Současné možnosti katetrizační ablace komorových tachykardií u strukturálních onemocnění srdce

Petr Peichl, Josef Kautzner

Klinika kardiologie, Institut klinické a experimentální medicíny, Praha

Podobně jako u jiných poruch srdečního rytmu se strategie katetrizační ablace komorových tachykardií (KT) u nemocných se strukturálním postižením srdce postupně vyvíjejí. V současné době je dominantní léčebnou strategií substrátová ablace, která vede k lepším výsledkům než konvenční mapování aktivační sekvence při KT. Rozvoj zobrazovacích metod umožnil přesnější charakteristiku arytmogenního substrátu a byla vyvinuta řada nových ablačních metod, které umožňují účinně ovlivnit substrát i v dříve nedosažitelných místech. Přesto představují tito pacienti vzhledem ke komplexnímu arytmogennímu substrátu, který je často uložen intramurálně či epikardiálně, pro elektrofyziology výzvu. Pro nemocné s arytmií může přitom úspěšná ablace představovat život zachraňující výkon. Cílem tohoto přehledu je přiblížit současné možnosti katetrizační léčby KT u strukturálního onemocnění srdce.

Klíčová slova: komorová tachykardie, fibrilace komor, katetrizační ablace.

Catheter ablation of ventricular tachycardia in structural heart disease: current perspectives

As in other arrhythmias, the strategies for ablation of ventricular tachycardias (VTs) in patients with structural heart disease are evolving. The current dominant strategy is substrate ablation, because it is associated with better outcomes than conventional approach and activation mapping during VT. The progress in imaging has enabled a more detailed characterization of the arrhythmogenic substrate in these patients. Likewise, novel techniques of ablation have been proposed that allow modification of the substrate in previously inaccessible sites. Despite the improvements, treatment of these patients still represents a challenge. For patients with an arrhythmic storm, successful ablation may be a life-saving procedure. Our aim is to review the current perspectives of catheter ablation of VT in patients with structural heart disease.

Key words: ventricular tachycardia, ventricular fibrillation, catheter ablation.

Úvod

Selektivní katetrizační ablace srdečních arytmí byla zavedena do klinické praxe na konci 80. let minulého století. Díky vysoké úspěšnosti a nízkému riziku komplikací se postupně stala léčebnou metodou volby pro naprostou většinu supraventrikulárních tachykardií (včetně fibrilace síní) a idiopatických komorových tachykardií (KT). Naproti tomu KT při strukturálním onemocnění srdce představují stále pro elektrofyziology výzvu. Vzhledem

ke komplexnosti arytmogenního substrátu a různě pokročilému základnímu onemocnění nelze u většiny případů předpokládat vyřešení problému, jako je tomu u idiopatických forem KT. Katetrizační ablace proto slouží především k potlačení klinické arytmiie a může omezit manifestaci dalších morfologií KT, které by jinak mohly z arytmogenního substrátu vzniknout. Ablace se indikuje především při incesantní KT nebo při opakovaném výskytu KT, zejména pokud vedou k intervencím kardioverte-

ru-defibrilátoru (ICD)(1). Další jasnou indikací je elektrická bouře, kde úspěšná ablace může představovat život zachraňující výkon. Na druhé straně existují údaje i o tom, že katetrizační ablace lze indikovat preventivně v době implantace ICD k omezení výskytu arytmí a snížení počtu hospitalizací. Klinická data o této indikaci však nejsou zcela jednoznačná (studie V-TACH, SMS, SMASH VT). V posledním desetiletí došlo k rozvoji zobrazovacích a mapovacích metod, ablačních strategií a alternativních technik ab-

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

doc. MUDr. Petr Peichl, Ph.D., petr.peichl@ikem.cz

Klinika kardiologie IKEM, Vídeňská 1 958/9, 140 21 Praha 4

Cit. zkr: Interv Akut Kardiol 2018; 17(2): 85–91

Obr. 1. Příklad mapování arytmogenního substrátu po infarktu myokardu. V horní části obrázku je zobrazena elektroanatomická endokardiální mapa levé komory v předozadní projekci. Lokální voltáž je barevně kódována (červená/šedá barva – jizva; fialová barva – zdravá tkáň). Obrázek ukazuje velké aneuryzma přední stěny, které bylo zdrojem čtyř morfologií KT. Pomocí stimulačních manévřů (pacemapping) byly lokalizovány exity pro všechny tyto arytmie. Pomocí aplikace radiofrekvenční energie byly vytvořeny krátké linie (tmavě červené body), které přetnuly kanály pomalého vedení a odstranily vyvolatelnost všech KT

MA – mitrální anulus

lace, které zlepšují účinnost i v případě dříve nedosažitelných arytmogenních substrátů. Cílem tohoto přehledu je přiblížit současné možnosti katetrizační léčby KT u strukturálního onemocnění srdce.

