

ROBOTICKÁ NAVIGACE PŘI KATETRIZAČNÍCH ABLACÍCH

Josef Kautzner, Petr Peichl, Hanka Mičochová

Klinika kardiologie, Institut klinické a experimentální medicíny, Praha

Cílem tohoto přehledu je představit stručně dvě moderní technologie navigace katétru na dálku, které se začínají používat v klinické praxi jako podpora katetrizační ablace různých druhů srdečních arytmií.

Magnetický navigační systém Niobe využívá dvou objemných magnetů, které generují permanentní magnetické pole a jehož vektory lze měnit v nejrůznějších směrech. Tímto způsobem je ovládán pohyb magnetem vybaveného speciálního katétru v srdci pacienta na dálku. Robotický systém Sensei je založen na principu elektromechanické navigace, kdy je konvenční katétr zasunut do soustavy dvou ohebných metalických zavaděčů, které ovládají na dálku mechanicky pohyby hrotu katétru. Oba systémy dovolují použití trojrozměrných mapovacích systémů k zobrazení mapované srdeční dutiny (CARTO nebo NavX). V současnosti byly publikovány první klinické zkušenosti s oběma systémy. Ty jsou o něco větší se systémem Niobe, neboť je dostupný delší dobu. Očekávají se větší studie, které budou porovnávat výhody navigace katétru na dálku s konvenčně prováděnou katetrizační ablací, a to zejména u složitých substrátů jako jsou ablace fibrilace síní nebo komorových tachykardií. Jejich rozšíření může výrazně minimalizovat radiační zátěž pro pacienty a především pro lékaře.

Klíčová slova: katetrizační ablace, robotická navigace, fibrilace síní.

ROBOTIC NAVIGATION IN CATHETER ABLATION

The goal of this review is to introduce briefly two modern technologies of remote catheter navigation that are being increasingly used in clinical practice as a support of catheter ablation of different types of cardiac arrhythmias.

Magnetic navigation system Niobe consists of two large magnets that generate permanent and uniform magnetic field. The vectors of the field can be changed in various directions. This allows remote manipulation of specialized magnet-equipped catheter inside the patient's heart. Robotic system Sensei is based on electromechanical navigation principle. Conventional ablation catheter is introduced into the assembly of two steerable metallic sheaths that control the movements of the tip of ablation catheter remotely. Both systems allow the concomitant use of 3D mapping systems for visualization of mapped chamber (CARTO or NavX).

At present, initial clinical experience with both systems has been published. It is more substantial for the Niobe system, since it is available for longer time. Larger studies are expected that will compare the advantage of remote catheter control with conventional catheter ablation, mainly in complex arrhythmia substrates such as atrial fibrillation or ventricular tachycardias. Their widespread use may significantly minimize radiation burden for patients, and especially for physicians.

Key words: catheter ablation, robotic navigation, atrial fibrillation.

Interv Akut Kardiolog 2008; 7(5): 188–191

Katetrizační ablace se stala v posledním desetiletí terapií volby širokého spektra supraventrikulárních tachyarytmií, včetně fibrilace síní^(1, 2). Přes vysokou terapeutickou úspěšnost této metody existují stále určité technické limity. U arytmií, které mají složitý substrát (např. fibrilace síní nebo arytmie po operacích vrozených srdečních vad) je problém v individuální anatomii srdečních oddílů a struktur. Kromě toho existují lokalizace, kam je obtížné katétre dosáhnout a udržet jeho stabilitu. Provedení složité katetrizační ablace tak vyžaduje značné praktické zkušenosti a poměrně dlouhou učební křivku. Nedostatečný kontakt hrotu katétru s tkání má zase za následek vytvoření lézí, které nejsou trvalé a u kterých dojde k zotavení buněk myokardu a k recidivám arytmií. K omezení výše popsaných problémů byly v poslední době uvedeny do klinické praxe dva systémy, které používají navigace ablačního katétru na dálku⁽³⁾. Jeden využívá permanentního magnetického pole, jehož vektory lze měnit a ovládat tak pohyb speciálního ohebného magnetického katétru. Druhý je založen na principu elektromechanické navigace, kdy do sebe zasunuté dva ohebné metalické zavaděče ovládají pohyb konvenčního ablačního katétru uvnitř srdce. Cílem tohoto přehledu je přiblížit současné možnosti obou systémů při katetrizační ablací.

