

VYUŽITÍ INTRAKARDIÁLNÍ ECHOKARDIOGRAFIE V ELEKTROFYZIOLOGII A INTERVENČNÍ KARDIOLOGII

Petr Peichl, Josef Kautzner

Klinika kardiologie, IKEM

Intrakardiální echokardiografie (ICE) je novou zobrazovací metodou rozšiřující spektrum standardních echokardiografických technik. Systém ICE využívá 8F nebo 10F sondu, která se zavádí do pravé síně a umožňuje detailní zobrazení jednotlivých srdečních struktur spolu se záznamem pulzní, kontinuální či barevné dopplerovské echokardiografie. Hlavními indikacemi k použití ICE v elektrofyzilogii jsou transseptální punkce a ablace komplexních arytmogenních substrátů – především fibrilace síní, postincizionálních nebo komorových tachykardií. Další důležitou roli hraje ICE v časně detekci a prevenci potenciálních komplikací během výkonu, kterými mohou být: vznik mobilního trombu na katétrech, poranění srdečních struktur manipulací nebo radiofrekvenční ablací, stenóza plicní žíly, poškození jícnu a srdeční tamponáda. Mimo elektrofyzilogii lze ICE použít k asistenci při uzávěru defektu septa síní či foramen ovale patens, dále k navigaci bioptomu a provedení cílené endomyokardiální biopsie nitrosrdečních útvarů umístěných v pravostranných oddílech.

Klíčová slova: intrakardiální echokardiografie, katetrizační ablace, fibrilace síní, komorové tachykardie.

ROLE OF INTRACARDIAC ULTRASOUND IN ELECTROPHYSIOLOGY AND INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

Intracardiac echocardiography is a novel imaging method that expands the spectrum of current echocardiographic techniques. The system uses 8F or 10F probe that is introduced into the right atrium and allows detail imaging of cardiac structures including pulse and continuous wave Doppler and/or color Doppler. In electrophysiology, the main indications for ICE are guidance of transseptal puncture and ablation of complex arrhythmogenic substrates such as atrial fibrillation, incisional and ventricular tachycardias. Additional important role plays ICE in prevention and early detection of potential complications during the procedures. These may include formation of mobile thrombus, damage of cardiac structures by catheter manipulation or radiofrequency energy, pulmonary vein stenosis, esophagus damage and tamponade. In interventional cardiology, ICE can be used for guidance of atrial septal defect or foramen ovale patens closure or for navigation of bioprostom during selective endomyocardial biopsy of intracardiac masses.

Key words: intracardiac echocardiography, catheter ablation, atrial fibrillation, ventricular tachycardia.

Interv Akut Kardiolog 2008; 7(2): 67–72

Technický pokrok v posledním desetiletí dovoluje provádění stále složitějších intervenčních výkonů. Donedávna byla pro vedení katetrizačního zákroku nejdůležitější rentgenová kontrola polohy a pohybu katétru. Komplexní výkon však přináší mnohem vyšší požadavky na kvalitu a přesnost zobrazení. Díky miniaturizaci echokardiografických sond proto došlo ke vzniku nové metody – intrakardiální echokardiografie (ICE), která dovoluje detailní zobrazení nitrosrdečních struktur a přesnou navigaci katétrů v srdečních dutinách. Tento přehled se zaměřuje na využití ICE při vedení výkonů v elektrofyzilogii a intervenční kardiologii.

Princip intrakardiální echokardiografie

V současné době jsou dostupné dva odlišné systémy ICE^(1, 2). Starší z nich využívá ultrazvukový systém Boston Scientific Corporation (San Jose, California, USA) a intrakardiální 8F sondu, na jejímž konci je umístěn ultrazvukový 9MHz senzor (Clearview, Cardiovascular Imaging Systems, Inc, Fremont, California, USA). Tento senzor je tvořen piezoelektrickým krystalem, který rotuje rychlostí 1800 otáček/minutu a vytváří tak obraz v celém rozsahu 360 stupňů v rovině kolmé na osu katétru. Postupným posouváním katétru uvnitř srdce lze navíc pomocí speciálního programového vybavení vytvořit trojrozměrnou rekonstrukci. Druhý modernější systém ICE využívá 10F katétr s ultrazvukovou sondou (AcuNav Diagnostic Ultrasound Catheter, Acuson – Siemens, Mountain View, California, USA), která snímá sektor ori-

entovaný v dlouhé ose katétru. K dispozici je také menší 8F katétr, který je vhodný především pro pediatrické pacienty. Systém umožňuje plnohodnotné ultrazvukové vyšetření (rozsah zobrazení 5,5–10 MHz, maximální hloubka 16 cm, M-Mode, 2-DE i ve všech dopplerovských aplikacích). Katétr je říditelný ve 2 rovinách (antero-posterior, pravo-levá) a jeho ohnutí lze uzamknout. Sonda může být zapojena buď do přenosného echokardiografického přístroje (Cyprus), nebo do plnohodnotného ultrazvukového zobrazovacího systému (Sequoia) od stejného výrobce.