Principy provádění katetrizační ablace

Pro provádění katetrizační ablace je důležité rozlišit, jaký má arytmie mechanismus. U pacientů se strukturálním onemocněním srdce vznikají

arytmie nejčastěji na podkladě reentry (krouživý vzruch). Hlavním důvodem je přítomnost jizevnaté tkáně nebo fibrózy v myokardu, které vedou k výraznému zpomalení vedení vzruchu v některých oblastech komorové svaloviny. Tím vznikají příznivé podmínky pro vznik reentry. Vhodně načasovaná extrasystola může dále zpomalit šíření vzruchu v jizvě do té míry, že myokard v okolí je již mimo refrakterní fázi. Za těchto okolností může začít vzruch kroužit po různě velkém okruhu přes jizvu do normálního myokardu a zpět. Proto mají arytmie typu reentry náhlý začátek (případně i náhlé ukončení) a lze je ve většině případů vyvolat programovanou stimulací komor. Při mapování běžící arytmie (pokud ji pacient hemodynamicky toleruje) lze přesně popsat a lokalizovat celý kritický istmus (oblast největšího zpomalení šíření vzruchu) s oblastí vstupu vzruchu do jizvy, centrální zónu a oblast výstupu vzruchu do zdravé svaloviny. Takových oblastí může být například v jizvě po infarktu myokardu několik a každá může generovat specifickou KT, která může kroužit jedním nebo druhým směrem (obrázek 1). Princip katetrizační ablace spočívá v přerušení kritické části reentry okruhu pomocí série aplikací radiofrekvenční energie (nejčastěji vytvořením linie bloku mezi dvěma nevodivými bariérami).

Méně často vznikají u nemocných se strukturálním poškozením srdce arytmie fokálního původu. Častější bývají u pacientů s dilatační kardiomyopatií nebo po korekci vrozených srdečních vad. Taková KT vychází z jednoho místa, odkud se vzruch šíří centrálně do okolí. Elektrofyziologickým mechanismem fokální KT může být zvýšená automacie, spouštěná aktivita či mikroreentry. Proto mají tyto arytmie (s výjimkou mikroreentry) jiné klinické charakteristiky. Projevují se spíše jako nesetrválé, repetitivní KT nebo mají sklon k incesantnímu chování (běží setrvale s občasným krátkým přerušením). Jejich frekvence se může plynule měnit (zrychlovat nebo zpomalovat). Fokální zdroj lze tedy ve většině případů přímo mapovat a identifikovat jako oblast myokardu s nejčasnější aktivací (obrázek 2). Katetrizační ablace je poté cílena do jednoho místa.

Jiný patofyziologický podklad mají polymorfni KT nebo fibrilace komor, které nemají stabilní okruh šíření vzruchu, a proto byly dříve považovány za nevhodné k provádění katetrizační ablace. Tyto arytmie však bývají často

Obr. 2. Mapování a ablace KT u pacienta s neischemickou kardiomyopatií. (A) Elektroanatomická aktivační mapa obou srdečních komor u pacienta s incesantní pomalou KT. Průběh aktivační sekvence je označen podle barevného spektra, nejčasnější aktivace (červená barva) byla zjištěna v dolní části mezikomorového septa. (B) Ablace v tomto místě vedla k přerušení KT, která již dále nerecidivovala. Červeně je označen začátek aplikace radiofrekvenční energie

Obr. 3. Komorová ektopie spouštějící běh polymorfní KT u pacienta po infarktu myokardu. Ektopické stahy vycházejí z přežívajících Purkyňových vláken na okraji infarktového ložiska. Katetrizační ablace komorové ektopie účinně zabránila recidívám polymorfní KT/fibrilace komor

spouštěny z jednoho ektopického ložiska a katetrizační ablace tohoto fokálního zdroje může odstranit i běhy polymorfních KT nebo fibrilace komor. To bylo nejprve popsáno u pacientů s idiopatickou polymorfní KT a fibrilací komor (2). Zdroj spouštěcí ektopie byl lokalizován ve většině případů do oblasti převodního systému levé nebo pravé komory srdeční. Charakteristickým rysem je krátký vazebný interval komorových ektopických stahů (R na T) a relativně úzký komplex QRS (obrázek 3). Později byla dokumentována možnost odstranění podobného fokálního spouštěcího zdroje i u nemocných se syndromem dlouhého intervalu QT nebo s Brugadaovým syndromem a v časných fázích po infarktu myokardu (3). V posledním případě se polymorfní KT vyskytují v odstupu dnů až

týdnu od rozsáhlého, obvykle anteroseptálního infarktu myokardu. Zdrojem ektopie bývá abnormální aktivita buněk převodního systému (Purkyňových vláken), které mohou přežívat v oblasti hojící se nekrózy myokardu. Tito nemocní mívají někdy i desítky epizod fibrilace komor za den a katetrizační ablace je pro tyto pacienty výkonem zachraňujícím život.