Koncept systému magnetické navigace

Principem magnetického navigačního systému (Niobe, Stereotaxis, Inc) je ovládání pohybu speciálního katétru v zevním magnetickém poli^(3, 4). Katétr je velmi měkký a poddajný a obsahuje malé magnety, které se pohybují v závislosti na změně orientace dvou zevních magnetů, umístěných na obou stranách katetrizačního stolu (0,08 T). Zevní magnety poskytují fokusované pole a jsou ovládány počítačovým systémem. Magnetické pole poskytuje cca 20 cm sférického navigačního prostoru uvnitř hrudníku pacienta (NaviSphere). Magnety na konci katétru se vždy řadí paralelně se silovými poli zevních magnetů. Tímto způsobem je možno katétre pohybovat a zajistit jeho kontakt se stěnou myokardu (obrázek 1). V kombinaci s mechanickým posunem dovnitř a ven je možná plná kontrola pohybu katétru na dálku (CardioDrive, Stereotaxis Inc). Pracovní stanice (Navigant Stereotaxis) dovoluje přesné změny polohy katétru v rozsahu 1 mm. Magnetická navigace je integrována s modifikovaným jednoramenným angiografem s plochým panelem (Axiom Artis, Siemens). Díky přítomnosti magnetů po obou stranách katetrizačního stolu jsou pohyby angiografu omezeny na cca 30° RAO a LAO. Vzhledem k nutnosti pořízení speciálního angiografu a odstínění celého katetrizačního sálu filtrační vrstvou, které eliminuje interferenci

prof. MUDr. Josef Kautzner, CSc.

Klinika kardiologie, Institut klinické a experimentální medicíny, Vídeňská 1958/9, 140 21 Praha 4
e-mail: joka@medicon.cz

Článek přijat redakcí: 31. 7. 2008

Článek přijat k publikaci: 8. 9. 2008

s jinými magnetickými poli, je cena systému vysoká a jeho instalace vyžaduje zásadní stavební úpravy.

První generace katétru obsahovala pouze jeden magnet a 4 mm hrotovou elektrodu (Navistar RMT, Biosense Webster). Další generace katétru obsahuje 3 magnety a 2 páry elektrod. Dalším krokem bylo zvětšení hrotové elektrody na 8 mm (obrázek 2) a v klinickém testování je katétr s chlazeným hrotem.

Kompatibilita s trojrozměrnými mapovacími systémy

Magnetický systém pracoval zpočátku pouze s navigačními systémy LocaLisa nebo NavX. Později přibyla možnost použít systému pro elektromagnetické mapování CARTO RMT (Biosense Webster), který pracuje s ultranízkým magnetickým polem (10^{-12} T) v permanentním magnetickém poli magnetické navigace (0,08 T). Kromě toho je možné zobrazení získaných map ve skiaskopickém obrazu.

Hlavní výhodou magnetické navigace je možnost uschování magnetických vektorů charakterizujících určitou pozici katétru a jeho následné automatické zavedení do dané lokalizace. Tak lze například v získané trojrozměrné mapě příslušné srdeční dutiny naplánovat ablační linii a software zajistí sám navigaci katétru do příslušných bodů. Magnetické pole zajišťuje i stálý kontakt katétru s tkáně. Stupeň přitlaku katétru však nelze regulovat a je podstatně nižší, než lze dosáhnout s elektromechanickým robotickým systémem.

Substráty arytmií k radiofrekvenční ablacii

Po prvních publikacích o využití magnetické navigace u pacientů s AV nodální tachykardií^(4,5) se objevila řada prací referujících o využití systému ke katetrizační ablacii dalších supraventrikulárních arytmií⁽⁶⁻⁸⁾. Šlo o studie, které měly prokázat použitelnost a bezpečnost daného systému při katetrizačních ablacích. Jeho výhoda ve srovnání s konvenční ablací nebyla dokumentována.