Sektorové zobrazení až do hloubky 16 cm obdobné jako u transezofageální echokardiografie, měnlivá frekvence ultrazvukového paprsku a možnost plnohodnotného dopplerovského vyšetření vedla k většímu rozšíření druhého systému a to především v intervenční elektrofyzilogii. Náš přehled se proto zaměří na tento modernější systém.

Technika zobrazení pomocí ICE

Pro správnou manipulaci s katétrech je důležité pochopení vztahu mezi směrem ultrazvukového paprsku a okolními srdečními strukturami. Intrakardiální sonda pracuje obdobně jako transezofageální a zobrazený 90stupňový sektor je orientován na dlouhou osu katétru. Na pravé straně ICE obrazu jsou obvykle zobrazeny kraniálně uložené struktury a vlevo pak objekty umístěné kaudálněji. Obraz může být zrcadlově otočen, obrázky použité v tomto přehledu však byly získány výše uvedeným způsobem.

MUDr. Petr Peichl, Ph.D.

Klinika kardiologie, IKEM, Vídeňská 1958/9, 140 21 Praha 4
e-mail: petr.peichl@medicon.cz

Článek přijat redakcí: 31. 1. 2008
Článek přijat po přepracování: 18. 2. 2008
Článek přijat k publikaci: 22. 2. 2008

Katetrizující může nastavit zobrazovaný sektor zasouváním či vysouváním katétru, pomocí jeho rotace nebo ohybem konce katétru čtyřmi směry. Základní projekci (tzv. „home position“) lze získat zavedením katétru do pravé síně několik centimetrů nad ústí dolní duté žíly, ultrazvuková sonda má přitom směřovat dopředu a doleva. Takto získaný obraz ukazuje přilehlou pravou síň, kavostrikuspidální isthmus, trikuspidální chlopeň a pravou komoru (obrázek 1a). K dosažení ostatních projekcí je obvykle nutná pouze malá rotace tělem katétru. Otočením katétru proti směru hodinových ručiček získáme obraz crista terminalis a ouška pravé síně. Při rotaci po směru hodinových ručiček se zobrazí kořen aorty v dlouhé ose a výtokový trakt pravé komory, poté se postupně objevuje mitrální chlopeň a ouško levé síně (obrázek 1b). Pokračujeme-li v otáčení tímto směrem, získáme obraz fossa ovalis (proximálně u sondy) a levostranných plicních žil (na distálním okraji sektoru). Levá dolní plicní žíla je přitom lokalizována na obrazovce vlevo a levá horní žíla směřuje doprava (obrázek 1c). Pokud dále rotujeme po směru hodinových ručiček, objeví se zadní stěna levé síně a za ní probíhající jícen. Nakonec se zobrazí příčný řez pravostrannými žilami. K dosažení longitudinálního řezu těmito žilami je třeba obvykle mírně zahnout konec katétru posteriořně. Takto se zobrazí pravá dolní plicní žíla a při další rotaci i pravá horní (obrázek 1d a 1e). Pokud se katétr umístí do středu pravé síně a ohne doprava, objeví se aortální kořen v krátké ose a kapsičky aortální chlopně (obrázek 1f).

K vyšetření srdečních komor je nutné konec ultrazvukového katétru zavést do pravé komory. Rotací v této poloze je možné zobrazit pravou a levou komoru a výtokové trakty. Tyto projekce se hodí například pro kontrolu perikardiálního výpotku. Někdy lze zavést ICE katétr do proximálního koronárního sinu. V této pozici mohou být u některých pacientů lépe zobrazeny ouško levé síně a plicní žíly.