Substrátové mapování a strategie ablace

Strategie katetrizační ablace KT u strukturálního onemocnění srdce doznala za poslední dvě dekady revolučních změn. Umožnilo je několik objevů. V první řadě to byla možnost přesného zobrazení rozsahu jizevnaté tkáně pomocí magnetické rezonance s použitím gadolinia. Ve stejné době byl

uveden do klinické praxe první elektroanatomický mapovací systém, který dovolil trojrozměrnou rekonstrukci mapované dutiny (např. levé nebo pravé komory) spolu s barevným zobrazením bipolární voltáže. Tyto znalosti byly využity při prvním klinickém zobrazení substrátu komorových arytmií a k jeho pragmatické modifikaci pomocí série lézí v okrajové zóně jizvy (4). Postupně došlo ke značnému rozvoji substrátového mapování při sinusovém rytmu. To v dnešní době prakticky nahrazuje mapování aktivační sekvence při běžící KT a mapování pomocí entrainmentu. Entrainment je mapovací technika, při které se stimuluje z mapovacího katétru o kratší délce cyklu, než je délka cyklu KT. Tento manévr slouží k ověření, zda je mapovací katétr v místě, které je součástí reentry okruhu. Hlavní limitací konvenčního postupu je skutečnost, že většina KT není hemodynamicky tolerována a nelze je tedy mapovat po řadu minut. Kromě toho vede často stimulace při KT ke změně morfologie arytmiie nebo k jejímu ukončení.

Substrátové mapování poskytuje řadu možností. Nejjednodušší je zhotovení bipolární mapy při sinusovém rytmu nebo stimulaci z pravé komory, kdy se barevně zobrazí oblasti s nízkou voltáží (obvykle pod 1,5 mV). Ty odpovídají transmuralní nebo téměř transmuralní jizvě. Snížením prahu pro detekci voltáže je možné zobrazit kanály s mírně vyšší voltáží v oblasti jizvy (5). Dále je možno detekovat oblasti pozdních potenciálů (6) nebo obecněji abnormálních frakcionovaných potenciálů (7). Stimulací z jednotlivých oblastí nízké voltáže lze lokalizovat místa s pomalým vedením vzruchu, a tak identifikovat kanály pomalého vedení. Z nich dochází preferenčně k šíření vzruchu do určité oblasti myokardu a pak se porovnává morfologie stimulovaného komplexu QRS s příslušnou KT (tzv. pacemapping). Takto lze

Obr. 4. Obraz intrakardiální echokardiografie u nemocného s transmuralní jizvou v bazálním inferolaterálním segmentu levé komory. Na ultrazvuku je patrné ztenčení tkáně a vyšší echogenita

Obr. 5. Přístup do epikardu technikou suché perikardiální punkce. Pomocí malého množství kontrastu se označí parietální perikard (vlevo); vodič v perikardiální dutině (vpravo)

rekonstruovat kritické části okruhů reentry i při sinusovém rytmu. Zóny zpomaleného vedení vzruchu mají následující charakteristiky: bývají při okraji jizvy, lze v nich nalézt při sinusovém rytmu pozdní, fragmentované potenciály a při stimulaci v těchto místech přesahuje interval od stimulačního artefaktu do začátku komplexu QRS 40 ms. Pokud u pacienta vznikne příslušná KT, která je tolerovaná, lze pomocí entrainmentu ověřit, že okruh identifikovaný při sinusovém rytmu odpovídá okruhu reentry.

Při ablací je cílem eliminace všech abnormálních potenciálů nebo LAVA, což je spojeno se snížením rizika rekurence KT po ablací (6, 8). Nejpragmatičtější technika spočívá v pokrytí ablačními lézemi všech nízkovoltážových oblastí, a tím v dosažení maximální homogenizace arytmogenního substrátu. V nedávno publikované studii VISTA (9) byli pacienti randomizováni buď k limitované ablací v kanálech pomalého vedení pro indukovatelné KT nebo k extenzivní ablací pokrývající celý arytmogenní substrát. Druhý přístup byl účinnější a vedl ke snížení rizika recidivy KT rehospitalizace. Další možností, která kombinuje substrátové mapování s mapováním při běžící KT, je použití mechanické srdeční podpory k udržení systémového tlaku při KT (10). Tato strategie však výrazně zvyšuje komplexnost výkonu a vede ke zvýšení rizika komplikací. Zatím také není jasné, zda také zvyšuje úspěšnost katetrizační ablace (11, 12).