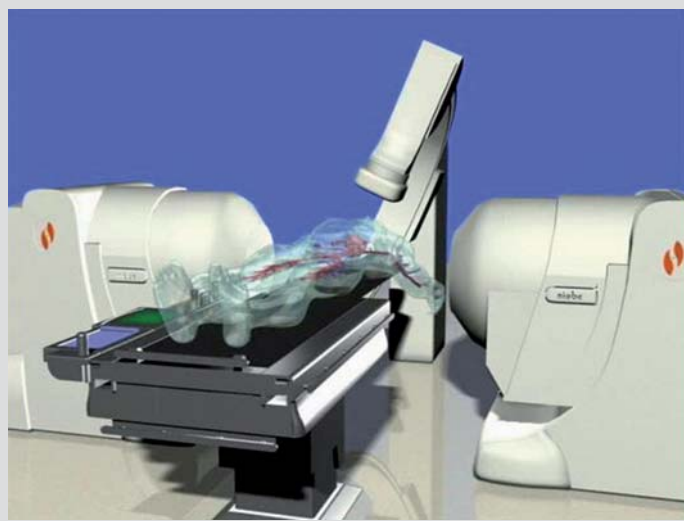
Pozdější studie referovaly o magnetické navigaci při ablacii idiopatických komorových arytmií, a to z oblasti aortální kapsičky nebo septa levé komory⁽⁹⁾. V poslední době bylo systému použito i k mapování komorových tachykardií v přítomnosti strukturního onemocnění srdce⁽¹⁰⁾.

Největší zájem o možné využití magnetické navigace vzbuzuje katetrizační ablace fibrilace síní, která je komplexním výkonem vyžadujícím dlouhou učební křivku. První zprávy o úspěšném použití magnetické navigace pro ablacii fibrilace síní publikovali Pappone a spol.⁽¹¹⁾ Takto navigovaná ablace byla v jejich podání a za použití 4 mm hrotu ablačního katétru úspěšná ve 38 ze 40 případů. Mapování a ablace trvaly od 90 do 380 min. s mediánem 152,5 min. Nejdelší časy byly u prvních 12 pacientů a poté se doba výkonu zkrátila. Po prvních zprávách o úspěšném použití 4 mm katétru byly další publikace z jiných center více rezervované. Skupina z Cleveland Clinic referovala o použití této technologie u 45 nemocných (po předchozím získání prvních zkušeností s ablací u 48 nemocných)⁽¹²⁾. Po provedení obkružující ablace okolo ostií plicních žil byla prokázána jejich izolace pouze v 8 % případů. Naopak, průškvary na hrotu katétru byly zjištěny až ve 30 % případů. U 22 nemocných bylo k izolaci nakonec použito manuálně ovládaného ablačního katétru s chlazeným hrotem. V průběhu sledování došlo k rekurenci fibrilace síní u 22 % pacientů s prokázanou izolací plicních žil a u 90 % nemocných s inkompletní izolací. V této souvislosti se očekává změna od použití katétru s chlazeným hrotem, který by měl zajistit větší objem ablačních lézí, a tím i větší úspěšnost. Zatím není stereotaktický systém rutinně používán pro ablacii fibrilace síní ve většině center.

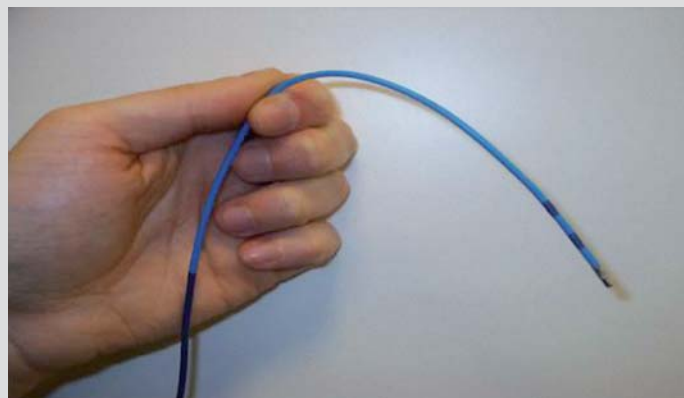
Koncept elektromechanického robotického systému