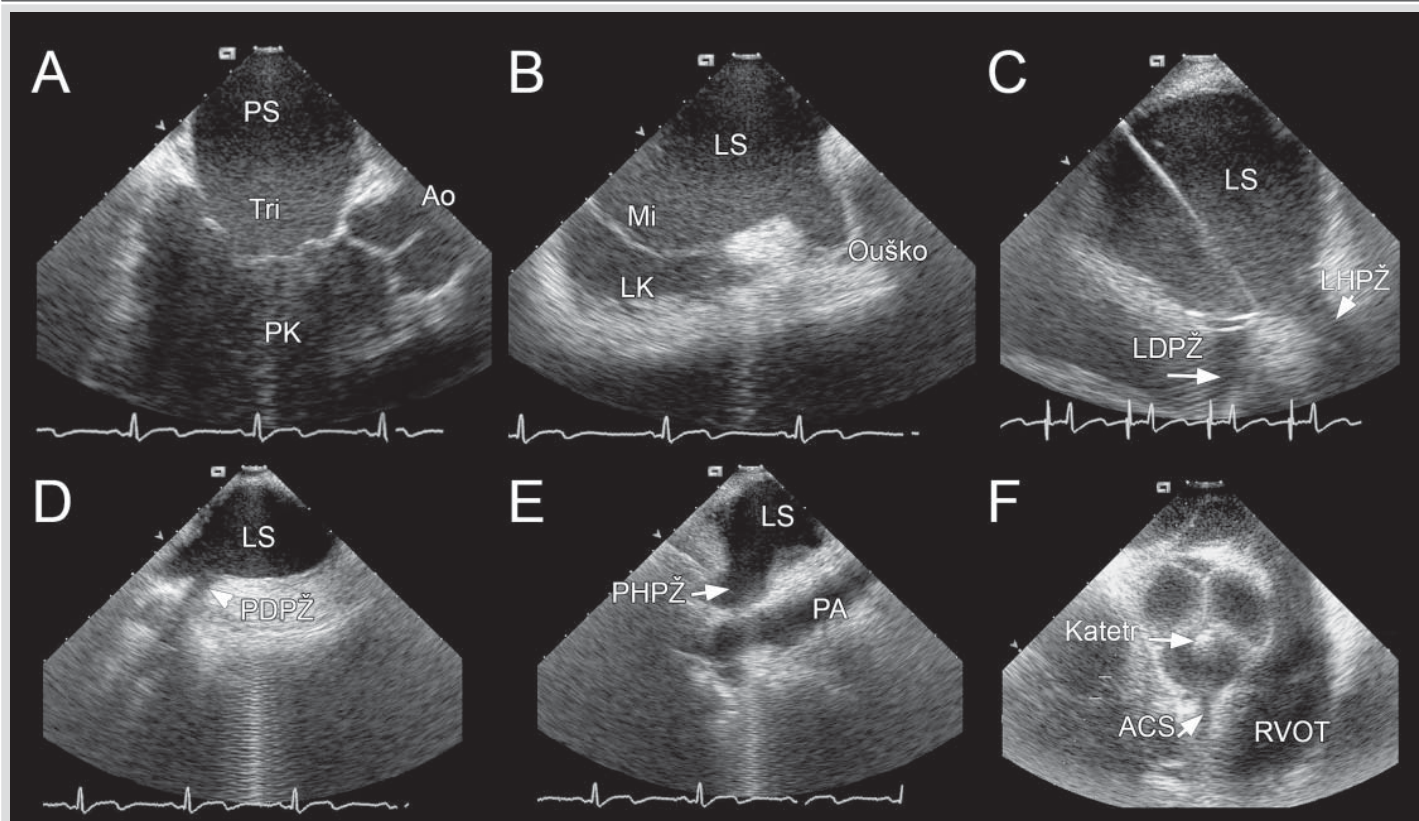
Klinické použití intrakardiálního ultrazvuku v elektrofyzilogii

Transseptální punkce

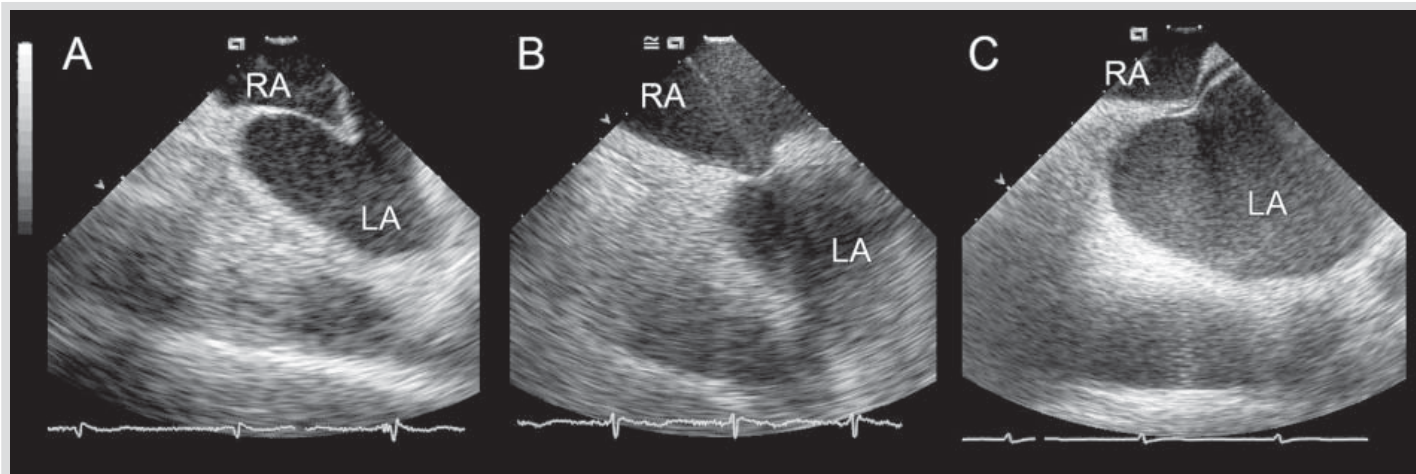
Transseptální punkce se stala, především díky rozvoji ablace fibrilace síní, důležitou součástí elektrofyzilogických výkonů. Konvenčně se punkce provádí pod rentgenovou kontrolou, která však neumožňuje rozlišit jednotlivé srdeční oddíly. Vhodné místo pro punkci se proto obvykle odhaduje podle pohybu zavaděče během jeho stahování z horní duté žíly a dále podle jeho polohy uvnitř srdečního stínu a vztahu ke katétrům v koronárním sinu a kořeni aorty^(3, 4). Takto vedená transseptální punkce může být spojena s rizikem život ohrožujících komplikací. Mezi nejzávažnější patří punkce aorty, punkce perikardu a vznik tamponády, embolizace do systémového oběhu nebo perforace dolní duté žíly^(3, 4).