Charakteristika arytmogenního substrátu pomocí zobrazovacích metod

V posledním desetiletí došlo také k pokroku v oblasti zobrazovacích metod. Ty umožnily lepší

charakteristiku arytmogenního substrátu, který může být u nemocných se strukturálním postižením srdce velmi variabilní. Některé skupiny zdůrazňují přínos integrace elektroanatomických map s 3D obrazy z magnetické rezonance (MRI) získané s použitím gadolinia (13, 14, 15). To umožní zobrazení hlavních kanálů pomalého vedení uvnitř jizvy a přesné cílení ablace do těchto míst. Zobrazení rozsahu a umístění jizevnaté tkáně na obrazech z MR může také pomoci identifikovat pacienty, u kterých je substrát uložen intramyokardiálně či na povrchu srdce a k účinnému ovlivnění substrátu je třeba epikardiální přístup. Místo MRI používají některá centra obrazy z CT angiografie – cílová místa jizvy jsou charakterizována ztenčením a hyperintenzitou signálu (16, 17). K zobrazení jizvy v myokardu lze také použít intrakardiální echokardiografii (18). Naše zkušenosti ukazují, že ultrazvuk (obrázek 4) také často dovoluje identifikovat uložení jizvy (epikardiálně, midmyokardiálně nebo endokardiálně). Kromě toho má velký přínos k identifikaci starého trombu v aneuryzmatu levé komory (19) a u nemocných po korekci vrozené srdeční vady (20).

Výsledky katetrizační ablace u pacientů se strukturálním srdečním onemocněním

I přes pokrok v zobrazovacích metodách, mapování a možnostech ablace nedosahuje úspěšnost ve skupině nemocných se strukturálním postižením srdce podobných výsledků jako u jiných arytmií. Většina publikací hodnotící účinnost katetrizační ablace KT popisují zkušenosti z jednotlivých center, a proto udávaná úspěšnost kolísá podle studované populace ne-

mocných, strategie mapování a ablace. V roce 2008 byly publikovány výsledky multicentrické studie (Multicenter Thermocool Ventricular Tachycardia Ablation Trial) (21). Studie zahrnuje 231 pacientů s poinfarktovou dysfunkcí levé komory a recidivující KT. Katetrizační ablace odstranila alespoň jednu morfologii KT v 81 % a všechny indukovatelné KT u 49 % pacientů. Ačkoliv 51 % nemocných měla recidivu KT během šestiměsíčního sledování, celková zátěž arytmiemi významně poklesla (medián počtu epizod KT poklesl z 11 na 0). Teprve nedávno byly publikovány dlouhodobé výsledky této studie (22) a ty potvrdily, že efekt ablace (pokles výbojů ICD, hospitalizací a nutnosti použít amiodaron) přetrvává i v dlouhodobém sledování.

Tři randomizované studie (SMASH VT (23), V-TACH (24), SMS (25)) se zabývaly možnou rolí profylaktické ablace KT u pacientů podstupujících implantaci ICD. V první studii katetrizační ablace vedla ke snížení výskytu terapií ICD (33 % vs 12 %, $p=0,007$). Obdobně ve studii V-TACH vedla profylaktická katetrizační ablace během dvouletého sledování k nižšímu riziku recidivy KT (53 % vs. 71 %, $p<0,05$). Třetí studie selhala v průkazu snížení doby do první recidivy KT. Ukázala však, že nemocní po ablací KT mají nižší počet intervencí ICD. V současné době probíhají další studie (např. PARTITA, BERLIN VT), které by měly přinést další údaje o významu profylaktické ablace substrátu KT.

U nemocných s elektrickou bouří představuje katetrizační ablace život zachraňující výkon. Důkazy pro toto jsou především z observačních studií (26, 27). Je to dáno mimo jiné faktem, že takové nemocné je obtížné randomizovat ke konzervativnímu postupu. Z dostupných dat jednoznačně vyplývá, že u nemocných, u kterých dochází k recidivě KT navzdory ablací, je výrazně zvýšena mortalita (26, 27). Například ve studii Tunga et al. (28) autoři provedli analýzu 2061 pacientů se strukturálním onemocněním srdce, kteří byli referováni ke katetrizační ablací ve 12 centrech. Bez recidiv KT během jednorocního sledování bylo 70 % (72 % u ischemické a 68 % u neischemické kardiomyopatie). Mortalita byla významně nižší u nemocných bez recidiv KT než v opačném případě (90 % vs. 71 %, $p<0,001$). V multivariátní analýze představovala recidiva KT po ablací největší riziko mortality či nutnosti transplantace (hazard ratio (HR): 6,9, $P<0,001$).