Elektromechanický robotický systém (Sensei Robotic Catheter System, Hansen Medical, Inc) sestává ze dvou hlavních komponent (obrázky 3a, b)^(3,13). Jednou je pracovní stanice, která je mobilní a kterou je možno nainstalovat do

Obrázek 1. Virtuální obraz elektrofyziologické laboratoře vybavené systémem magnetické navigace Niobe a speciálním angiografem (laskavostí Stereotaxis, Inc). Po stranách katetrizačního stolu jsou patrné 2 magnety, které rotují různými směry tak, aby umožnily dosažení kýžené polohy ablačního katétru



Obrázek 2. Ukázka speciálního ohebného ablačního katétru, který je navigován na dálku díky svému pohybu v magnetickém poli. Je patrné, že katétr je velmi měkký a ohýbá se vlastní vahou



Obrázek 3a. Součástí elektromechanického robotického systému Sensei. Manipulátor, který zajišťuje pohyb robotického katétru Artisan v srdci pacienta, je namontován na katetrizačním stole a vlastní katétr je zaveden do femorální žíly přes 14 F zavaděč



Obrázek 3b. Součásti elektromechanického robotického systému Sensei. Pracovní stanice, která je umístěna v ovladovně sálu a operátor pohybuje katétre na dálku prostřednictvím pákového ovladače, jehož kulička se pohybuje ve všech směrech v prostoru. Tři obrazovky přinášejí potřebné informace jako EKG a intrakardiální signály, skiaskopický obraz, trojrozměrné mapy systému NavX spolu s CT angiogramem levé síně a displej intrakardiální echokardiografie



ovládací místnosti. Ta obsahuje celkem 3 obrazovky, které dovolují zobrazení elektrogramů a parametrů ablace ze záznamového zařízení, záznam skiaskopie nebo intrakardiálního ultrazvuku a také trojrozměrné mapy příslušné mapované srdeční dutiny. Pracovní stanice je vybavena speciálním pákovým ovladačem, který dovoluje intuitivní ovládání pohybu hrotu katétru v prostoru. Druhou hlavní součástí systému, která je umístěna na katetrizačním stole je manipulátor, který kontroluje pohyb katétru podle pohybu pákového ovladače. Konvenční katétr je přitom zasunut do systému dvou, teleskopicky do sebe zapadajících ohebných zavaděčů (Artisan catheter). Průměr zevního zavaděče je 14 F, zatímco vnitřní zavaděč dosahuje průměru 11,5 F. Pohyb zavaděčů, zejména vnitřního, je ovládán pomocí tahových strun. Díky teleskopickému systému je zajištěna stabilita hrotu katétru a současně i velmi precizní pohyb.

Vzhledem k tomu, že při ovládání katétru na dálku odpadá taktilní vjem informující o odporu katétru při tlaku na tkáň, byl zkonstruován systém detekce tlaku hrotu katétru. Systém se nazývá IntelliSense a pracuje na principu nepřímého měření tak, že speciální zařízení pohybuje ablačním katétre v malém rozsahu dopředu a dozadu (cca 1 mm) a senzor měří jeho odpor při tomto pohybu. Vyšší tlak hrotu katétru na tkáň vede ke zvýšenému tření a odporu. Extrapolací je stupeň odporu převeden na hodnotu tlaku v gramech a zobrazen na hlavní obrazovce pracovní stanice v podobě grafu (obrázek 4).

Díky mechanickému ovládání katétru je robotický systém principiálně jednodušší a podstatně levnější. Jeho instalace nevyžaduje speciální stavební úpravy. Robotický manipulátor může být trvale umístěn na boku katetrizačního stolu. Pracovní stanice je mobilní a lze ji proto použít na jakémkoliv katetrizačním sále a připojit k manipulátoru a angiografu pomocí volně položených kabelů. Optimální instalací je umístění pracovní stanice do ovladovny sálu a spojení s manipulátorem a rentgenovým přístrojem kabeláží skrytou pod podlahou.