Hlavní přínos ICE pro provádění transseptální punkce spočívá v možnosti přímého zobrazení konce punkční jehly a místa punkce – fossy ovalis⁽⁵⁾. Katétr pro ICE je přitom umístěn v pravé síni v blízkosti mezisíňového septa. Při přitlačení zavaděče transseptální jehly lze sledovat vytažení mezisíňového septa směrem do levé síně. Navigace pomocí ultrazvuku kromě toho dovoluje zvolit si místo punkce subselektivně. V případě ablace levostranné přídavné dráhy nebo výkonu v levé komoře je vhodné provést punkci v přední části fossy ovalis. Naproti tomu pro ablacii v okolí ústí plicních žil je vhodnější volit místo punkce více vzadu a v dolní části fossy ovalis. Další výhodou ICE je snadné nalezení optimálního místa k punkci v případě anatomických variant jako jsou lipomatozní hypertrofie septa nebo aneurysma mezisíňové přepážky (obrázek 2). ICE může také pomoci k opětovné navigaci do místa předchozí punkce v případě, kdy došlo k neúmyslnému vytažení mapovacího katétru z levé síně. K tomuto účelu lze otvor v mezisíňové přepážce zobrazit pomocí barevné dopplerovské echokardiografie.

Obrázek 1. Projekce srdečních oddílů získané ICE: A – základní projekce – „home position“ po zavedení ICE sondy do pravé síně (PS), která ukazuje trikuspidální chlopeň (Tri), pravou komoru (PK) a aortu (Ao); B – levá síň (LS), ouško a mitrální chlopeň (Mi); C – levá horní (LHPŽ) a dolní (LDPŽ) se zavedeným laso katétre; D – pravá dolní plicní žíla (PDPŽ), E – pravá horní plicní žíla (PHPŽ) a plicnice (PA), F – aorta (Ao) v krátké ose s ostiemi levé věnčité tepny (ACS) s přilehlým výtokovým traktem pravé komory (RVOT)



Obrázek 2. Anatomické varianty mezišifového septa při provádění transseptální punkce: A – výrazné vytlačení tenké mezišifové přepážky transseptálním sheathem; B – relativně malá fossa ovalis u lipomatózní hypertrofie mezišifového septa; C – fossa ovalis tvořena dvěma oddělenými listy



Ačkoliv se komplikace konvenčně vedené transseptální punkce objevují ve vysokoobjemových centrech sporadicky, jejich výskytu nelze zcela zabránit^(3, 4). Přestože přímé srovnání na velkých souborech prozatím chybí, představuje právě ICE potenciálně účinný nástroj, jak jejich vzniku předcházet.

Katetrizační ablace fibrilace síní

Moderní éra nefarmakologické léčby fibrilace síní byla zahájena pionýrskými pracemi skupiny z Bordeaux⁽⁶⁾. Autoři vychází z konceptu, že fibrilace síní je spouštěna ektopickou aktivitou z plicních žil a že ablace této ektopie dovede tuto arytmií vyléčit. K prevenci recidiv fibrilace síní bylo záhy vyvinuto několik ablačních strategií^(7–9). Klíčovou roli u většiny z nich hraje elektrická izolace plicních žil. Novější patologicko-anatomické práce a zobrazovací metody následně dokumentovaly, že uspořádání plicních žil a jejich přechod do levé síně (tzv. antrum či vestibulum) je značně variabilní. Špatné pochopení anatomických poměrů může vést k závažným komplikacím jako je stenóza nebo dokonce uzávěr plicní žíly. Naopak, rozsáhlá ablace uvnitř levé síně může zvýšit riziko tromboembolických komplikací nebo srdeční tamponády. Na zadní stěnu levé síně navíc přímo naléhá jícen a při aplikacích radiofrekvenční energie tak může dojít k velmi závažné komplikaci – vzniku píštěle mezi levou síní a jícnem. Zmíněná úskalí a rizika podtrhují vhodnost používání některé ze zobrazovacích metod. V tomto směru je ICE jednou z nejnázornějších a nejpoužitelnějších. ICE lze během ablace fibrilace síní využít k zobrazení ostí plicních žil, přesnému umístění mapovacího a ablačního katétru, monitoraci aplikací radiofrekvenční energie, sledování změny toku v plicních žilách a pro časnou diagnostiku potenciálních komplikací výkonu.

Zobrazení plicních žil

Práce, které používaly trojrozměrné zobrazovací metody, ukázaly, že levostranné plicní žíly mají nejčastěji (až v 80 %) společné antrum (vestibulum)^(10, 11). Vlevo má toto antrum obvykle oválný tvar s relativně krátkým předozadním rozměrem. Anteriorně je odděleno od ouška levé síně individuálně širokou hranou. Naproti tomu, v zadní části přechází antrum do levé síně postupně a tento přechod často dosahuje až k pravostranným žilám. V 15–20 % případů bývá přítomen společný kmen (delší více než 15 mm). Pravostranné žíly mají spíše zakulacený tvar a samostatné odstupy. Vpravo jsou také časté přidatné žíly s průměrem pod 10 mm. Tyto anatomické varianty mohou být s velkou přesností zobrazeny právě pomocí ICE⁽¹⁰⁾.