Obr. 6. Rtg snímky v předozadní (AP) a levé šikmé projekci (LAO) zobrazující bipolární ablací u pacienta s arytmogenním substrátem umístěným v hloubce mezikomorového septa. Jeden z ablačních katétrů je zaveden přes žilní řečiště do pravé komory, druhý retrográdně do levé komory. Vpravo je záznam z obou ablačních katétrů ukazující časný signál při běžící tachykardii. Zkratky: LV – signály z levé části septa, RV – signál z pravé části septa

Obr. 7. Ukázka alkoholové ablace u nemocné s četnou komorovou ektopií ze summitu (vrchlíku) levé komory, která nebyla dosažitelná radiofrekvenční ablací. (A) morfologie komorové ektopie; (B) angiogram distální části koronárního sinu s vodičem v jedné z drobných větví (šipka); (C) aplikace 2 ml alkoholu do této malé větve se zobrazila jako hyperechogenita u levé kapsičky aortální chlopně (obraz z intrakardiální echokardiografie). Aplikace alkoholu vedla k vymizení komorové ektopie

Metaanalýza studií o významu katetrizační ablace u elektrické bouře ukázala, že katetrizační ablace je velice účinná metoda, která vede k potlačení bouře a k omezení rekurencí KT (29). Hlavní příčinou mortality v dlouhodobém průběhu je srdeční selhání, nikoliv náhlé úmrtí. Naše retrospektivní analýza dopadu katetrizační ablace KT na prognózu nemocných ukázala, že pacienti s elektrickou bouří mají vyšší riziko mortality oproti nemocným, kteří podstoupili ablací elektivně (30). Multivariační analýza identifikovala pět faktorů spojených s horší prognózou – věk nad 70 let, NYHA třída 3 a více, hodnota kreatininu $>1,3$ mg/dl, hodnota ejekční frakce levé komory $\leq 25\%$ a léčba pomocí amiodaronu. U pacientů bez těchto rizikových faktorů bylo

přežití nemocných po ablací výborné (nad 90%), přítomnost více jak dvou faktorů snížila přežití v průběhu pěti let pod 40%. Časná ablace KT u nemocných s jedním nebo žádným rizikovým faktorem znamenala oproti ablací při elektrické bouři výrazné zlepšení prognózy. U pacientů s více rizikovými faktory je přežití určováno věkem a závažností základního onemocnění a nebyl shledán rozdíl mezi elektivní ablací nebo ablací při elektrické bouři.

Epikardiální mapování a ablace

Optimálním cílem katetrizační ablace je kromě potlačení klinické KT také odstranění všech indukovatelných KT (dosažení negativní programované stimulace komor) a účinná modifikace

arytmogenního substrátu. U některých onemocnění (např. arytmogenní kardiomyopatie pravé komory, stp. perimyokarditidě) je díky jejich etiopatogenezi substrát umístěný především na povrchu srdce. V takovém případě bývá z endokardu nedosažitelný a ablace mají nízkou úspěšnost. Proto byl vyvinut přístup technikou suché perikardiální punkce (31). Tato metoda používá speciální epidurální jehly s tupým koncem (Tuohy) a subxyfoidální přístup do perikardiálního vaku i v případě chybění volné tekutiny v perikardu (obrázek 5). Po zavedení zavaděče do perikardiálního vaku lze mapovat celý povrch srdce a identifikovat jizvy i kanály pomalého vedení vzruchu (32). Někteří operatři doporučují použití tzv. anteriorního přístupu, při kterém se punkční jehla zavádí prakticky paralelně se zadním okrajem sternu tangenciálně podél přední stěny pravé komory. Při použití tohoto přístupu však může vzácně dojít k laceraci přední stěny. Na našem pracovišti proto používáme tzv. posteriorní přístup, při kterém jehla směřuje více do hloubky a do perikardiálního vaku vstupuje na diafragmatické části srdce.

Před epikardiální ablací je třeba zobrazit koronární tepny (pomocí selektivní koronarografie), které probíhají na povrchu srdce a hrozí riziko jejich poškození při aplikaci radiofrekvenční energie. Proto na některých používají při epikardiálním mapování integraci elektrofyziologických map s CT obrazy koronární angiografie. Obdobně lze zobrazit průběh bráničního nervu, a tím minimalizovat riziko jeho poškození. Komparativní analýza endo- a epikardiálních map ukázala, že epikardiální jizvu lze predikovat na základě unipolárních voltážových endokardiálních map (33, 34). Podezření na přítomnost epikardiálního substrátu lze také vyslovit na základě EKG obrazu arytmie (35), který bývá charakterizován pomalým nástupem depolarizace (tzv. pseudo-delta vlnou). Aritmogenní substrát na povrchu srdce lze někdy zobrazit i pomocí intrakardiální echokardiografie (36).