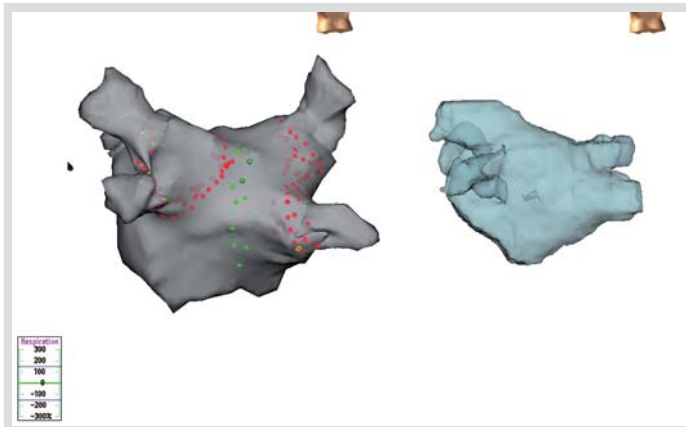
Kompatibilita s trojrozměrnými mapovacími systémy

Elektromechanický systém může pracovat s oběma dostupnými trojrozměrnými mapovacími systémy. Jedním je systém pro elektromagnetické mapování CARTO (Biosense Webster), který používá speciálního katétru vybaveného senzorem, jehož poloha je detekována v prostoru v magnetických polích generovaných pod katetrizačním stolem. Druhým je systém pracující na principu

Obrázek 4. Detail hlavní obrazovky systému Sensei, kde je kromě trojrozměrné mapy levé síně v pohledu šikmo zezadu (vlevo je vidět obkroužené levostranné žíly, zelené body ukazují polohu jícnu za zadní stěnou a vpravo je patrný cirkulární katétr v pravé dolní plicní žíle a hrot ablačního katétru na její horní hraně) zobrazen graf funkce IntelliSense, skiaskopický obraz polohy katétru v srdci v projekci LAO a intrakardiální echokardiogram (zde je konkrétně vidět cirkulární katétr umístěný v pravé dolní plicní žíle a ablační katétr naléhající na horní okraj této žíly). Graf IntelliSense (levá dolní část obrazovky) přináší kontinuální informaci o tlaku hrotu katétru na tkáň. Žlutě je vyznačena hranice 40 g, která byla zvolena jako upozornění na zvyšující se riziko vysokého tlaku katétru



Obrázek 5. Ukázka trojrozměrné mapy levé síně spolu s korespondujícím trojrozměrným obrazem získaným při CT angiografii levé síně a plicních žil (pohled zezadu). Červené body vyznačují ablační léze, které umožnily dosažení elektrické izolace plicních žil. Zelené body vyznačují průběh jícnu za zadní stěnou levé síně



hodnocení změn nitrohrudní impedance (EnSite NavX, v. 7.0 nebo 8.0, St Jude Medical), který dovoluje kromě zhotovení trojrozměrné mapy i zobrazení různých katétru v srdci. Oba systémy umožňují importovat trojrozměrný angiogram levé síně a plicních žil, získaný pomocí CT nebo MR angiografie. Volbou korespondujících bodů na mapě a angiogramu lze dosáhnout fúze obou trojrozměrných obrazů a použití anatomicky věrného angiogramu k navigaci při vlastní katetrizační ablací.

Nicméně pouze systém NavX disponuje novým software, který dovoluje vzájemnou spolupráci mezi oběma technologiemi (CoHesion, St Jude Medical). Tak je zajištěno intuitivní ovládání hrotu katétru v trojrozměrné mapě, jejíž rotaci operátor ovládá pomocí pohybu myši na pultu pracovní stanice (obrázek 5). Znamená to, že posunuje kuličku pákového ovladače podobně jako by držel v ruce hrot katétru a sunul jej intuitivně do žádaného místa. Pomocí tohoto software a za využití údajů z kontinuálního monitorování tlaku katétru na tkáň

(IntelliSense) lze ovládat pohyb katétru v průběhu katetrizační ablace prakticky bez potřeby skioskopie.

Substráty arytmií k radiofrekvenční ablaci

Po prvních zkušenostech s mapováním pravé nebo levé síně bylo systému použito ke katetrizační ablaci supraventrikulárních tachykardií⁽¹³⁾. Opět šlo o první zkušenosti, které měly dokumentovat bezpečnost a proveditelnost výkonu.

