
66. Wilson WM, Walsh SJ, Bagnall A, et al. One-year outcomes after successful chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: the impact of dissection re-entry techniques. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2017; 90: 703–712.
67. Maeremans J, Dens J, Spratt JC, et al. RECHARGE Investigators. Antegrade dissection and reentry as part of the hybrid chronic total occlusion revascularization strategy: a subanalysis of the RECHARGE Registry (Registry of CrossBoss and Hybrid Procedures in France, the Netherlands, Belgium and United Kingdom). *Circ Cardiovasc Interv*. 2017; 10: e004791.
68. Azzalini L, Dautov R, Brilakis ES, et al. Procedural and longer-term outcomes of wire – versus device-based antegrade dissection and re-entry techniques for the percutaneous revascularization of coronary chronic total occlusions. *Int J Cardiol*. 2017; 231: 78–83.
69. Danek BA, Karatasakis A, Karpaliotis D, et al. Use of antegrade dissection re-entry in coronary chronic total occlusion percutaneous coronary intervention in a contemporary multicenter registry. *Int J Cardiol*. 2016; 214: 428–437.
70. Joyal D, Thompson CA, Grantham JA, Buller CE, Rinfret S. The retrograde technique for recanalization of chronic total occlusions: a step-by-step approach. *JACC Cardiovasc Interv*. 2012; 5: 1–11.
71. Wu EB, Tsuchikane E, Lo S, et al. Retrograde algorithm for chronic total occlusion from the Asia Pacific Chronic Total Occlusion Club. *Asialntervention*. 2018; 4: 98–107.
72. 35. Harding SA, Wu EB, Lo S, et al. A new algorithm for crossing chronic total occlusions from the Asia Pacific Chronic Total Occlusion Club. *JACC Cardiovasc Interv*. 2017; 10: 2135–2143.
73. Galassi AR, Werner GS, Boukhris M, et al. Percutaneous recanalization of chronic total occlusions: 2019 consensus document from the EuroCTO Club. *EuroIntervention*. 2019; 15: 198–208.
74. Galassi AR, Sianos G, Werner GS, et al. Euro CTO Club. Retrograde recanalization of chronic total occlusions in Europe: procedural, in-hospital, and long-term outcomes from the Multicenter ERCOT Registry. *J Am Coll Cardiol*. 2015; 65: 2388–2400.
75. Galassi AR, Sumitsui S, Boukhris M, et al. Utility of intravascular ultrasound in percutaneous revascularization of chronic total occlusions: an overview. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016; 9: 1979–1991.
76. Vo MN, Karpaliotis D, Brilakis ES. „Move the cap“ technique for ambiguous or impenetrable proximal cap of coronary total occlusion. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2016; 87: 742–748.
77. Karpaliotis D, Lembo N, Kalynych A, et al. Development of a high-volume, multiple-operator program for percutaneous chronic total coronary occlusion revascularization: procedural, clinical, and cost-utilization outcomes. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013; 82: 1–8.
78. Brilakis ES, Banerjee S, Karpaliotis D, et al. Procedural outcomes of chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: a report from the NCDR (National Cardiovascular Data Registry). *JACC Cardiovasc Interv*. 2015; 8: 245–253.
79. Kinnaird T, Gallagher S, Cockburn J, et al.; British Cardiovascular Intervention Society and the National Institute for Cardiovascular Outcomes Research. Procedural success and outcomes with increasing use of enabling strategies for chronic total occlusion intervention. *Circ Cardiovasc Interv*. 2018; 11: e006436.
80. Habara M, Tsuchikane E, Muramatsu T, et al.; Retrograde Summit Investigators. Comparison of percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion outcome according to operator experience from the Japanese retrograde summit registry. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2016; 87: 1027–1035.
81. Konstantinidis NV, Werner GS, Deftereos S, et al.; Euro CTO Club. Temporal trends in chronic total occlusion interventions in Europe. *Circ Cardiovasc Interv*. 2018; 11: e006229.
82. Wu EB, Tsuchikane E. The inherent catastrophic traps in retrograde CTO PCI. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018; 91: 1101–1109.
83. Okamura A, Yamane M, Muto M, et al. Complications during retrograde approach for chronic coronary total occlusion: sub-analysis of Japanese multicenter registry. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2016; 88: 7–14.
84. Kotsia AP, Brilakis ES, Karpaliotis D. Thrombin injection for sealing epicardial collateral perforation during chronic total occlusion percutaneous coronary interventions. *J Invasive Cardiol*. 2014; 26: E124–E126.

85. Karatasakis A, Akhtar YN, Brilakis ES. Distal coronary perforation in patients with prior coronary artery bypass graft surgery: the importance of early treatment. *Cardiovasc Revasc Med.* 2016; 17: 412–417.
86. Kim BK, Shin DH, Hong MK, et al.; CTO-IVUS Study Investigators. Clinical impact of intravascular ultrasound-guided chronic total occlusion intervention with zotarolimus-eluting versus biolimus-eluting stent implantation: randomized study. *Circ Cardiovasc Interv.* 2015; 8: e002592.
87. Tian NL, Gami SK, Ye F, et al. Angiographic and clinical comparisons of intravascular ultrasound – versus angiography-guided drug-eluting stent implantation for patients with chronic total occlusion lesions: two-year results from a randomised AIR-CTO study. *EuroIntervention.* 2015; 10: 1409–1417.
88. Karacsonyi J, Alaswad K, Jaffer FA, et al. Use of intravascular imaging during chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: insights from a contemporary multicenter registry. *J Am Heart Assoc.* 2016; 5: e003890.
89. Zhang J, Gao X, Kan J, et al. Intravascular ultrasound-guided versus angiography-guided implantation of drug-eluting stent in all-comers: the ULTIMATE trial. *J Am Coll Cardiol.* 2018; 72: 3126–3137.
90. Zivelonghi C, Suttorp MJ, Teeuwen K, et al. Clinical implications of distal vessel stenosis after successful coronary chronic total occlusion recanalization. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018; 11: 2343–2345.