Nové metody ablace arytmogenního substrátu

V současné době je standardem použití ablačních katétrů s chlazeným koncem (katétrý „cool-tip“), které dovolují díky chlazení tkáně aplikaci většího množství radiofrekvenční energie a tím vytváření hlubších lézí. To původně umožnilo ovlivnit i arytmogenní substrát ulo-

žený ve větší hloubce srdeční svaloviny srdečních komory. Přesto však mohou být některé části myokardu nedosažitelné (např. v případě intramurálně uloženého substrátu). Proto se začaly rozvíjet alternativní metody destrukce arytmogenního substrátu. Příkladem může být použití tzv. bipolární katetrizační ablace, kde radiofrekvenční energie probíhá mezi dvěma elektrodami, například na pravé a levé straně mezikomorového septa (obrázek 6) či na protilehlé oblasti endokardu a epikardu. Pomocí této techniky lze vytvořit léze až 30 mm hluboké (37). Jinou možností je použití zvláštního katétru s malou zasunovací jehlou (needle tip catheter), která se v cílovém místě vysune do myokardu (38). Další alternativou je alkoholová ablace – instalace čistého alkoholu do drobné tepny zásobující cílovou oblast. V případě arytmií vycházející ze „summitu“ (vrcholíku) levé komory lze provést aplikaci alkoholu do drobné žilní větve koronárního sinu (39) (obrázek 7). Zcela odlišný je koncept tzv. neinvazivní ablace KT pomocí stereotakticky naváděného gama záření (40) obdobně jako u nádorových onemocnění. Pokud i tyto nové metody selžou, lze indikovat kardiokirurgické řešení a kryodestrukce arytmogenního substrátu (41).

LITERATURA

1. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J* 2015; 36: 2793–2867.
2. Haissaguerre M, Haissaguerre M, Shoda M, et al. Mapping and ablation of idiopathic ventricular fibrillation. *Circulation* 2002; 106: 962–967.
3. Peichl P, Čihák R, Kozeluhová M, Wichterle D, Vancura V, Kautzner J. Catheter ablation of arrhythmic storm triggered by monomorphic ectopic beats in patients with coronary artery disease. *J Inter Card Electrophysiol* 2010; 27: 51–59.
4. Marchlinski FE, Callans DJ, Gottlieb CD, Zado E. Linear ablation lesions for control of unmappable ventricular tachycardia in patients with ischemic and nonischemic cardiomyopathy. *Circulation* 2000; 101: 1288–1296.
5. Arenal A, del Castillo S, Gonzalez-Torrecilla E, et al. Tachycardia-related channel in the scar tissue in patients with sustained monomorphic ventricular tachycardias: influence of the voltage scar definition. *Circulation* 2004; 110: 2568–2574.
6. Silberbauer J, Oloriz T, Maccabelli G, et al. Noninducibility and late potential abolition: a novel combined prognostic procedural end point for catheter ablation of postinfarction ventricular tachycardia. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2014; 7: 424–435.
7. Jais P, Maury P, Khairy P, et al. Elimination of local abnormal ventricular activities: a new end point for substrate modification in patients with scar-related ventricular tachycardia. *Circulation* 2012; 125: 2184–2196.
8. Komatsu Y, Daly M, Sacher F, et al. Endocardial ablation to eliminate epicardial arrhythmia substrate in scar-related ventricular tachycardia. *J Am Coll Cardiol* 2014; 63: 1416–1426.

Riziko komplikací

Přínos katetrizační ablace by měl být vždy vážen proti riziku výkonu. Ve dvou multicentrických studiích (21, 42), které zahrnovaly pacienty po infarktu myokardu podstupujících katetrizační ablací KT, bylo riziko periprocedurálních komplikací 8 % a 10 %. Na našem pracovišti jsme analyzovali výsledky ablace u 473 pacientů se strukturálním srdečním onemocněním, kteří podstoupili katetrizační ablací v letech 2006–2012 (43). Celkově bylo zaznamenáno 8 % komplikací, avšak nejčastější byly vaskulární komplikace v místech vpichu. Naopak život ohrožující stavy, jako je tamponáda či cévní mozková příhoda, byly vzácné, byly pozorovány u 0,6 % a 0,8 % případů. V žádném případě nedošlo k úmrtí během výkonu. Naše práce ukázala, že navzdory zvětšující se komplexnosti katetrizačních ablací má tento výkon přijatelný bezpečnostní profil. Je však třeba zdůraznit, že toto platí pouze pro vysoce specializovaná centra. Data získaná od zdravotních pojišťoven z USA to potvrzují. Počet komplikací byl vyšší (celkem 11,5 %) s mortalitou 1,6 %. Výskyt perikardiálních komplikací dosáhl 2,4 % (44). Centra s vyšším počtem ablací měla výrazně nižší počet komplikací. Na základě těchto zkušeností se domníváme,

že katetrizační ablace KT u nemocných s komplexním arytmogenním substrátem by měla být centralizována do několika vybraných center.