Recentně byla publikována data shrnující první zkušenosti z několika center při ablaci fibrilace síní pomocí robotické navigace⁽¹⁴⁾. První generace systému (bez prvků IntelliSense a software CoHesion) byla použita u 40 pacientů o průměrném věku 57 let. Více jak polovina z nich měla kromě toho dokumentovaný flutter síní. K zobrazení mapované dutiny bylo použito buď systému CARTO nebo NavX. Pro ablaci fibrilace síní bylo použito dvojité transseptální punkce, kdy jedna byla provedena pomocí robotického zavaděče. Izolace vestibulů plicních žil byla dosažena u všech 40 nemocných a u 23 pacientů s dokumentovaným flutterem síní byla ještě doplněna ablace kavotrikuspidálního isthmu v pravé síní. Celková doba výkonu dosáhla 160 ± 88 min a samotný čas ablace $89,6 \pm 43$ min. Skioskopický čas činil 64 ± 33 min. U dvou nemocných došlo během výkonu ke vzniku tamponády – jednou v souvislosti s transseptální punkcí a podruhé v průběhu aplikace radiofrekvenčního proudu. Po roce od úspěšné ablace mělo 86 % nemocných sinusový rytmus.

Naše zkušenosti s použitím robotické navigace začaly před více jak 2 roky, kdy jsme se účastnili klinické studie o použitelnosti a bezpečnosti systému. Od října 2007 jsme začali provádět pomocí robotického systému katetrizační ablaci fibrilace síní jako rutinní metodu⁽¹⁵⁾. První zkušenosti s ablací paroxysmální fibrilace síní u 14 pacientů (10 mužů, průměrný věk 54 ± 12 let, skupina 1) byly srovnány nerandomizovaným způsobem s konvenčně provedenou katetrizační ablací u 16 pacientů (13 mužů, průměrný věk 55 ± 9 let, skupina 2). V obou případech bylo použito katétru s proplachovaným hrotem (ThermoCool, Biosense Webster), trojrozměrného mapovacího systému NavX a intrakardiální echokardiografie. Robotická navigace byla spojena se signifikantně kratším časem aplikace radiofrekvenčního proudu (skupina 1 vs 2: 1563 ± 716 vs. 2264 ± 807 s, $p < 0,05$). Celkový čas výkonu byl kratší ve skupině 1 v porovnání se skupinou 2 (208 ± 28 vs. 248 ± 62 min, $p = 0,05$) a podobně skioskopický čas (15 ± 5 vs. 27 ± 9 min, $p < 0,001$). Nebyla zaznamenána žádná komplikace. Během průměrné doby sledování 5 ± 1 měsíců ve skupině 1 a 9 ± 3 měsíců ve skupině 2 bylo bez fibrilace síní 91 % pacientů ve skupině 1 a 81 % nemocných ve skupině 2.

Literatura

1. ACC/AHA/ESC guidelines for the management of patients with supraventricular arrhythmias – executive summary. JACC 2003; 42: 1493–1531.
2. Calkins H, Brugada J, Packer DL, et al. HRS/EHRA/ECAS expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: recommendations for personnel, policy, procedures and follow-up. Europace 2007; 9: 335–379.
3. Ernst S. Robotic approach to catheter ablation. Curr Opin Cardiol 2008; 23: 28–31.
4. Ernst S, Ouyang F, Linder C, et al. Initial experience with remote catheter ablation using a novel magnetic navigation system: magnetic remote catheter ablation. Circulation 2004; 109: 1472–1475.
5. Thornton AS, Janse P, Theuns DA, et al. Magnetic navigation in AV nodal re-entrant tachycardia study: early results of ablation with one- and three-magnet catheters. Europace 2006; 8: 225–230.
6. Ernst S, Hachiyi H, Chun JK, Ouyang F. Remote catheter ablation of parahisian accessory pathways using a novel magnetic navigation system – a report of two cases. J Cardiovasc Electrophysiol 2005; 16: 659–662.
7. Thornton A, Rivero-Ayerza M, Knops P, Jordaens LJ. Magnetic navigation in left-sided AV re-entrant tachycardias: Preliminary results of a retrograde approach. J Cardiovasc Electrophysiol 2007; 18: 467–472.
8. Arya A, Kottkamp H, Piorkowski C, et al. Initial clinical experience with a remote magnetic catheter navigation system for ablation of cavotricuspid isthmus-dependent right atrial flutter. PACE 2008; 31: 597–603.