Zobrazení mapovacího a ablačního katétru

Pomocí ICE lze přesně změřit průměr plicních žil a tento údaj může přispět k výběru vhodné velikosti cirkulárního mapovacího katétru ve tvaru lasa. Výše

uvedená anatomická variabilita plicních žil navíc způsobuje, že v některých případech je umístění cirkulárního katétru obtížné. Obzvláště v případech plochých plicních žil má cirkulární katétr tendenci se deformovat, vysunout se z ostia na zadní stěnu nebo naopak vklouznout hluboko do plicní žíly. ICE umožňuje stále zobrazení mapovacího a ablačního katétru a zabránit tak ablaci hluboko uvnitř plicní žíly.

Monitorace aplikace radiofrekvenční energie

Tvorbě ablační leze při aplikaci radiofrekvenční energie odpovídají na ICE charakteristické změny: ztlusťování stěny, zvýšení echodenzity a/nebo vznik defektu stěny (kráteru). V případě použití 8 mm ablačního katétru dochází při přehřívání tkáně k tvorbě mikrobublin, které jsou snadno detekovatelné pomocí ICE⁽⁷⁾. Experimentální práce následně potvrdily, že vznik mikrobublin odpovídá přehřívání tkáně a předchází vzniku tzv. popu – lokální evaporaci části tkáně se vznikem kráteru⁽¹²⁾. Data od skupiny z Clevelandu přitom ukazují, že titrace radiofrekvenční energie a monitorace mikrobublin umožňuje zlepšit úspěšnost ablace a snížit výskyt komplikací. I přes potenciální výhody vyplývající z možnosti monitorace aplikace radiofrekvenční energie u katétru s 8 mm koncem se tento koncept v klinické praxi nerozšířil. V současné době jsou k tvorbě komplexních lezí spíše využívány katetry s chlazeným koncem (cool tip katetry).