Souhrn

Katetrizační ablace komorových tachykardií (KT) u nemocných se strukturálním postižením srdce je komplexní výkon. V současné době je dominantní strategií substrátová ablace, která vede k lepším výsledkům než konvenční mapování aktivační sekvence při KT. Rozvoj zobrazovacích metod umožnil přesnější charakteristiku arytmogenního substrátu, který bývá často uložen intramyokardiálně či epikardiálně, a byla vyvinuta řada nových ablačních metod, které umožňují účinně ovlivnit substrát i na dříve nedosažitelných místech. Pro nemocné s elektrickou bouří může představovat tato léčba život zachraňující výkon. Některé studie naznačují, že katetrizační ablace by měla být provedena při rekurencích KT co nejdříve, nikoliv až při rozvoji elektrické bouře. Existují i data o příznivém efektu profylaktické ablace (tj. v době implantace ICD). Vzhledem ke komplexnosti těchto zákroků by tato léčba měla být soustředěována do několika specializovaných center.

9. Di Biase L, Burkhardt JD, Lakkireddy D, et al. Ablation of stable VTs versus substrate ablation in ischemic cardiomyopathy: the VISTA randomized multicenter trial. *J Am Coll Cardiol* 2015; 66: 2872–2882.
10. Palaniswamy C, Miller MA, Reddy VY, Dukkipati SR. Hemodynamic support for ventricular tachycardia ablation. *Card Electrophysiol Clin* 2017; 9: 141–152.
11. Kusa S, Miller MA, Whang W, et al. Outcomes of ventricular tachycardia ablation using percutaneous left ventricular assist devices. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 2017; 10: e004717.
12. Romero J, Di Biase L. Percutaneous ventricular assist devices for catheter ablation of ventricular tachycardia in structural heart disease: “A Conditio Sine Qua Non”? *J Cardiovasc Electrophysiol* 2017; 28: 1303–1305.
13. Piers SRD, Tao Q, van Huls, et al. Contrast-enhanced MRI-derived scar patterns and associated ventricular tachycardias in nonischemic cardiomyopathy: implications for the ablation strategy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2013; 6: 875–883.
14. Dickfeld T, Tian J, Ahmad G, et al. MRI-Guided ventricular tachycardia ablation: integration of late gadolinium-enhanced 3D scar in patients with implantable cardioverter-defibrillators. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2011; 4: 172–184.
15. Perez-David E, Arenal A, Rubio-Guivernau JL, et al. Noninvasive identification of ventricular tachycardia-related conducting channels using contrast-enhanced magnetic resonance imaging in patients with chronic myocardial infarction: comparison of signal intensity scar mapping and endocardial voltage mapping. *J Am Coll Cardiol* 2011; 57: 184–194.
16. Cochet H, Komatsu Y, Sacher F, et al. Integration of merged delayed-enhanced magnetic resonance imaging and multidetector computed tomography for the guidance of ventricular tachycardia ablation: a pilot study. *J Cardiovasc*

Electrophysiol 2013; 24: 419–426.

17. Esposito A, Palmisano A, Antunes S, et al. Cardiac CT with delayed enhancement in the characterization of ventricular tachycardia structural substrate: relationship between CT-segmented scar and electro-anatomic mapping. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016; 9: 822–832.
18. Hussein A, Jimenez A, Ahmad G, et al. Assessment of ventricular tachycardia scar substrate by intracardiac echocardiography. *Pacing Clin Electrophysiol* 2014; 37: 412–421.
19. Peichl P, Wichterle D, Čihák R, Aldhoon B, Kautzner J. Catheter ablation of ventricular tachycardia in the presence of an old endocavitary thrombus guided by intracardiac echocardiography. *Pacing Clin Electrophysiol* 2016; 39: 581–587.
20. Grieco D, Peichl P, Čihák R, Kautzner J. Successful ablation of ventricular tachycardia after correction of tetralogy of Fallot. *Herzschrittmachertherapie + Elektrophysiologie* 2014; 25: 116–120.
21. Stevenson WG, Wilber DJ, Natale A, et al. Irrigated radiofrequency catheter ablation guided by electroanatomic mapping for recurrent ventricular tachycardia after myocardial infarction: the multicenter thermocool ventricular tachycardia ablation trial. *Circulation* 2008; 118: 2773–2782.
22. Marchlinski FE, Haffajee CI, Beshai JF, et al. Long-term success of irrigated radiofrequency catheter ablation of sustained ventricular tachycardia: post-approval THERMOCOOL VT Trial. *J Am Coll Cardiol* 2016; 67: 674–683.
23. Reddy VY, Reynolds MR, Neuzil P, et al. Prophylactic catheter ablation for the prevention of defibrillator therapy. *NEJM* 2007; 357: 2657–2665.
24. Kuck K, Schaumann A, Eckardt L, et al. Catheter ablation of stable ventricular tachycardia before defibrillator implantation

on in patients with coronary heart disease (VTACH): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2010; 375: 31–40.