Tato časná zkušenost naznačila, že izolace vestibulů plicních žil pomocí robotické navigace je účinnou a bezpečnou metodou. Předběžné výsledky naznačují, že popsaná metoda může mít dokonce větší účinnost v odstranění fibrilace síní.

Výhody ablace „na dálku“

Jednou z hlavních výhod je redukce skioskopického času pro lékaře i pacienta. Zkušenosti s magnetickou navigací ukazují, že po zavedení katétru lze provést značnou část vlastního ablačního výkonu bez expozice rentgenovému záření pro operátora. Rovněž dávka pro pacienta není delší než u konvenční metody. U robotického systému lze s novým software pro intuitivní ovládání katétru provést výkon s minimální potřebou skioskopie. Za těchto podmínek není výjimečné dosáhnout při ablaci fibrilace síní celkového skioskopického času okolo 5 minut.

Další výhodou je preciznost při ovládání katétru a jeho stabilita. Tak lze aplikovat ablační léze rychleji a přesněji. Zejména v některých lokalizacích je udržení katétru jednoznačně lepší a výkon může provádět operátor s menší zkušeností. Učební křivka je tak poměrně krátká. Kromě toho je provedení ablace pro operátora mnohem příjemnější a pohodlnější. Je tak omezena jeho únava.

Naše zkušenosti s robotickou navigací dokumentují, že tato technologie umožňuje dosažení trvalého kontaktu hrotu katétru s tkáně v průběhu celého srdečního cyklu. To dovoluje vytvoření transmuralních ablačních lézí v rychlejších časech a s nižší energií radiofrekvenčního proudu. První výsledky naznačují, že takto vytvořené léze mohou být i trvanlivější – tj. nedochází zřejmě tak často k obnovení elektrického vedení vzruchu v odstupu od ablace.

Závěr

Systémy umožňující navigaci ablačního katétru na dálku si našly v poslední době cestu do klinické praxe. Dosavadní zkušenosti naznačují, že existuje celá řada výhod. Zdá se, že umožňují provedení katetrizační ablace standardizovaným způsobem, omezují únavu operátora a celkovou radiační zátěž. Tyto výhody je nyní potřeba prokázat v multicentrických studiích, které budou porovnávat tyto technologie s konvenčně provedenými výkony.

*Podporováno zčásti výzkumným grantem číslo: MZO 00023001
Ministerstva zdravotnictví ČR (Výzkum kardiovaskulárních onemocnění,
diabetes mellitus a transplantací životně důležitých orgánů)*

9. Burkhardt JD, Saliba WJ, Schweikert RA, et al. Remote magnetic navigation to map and ablate left coronary cusp ventricular tachycardia. J Cardiovasc Electrophysiol 2006; 17: 1142–1144.
10. Aryana A, d'Avila A, Heist EK, et al. Remote magnetic navigation to guide endocardial and epicardial catheter mapping of scar-related ventricular tachycardia. Circulation 2007; 115: 1191–1200.
11. Pappone C, Vicedomini G, Manguso F, et al. Robotic magnetic navigation for atrial fibrillation ablation. JACC 2006; 47: 1390–1400.
12. Di Biase L, Fahmy TS, Patel D, et al. Remote magnetic navigation: Human experience in pulmonary vein ablation. JACC 2007; 50: 868–874.
13. Kanagaratnam P, Koa-Wing M, Wallace DT, et al. Experience of robotic catheter ablation in humans using a novel remotely steerable catheter sheath. J Interv Card Electrophysiol 2008; 21: 19–26.
14. Saliba W, Reddy V, Wazni O, et al. Atrial fibrillation ablation using a robotic catheter remote control system: Initial human experience and long-term follow-up results. JACC 2008; 51: 2407–2411.
15. Kautzner J, Mlčochová H, Wichterle D, Čihák R, Tolazová H. Early clinical experience with robotic navigation system for catheter ablation of paroxysmal atrial fibrillation (abstr). Heart Rhythm 2008; 5 (suppl): S167.