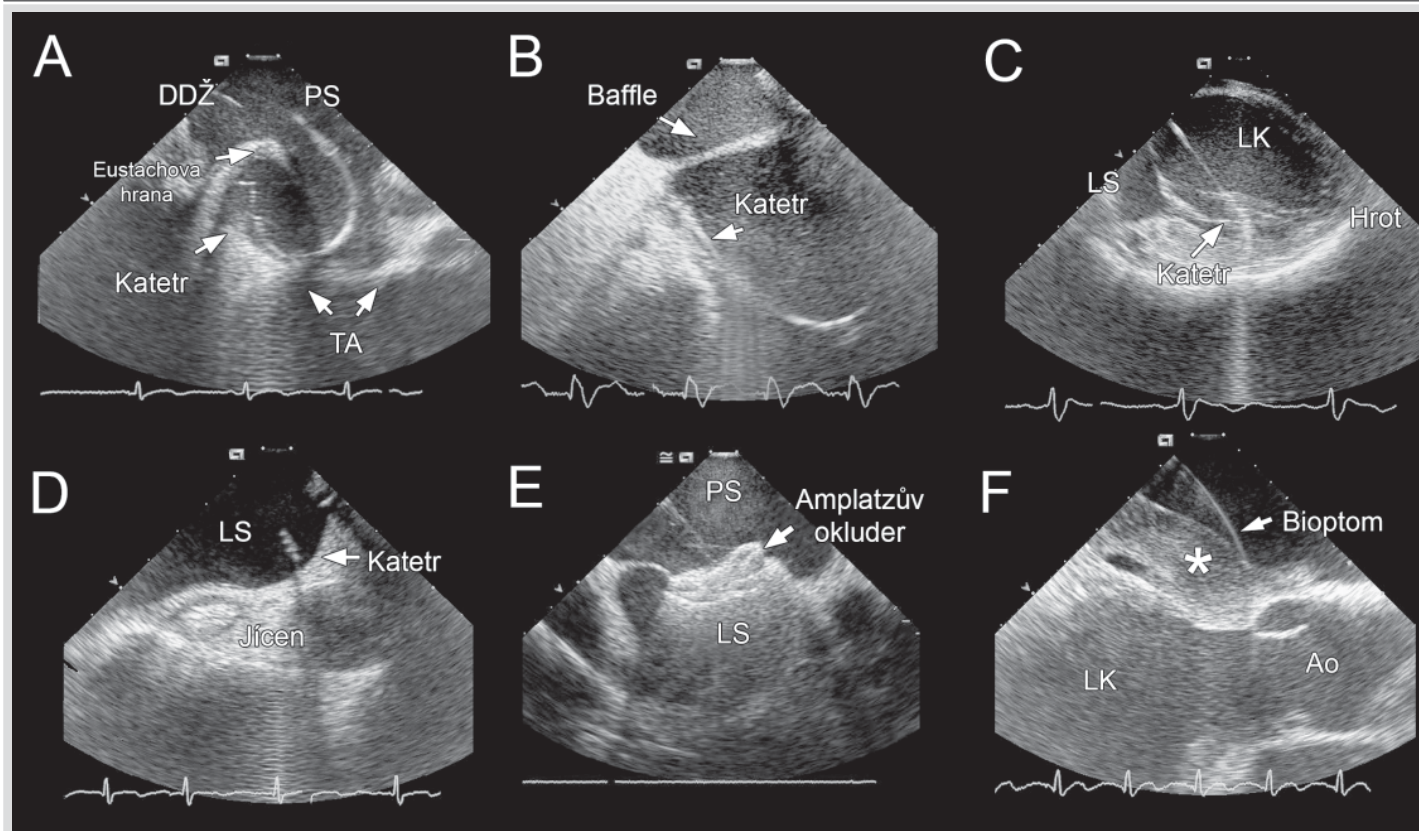
Katetrizační ablace flutteru síní

Přestože se katetrizační ablace kavotrikuspidálního isthmu provádí standardně bez podpory zvláštních mapovacích či zobrazovacích metod, v některých případech může být dosažení oboustranného bloku obtížné. Hlavním důvodem se zdá být abnormální anatomie kavotrikuspidálního isthmu, ve kterém mohou být přítomny hluboké výchlípky nebo prominující Eustachova hrana^(13, 14) (obrázek 3a). Jindy se pohybuje tkáň isthmu proti bránici ve značném rozsahu a isthmus prodělává značné exkurze od velmi krátkého po relativně dlouhý. ICE dovoluje zobrazení morfologie isthmu i monitoraci kontaktu katétru s tkání a může tak být použit v případech, kdy konvenční přístup selže.

Katetrizační ablace arytmií po korekci vrozených srdečních vad

Katetrizační ablace postincizionálních tachykardií u pacientů po korekci komplexních srdečních vad (např. operace dle Senninga či Mustarda) patří mezi jedny z nejnáročnějších výkonů. Dle literárních zdrojů byl ICE k vedení těchto zákroků použit jen ojedinelé⁽¹⁵⁾. Z našich zkušeností však vyplývá, že ICE usnadňuje mapování a identifikaci důležitých srdečních struktur, v případě nutnosti

Obrázek 3. Možnosti využití ICE při intervenčních výkonech: A – kavotrikuspidální isthmus s prominující Eustachovou hranou. K docílení kontaktu katétru se svalovinou pod hranou je třeba katétr maximálně uzavřít a stáhnout za hranu; B – pacient po Mustardově korekci transpozice velkých cév s typickým flutterem síní, obrázek ukazuje polohu ablačního katétru na části kavotrikuspidálního isthmu, která je dosažitelná pouze ze síně plicních žil; C – pozice katétru v levé komoře u pacienta, u kterého komorová tachykardie vycházela od báze anterolaterálního papilárního svalu; D – jícen za zadní stěnou levé síně; E – uzávěr defektu septa síní Amplatzovým okluderem; F – cílená biopsie z abnormálně ztluštělého mezisíňového septa (*). Zkratky viz popis předchozích obrázků



biatriálního mapování má ICE nezastupitelnou roli při provádění punkce interatriální záplaty (obrázek 3b).

Katetrizační ablace komorových tachykardií

U idiopatických komorových tachykardií má ICE největší přínos při mapování a ablací arytmií z kapsiček aortální chlopně⁽¹⁶⁾. Během výkonu lze kontinuálně sledovat polohu ablačního katétru na jednotlivých cípech aortální chlopně a jeho vztah k odstupu koronárních tepen (obrázek 1f).

U pacientů po infarktu myokardu umožňuje ICE ověřit kontakt ablačního katétru se srdeční stěnou a to obzvláště ve specifických oblastech jako je báze papilárního svalu (obrázek 3c) nebo falešná šlašinka⁽¹⁰⁾. Navíc umožní monitorovat vznik ablační léze a tím bránit přehřátí tkáně a vzniku popu⁽¹⁷⁾.

Naše zkušenosti také ukazují, že ICE je možno s výhodou použít při provádění ablace komorových tachykardií vycházejících z pravé komory (např. u arytmogenní kardiomyopatie pravé komory). Lze tak například hodnotit kontakt ablačního katétru při laterálním okraji trikuspidálního anulu nebo mezi trabekulami pravé komory.

Detekce komplikací

Jednou z důležitých rolí ICE je časná detekce a prevence komplikací intervenčních výkonů.

Poškození srdečních struktur může vzniknout při manipulaci s katétry (např. poškození ouška levé síně, mitrální či trikuspidální chlopně). Nepřiměřená aplikace radiofrekvenční energie může navíc vést k přehřátí tkáně a narušení srdeční stěny nebo k úplné perforaci⁽¹⁷⁾.

Tromboembolické komplikace spojené s radiofrekvenční katetrizační ablací v levé síni dosahují podle některých autorů až 2 %^(18, 19). Pokud byl během

výkonu podáván heparin s cílem dosažení hodnoty aktivovaného koagulačního času (ACT) 250 s, byl pomocí ICE popsán trombus v levé síni až u 10 % případů⁽²⁰⁾. Riziko vzniku trombu se zdá být nejvyšší těsně po provedení transseptální punkce a jediným rizikovým faktorem byla přítomnost spontánního echokontastu v levé síni. Na základě těchto dat a vlastních zkušeností s ICE doporučuje řada center změnu protokolu antikoagulační léčby během výkonu⁽²¹⁾. Na našem pracovišti obvykle podáváme heparin v dávce 100 IU/kg ještě před první transseptální punkcí a cílová hodnota ACT během výkonu je 350 s.