25. Kuck K-H, Tilz RR, Deneke T, et al. Impact of substrate modification by catheter ablation on implantable cardioverter-defibrillator interventions in patients with unstable ventricular arrhythmias and coronary artery disease: results from the multicenter randomized controlled SMS (Substrate Modification Study). *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2017; 10: e004422.

26. Carbucicchio C, Santamaria M, Trevisi N, et al. Catheter ablation for the treatment of electrical storm in patients with implantable cardioverter-defibrillators: short- and long-term outcomes in a prospective single-center study. *Circulation* 2008; 117: 462–469.

27. Della Bella P, Baratto F, Tsiachris D, Trevisi N, et al. Management of ventricular tachycardia in the setting of a dedicated unit for the treatment of complex ventricular arrhythmias: long-term outcome after ablation. *Circulation* 2013; 127: 1359–1368.

28. Tung R, Vaseghi M, Frankel DS, et al. Freedom from recurrent ventricular tachycardia after catheter ablation is associated with improved survival in patients with structural heart disease: An International VT Ablation Center Collaborative Group study. *Hear Rhythm* 2015; 12: 1997–2007.

29. Nayyar S, Ganesan AN, Brooks AG, Sullivan T, Roberts-Thomson KC, Sanders P. Venturing into ventricular arrhythmia storm: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J* 2013; 34: 560–571.

30. Aldhoon B, Wichterle D, Peichl P, Čihák R, Kautzner J. Out-

comes of ventricular tachycardia ablation in patients with structural heart disease: The impact of electrical storm. *PLoS One* 2017; 12: e0171830.

31. Sosa E, Scanavacca M. Epicardial mapping and ablation techniques to control ventricular tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2005; 16: 449–452.

32. Della Bella P, Brugada J, Zeppenfeld K, et al. Epicardial ablation for ventricular tachycardia: a European multicenter study. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 2011; 4: 653–659.

33. Polin GM, Haqqani H, Tzou W, et al. Endocardial unipolar voltage mapping to identify epicardial substrate in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia. *Hear Rhythm* 2011; 8: 76–83.

34. Hutchinson MD, Gerstenfeld EP, Desjardins B, et al. Endocardial unipolar voltage mapping to detect epicardial ventricular tachycardia substrate in patients with nonischemic left ventricular cardiomyopathy. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 2011; 4: 49–55.

35. Berruezo A, Mont L, Nava S, Chueca E, Bartholomay E, Brugada J. Electrocardiographic recognition of the epicardial origin of ventricular tachycardias. *Circulation* 2004; 109: 1842–1847.

36. Bala R, Ren J-F, Hutchinson MD, et al. Assessing epicardial substrate using intracardiac echocardiography during VT ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2011; 4: 667–673.

37. Koruth JS, Dukkupati S, Miller MA, Neuzil P, d'Avila A, Reddy VY. Bipolar irrigated radiofrequency ablation: a therapeutic option for refractory intramural atrial and ventricular tachycardia circuits. *Hear Rhythm* 2012; 9: 1932–1941.

38. Sapp JL, Cooper JM, Soejima K, et al. Deep myocardial ablation lesions can be created with a retractable needle-tipped catheter. *Pacing Clin Electrophysiol* 2004; 27: 594–599.

39. Kreidieh B, Rodríguez-Mañero MA, Schurmann P, Ibarra-Cortez SH, Dave AS, Valderrábano M. Retrograde coronary venous ethanol infusion for ablation of refractory ventricular tachycardia. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 2016; 9: e004352.

40. Cuculich PS, Schill MR, et al. Noninvasive cardiac radiation for ablation of ventricular tachycardia. *N Engl J Med* 2017; 377: 2325–2336.

41. Anter E, Hutchinson MD, Deo R, et al. Surgical ablation of refractory ventricular tachycardia in patients with nonischemic cardiomyopathy. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 2011; 4: 494–500.

42. Calkins H, Epstein A, Packer D, et al. Catheter ablation of ventricular tachycardia in patients with structural heart disease using cooled radiofrequency energy: results of a prospective multicenter study. Cooled RF Multi Center Investigators Group. *J Am Coll Cardiol* 2000; 35: 1905–1914.

43. Peichl P, Wichterle D, Pavlu L, Čihák R, Aldhoon B, Kautzner J. Complications of catheter ablation of ventricular tachycardia: a single-center experience. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 2014; 7: 684–690.

44. Palaniswamy C, Kolte D, Harikrishnan P, et al. Catheter ablation of postinfarction ventricular tachycardia: Ten-year trends in utilization, in-hospital complications, and in-hospital mortality in the United States. *Hear Rhythm* 2014; 11: 2056–2063.