Stenóza plicní žíly může vzniknout při izolaci plicních žil, pokud je radiofrekvenční energie aplikována příliš distálně v žíle. Práce z poslední doby ukazují, že použití ICE během výkonu vede k téměř úplnému vymizení této komplikace⁽⁷⁾. Kromě toho může být plicní stenóza diagnostikována přímo pomocí ICE a to měřením rozměru ústí plicní žíly a rychlostí v plicních žilách⁽²²⁾. Při významné stenóze dochází ke zvýšení vrcholové rychlosti v žíle nad 150 cm/s a při barevném dopplerovském vyšetření je patrné turbulentní proudění. Menší vzestupy rychlostí v plicních žilách jsou pravděpodobně relativně běžné a obvykle vymizí do 3 měsíců po výkonu.

Poranění jícnu během ablací v levé síni může vést k rozvoji atrio-ezofageální píštěle, která představuje vzácnou, avšak velmi závažnou a život ohrožující komplikaci⁽²³⁾. ICE umožňuje polohu jícnu zobrazit a tím potenciálně snížit riziko této komplikace (obrázek 3d).

Perikardiální výpotek je jednou z nejčastějších komplikací, která se objevuje při katetrizační ablací v levé síni. Výpotek bývá zpočátku asymptomatický a pokud není včas odhalen, může dojít k rozvoji srdeční tamponády. ICE umožňuje časnou detekci tekutiny v perikardiálním prostoru a katetrizující tak může včas zastavit podávání heparinu, případně použít protamin.

Klinické použití intrakardiálního ultrazvuku v intervenční kardiologii

Ačkoliv má ICE v současné době hlavní využití v elektrofyziologii, lze systém využít i pro provádění některých mimokoronárních intervencí.

Uzávěr defektů septa síní

Uzávěr defektu septa síní nebo foramen ovale patens katetrizační technikou je v současné době u většiny pacientů metodou volby. Standardně je monitorování výkonu prováděno pomocí transezofageální echokardiografie, která dovozuje určit velikost defektu, jeho okraje a vztah k okolním strukturám. V porovnání s jícnovou echokardiografií nabízí ICE v této indikaci především větší komfort pro pacienta (obrázek 3e). Bartel a spol.⁽²⁴⁾ ve své práci srovnávali přínos obou zobrazovacích metod a použití ICE vedlo ke zkrácení délky výkonu a skiaskopického času při obdobné nebo dokonce lepší kvalitě zobrazení. Podobných výsledků dosáhli i ostatní autoři⁽²⁵⁾ a použití ICE je výhodné především u pediatrických pacientů⁽²⁶⁾.

Literatura

1. Ren JF, Schwartzman D, Callans DJ, Brode SE, Gottlieb CD, Marchlinski FE. Intracardiac echocardiography (9 MHz) in humans: methods, imaging views and clinical utility. *Ultrasound Med Biol* 1999 September; 25(7): 1077–1086.
2. Ren JF, Weiss JP. Imaging equipment and right heart catheterization technique. In: Ren JF, Marchlinski FE, Callans DJ, Schwartzman D, editors. *Practical intracardiac echocardiography in electrophysiology*. Maiden Massachusetts, USA: Blackwell Publishing Inc. 2006: 5–17.
3. De PR, Zardini M, Storti C, Longobardi M, Salerno-Uriarte JA. Trans-septal catheterization for radiofrequency catheter ablation of cardiac arrhythmias. Results and safety of a simplified method. *Eur Heart J* 1998 June; 19(6): 943–950.
4. Roelke M, Smith AJ, Palacios IF. The technique and safety of transseptal left heart catheterization: the Massachusetts General Hospital experience with 1, 279 procedures. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1994 August; 32(4): 332–339.
5. Hung JS, Fu M, Yeh KH, Chua S, Wu JJ, Chen YC. Usefulness of intracardiac echocardiography in transseptal puncture during percutaneous transvenous mitral commissurotomy. *Am J Cardiol* 1993 October 1; 72(11): 853–854.
6. Haissaguerre M, Jais P, Shah DC et al. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med* 1998 September 3; 339 (10): 659–666.
7. Marrouche NF, Martin DO, Wazni O et al. Phased-array intracardiac echocardiography monitoring during pulmonary vein isolation in patients with atrial fibrillation: impact on outcome and complications. *Circulation* 2003 June 3; 107(21): 2710–2716.
8. Nademanee K, McKenzie J, Kosar E et al. A new approach for catheter ablation of atrial fibrillation: mapping of the electrophysiologic substrate. *J Am Coll Cardiol* 2004 June 2; 43(11): 2044–2053.
9. Pappone C, Rosanio S, Oreto G et al. Circumferential radiofrequency ablation of pulmonary vein ostia: A new anatomic approach for curing atrial fibrillation. *Circulation* 2000 November 21; 102(21): 2619–2628.
10. Jongbloed MR, Bax JJ, van der Burg AE, Van der Wall EE, Schalij MJ. Radiofrequency catheter ablation of ventricular tachycardia guided by intracardiac echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2004 January; 5(1): 34–40.
11. Mlcochova H, Tintera J, Porod V, Peichl P, Cihak R, Kautzner J. Magnetic resonance angiography of pulmonary veins: implications for catheter ablation of atrial fibrillation. *Pacing Clin Electrophysiol* 2005 October; 28(10): 1073–1080.
12. Martin RE, Ellenbogen KA, Lau YR et al. Phased-array intracardiac echocardiography during pulmonary vein isolation and linear ablation for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2002 September; 13(9): 873–879.
13. Morton JB, Sanders P, Davidson NC, Sparks PB, Vohra JK, Kalman JM. Phased-array intracardiac echocardiography for defining cavotricuspid isthmus anatomy during radiofrequency ablation of typical atrial flutter. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2003 June; 14(6): 591–597.
14. Peichl P, Čihák R, Kautzner J. Morfologie kavotrikuspidálního isthmus definovaná intrakardiální echokardiografií. *Interv Akut Kardiol* 2006; 6: 203–206.

Cílená endomyokardiální biopsie

Endomyokardiální biopsie je diagnostická metoda, která se standardně využívá k vyloučení rejekce štěpu u pacientů po transplantaci srdce, méně často při podezření na některá metabolická srdeční onemocnění. U nitrosrdečních útvarů uložených v pravostranných oddílech může být provedena cílená biopsie⁽²⁷⁾, která poskytne cenné diagnostické informace o jejich histologickém struktuře. ICE přitom představuje ideální nástroj k navigaci biopsie a monitoraci případných komplikací (obrázek 3f).

Závěr

ICE je novou zobrazovací metodou rozšiřující spektrum standardních echokardiografických technik. Jejím hlavním přínosem je možnost monitorace složitých intervenčních výkonů, komplexních katetrizačních ablací, vedení transseptální punkce a časné detekce komplikací. Obecně má ICE potenciál zkrátit skiaskopické časy a zvýšit bezpečnost a teoreticky i úspěšnost intervenčních výkonů. Jejím širšímu použití však zatím brání fakt, že tato metoda není dosud hrazena zdravotními pojišťovnami.

15. Kedia A, Hsu PY, Holmes J et al. Use of intracardiac echocardiography in guiding radiofrequency catheter ablation of atrial tachycardia in a patient after the senning operation. *Pacing Clin Electrophysiol* 2003 November; 26(11): 2178–2180.
16. Lamberti F, Calo' L, Pandozi C et al. Radiofrequency catheter ablation of idiopathic left ventricular outflow tract tachycardia: utility of intracardiac echocardiography. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2001 May; 12(5): 529–535.
17. Takagi M, Toda I, Yoshikawa J. The „pop phenomenon“ detected by phased array intracardiac echocardiography. *Heart* 2003 July; 89(7): 706.
18. Thakur RK, Klein GJ, Yee R, Zardini M. Embolic complications after radiofrequency catheter ablation. *Am J Cardiol* 1994 August 1; 74(3): 278–279.
19. Zhou L, Keane D, Reed G, Ruskin J. Thromboembolic complications of cardiac radiofrequency catheter ablation: a review of the reported incidence, pathogenesis and current research directions. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1999 April; 10(4): 611–620.
20. Ren JF, Marchlinski FE, Callans DJ. Left atrial thrombus associated with ablation for atrial fibrillation: identification with intracardiac echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2004 May 19; 43(10): 1861–1867.
21. Wazni OM, Rossillo A, Marrouche NF et al. Embolic events and char formation during pulmonary vein isolation in patients with atrial fibrillation: impact of different anticoagulation regimens and importance of intracardiac echo imaging. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2005 June; 16(6): 576–581.
22. Ren JF, Marchlinski FE, Callans DJ, Zado ES. Intracardiac Doppler echocardiographic quantification of pulmonary vein flow velocity: an effective technique for monitoring pulmonary vein ostia narrowing during focal atrial fibrillation ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2002 November; 13(11): 1076–1081.
23. Pappone C, Oral H, Santinelli V et al. Atrio-esophageal fistula as a complication of percutaneous transcatheter ablation of atrial fibrillation. *Circulation* 2004 June 8; 109(22): 2724–2726.
24. Bartel T, Konorza T, Neudorf U et al. Intracardiac echocardiography: an ideal guiding tool for device closure of interatrial communications. *Eur J Echocardiogr* 2005 March; 6(2): 92–96.
25. Boccacandro F, Baptista E, Muench A, Carter C, Smalling RW. Comparison of intracardiac echocardiography versus transesophageal echocardiography guidance for percutaneous transcatheter closure of atrial septal defect. *Am J Cardiol* 2004 February 15; 93(4): 437–440.
26. Patel A, Cao QL, Koenig PR, Hijazi ZM. Intracardiac echocardiography to guide closure of atrial septal defects in children less than 15 kilograms. *Catheter Cardiovasc Interv* 2006 August; 68(2): 287–291.
27. Mitchell AR, Timperley J, Hudsmith L, Neubauer S, Bashir Y. Intracardiac echocardiography to guide myocardial biopsy of a primary cardiac tumour. *Eur J Echocardiogr* 2007 December; 8(6): 505–506.