Robotizační techniky – nová platforma pro intervenční kardiologii

Petr Neužil, Miloš Táborský

Kardiologické oddělení, Nemocnice Na Homolce, Praha, Česká republika

Neužil P, Táborský M (Kardiologické oddělení, Nemocnice Na Homolce, Praha, Česká republika). **Robotizační techniky – nová platforma pro intervenční kardiologii.** *Cor Vasa 2008;50(1):43–46.*

Nové směry vývoje katetrizačních technik v intervenční kardiologii a srdeční elektrofyziologii úzce souvisejí s dynamickým rozvojem nových zobrazovacích technik a také různých konceptů dálkově navigovaných systémů určených pro katetrizaci srdce tak, aby se katetrizační intervence prováděly přesněji a co možná nejbezpečněji pro nemocné. V neposlední řadě by tyto techniky měly přinést standardizaci a omezit interindividuální variabilitu katetrizačních intervencí. V našem sdělení představujeme revoluční robotizační techniky srdeční katetrizace založené na principu elektromagnetické navigace; dále i robotizační techniku – elektromechanické navigace, které jsou v současné době využívány čím dál tím větším počtem kardiocenter po celém světě. Představují tak zcela nové a vskutku revoluční východisko pro použití invazivních technik v kardiologii.
Klíčová slova: Robotizačně navigovaná katetrizace – Katetrizační ablace – Elektroanatomické mapování srdce

Neužil P, Táborský M (Department of Cardiology, Na Homolce Hospital, Prague, Czech Republic). **Robotized techniques – a new platform for interventional cardiology.** *Cor Vasa 2008;50(1):43–46.*

New directions in the development in catheter-based techniques used in interventional cardiology and cardiac electrophysiology are closely related to the dynamic development of novel imaging techniques and, also, various concepts of remote-navigation systems designed for heart catheterization so as to make catheter-based interventions more accurate and as safe as possible for the patient. Last but not least, these techniques should usher in standardization and reduce inter-individual variability in catheter-based interventions. Our paper introduces revolutionary robotized techniques of heart catheterization based on the principle of electromagnetic navigation as well as one based on electromechanical navigation, both of which are currently being used by increasing numbers of heart centers throughout the world. Hence, they represent a fully novel and indeed revolutionary platform for the use of invasive techniques in cardiology.
Key words: Robotized navigation techniques – Catheter ablation – Electromagnetic mapping of the heart

Adresa: doc. MUDr. Petr Neužil, CSc., FESC, Kardiologické oddělení, Nemocnice Na Homolce, Roentgenova 2, 150 30 Praha 5, Česká republika, e-mail: petr.neuzil@homolka.cz

ÚVOD

Určujícím trendem současného období rozvoje srdeční katetrizace je dynamický vývoj zobrazovacích technik souvisejících zvláště s trojrozměrným zobrazením srdečních oddílů a cévních struktur, které současně umožňují zobrazit v intergrovaném trojrozměrném CT či MR rekonstrukci srdečních oddílů pohyb katetrů v reálném čase. Navíc je možné katetry pro katetrizační ablaci srdečních arytmií a stejně tak vodiče k provádění intravaskulárních intervencí (balonková angioplastika, implantace stentu) zavádět s pomocí dálkově řízených (počítačově ovládaných) systémů. Slouží k tomu především dva systémy: 1. elektromagneticky navigovaná katetrizační jednotka – Niobe (Stereotaxis Inc., St. Louis, USA) a 2. elektromechanicky navigovaná katetrizační jednotka – Senseii (Hansen Medical Inc., Mountain View, USA). Snaha o zavedení robotických systémů není nová, známe ji z chirurgických oborů, kdy koncem devadesátých let minulého století byly zavedeny hned dva systémy určené k provádění robotizačních výkonů (v posledních letech došlo k jejich sloučení – existuje jediný systém Da Vinci I a II, který vyrábí dnes firma Intuitive Surgical Inc. (Sunnyvale, USA). Hlavními iniciátory vývoje robotizačních výkonů v chirurgii byl vojenský a kosmický průmysl USA, kdy zjevná snaha o provedení špičkového chirurgického výkonu „na dálku“, tj. bez přítomnosti špičkového medicínského týmu, vedla k provedení prvních výkonů včetně využití internetu. Svou roli také sehrála, jako investor vývoje, americká NASA (National Aeronautics and Space Administration). Nicméně je nutno poznamenat, že při zavádění robotizačních technik aplikovaných v intervenční kardiologii nehrály vojenské plány prakticky žádnou úlohu a poptávka po vývoji takových systémů skutečně vycházela z potřeby standardizace těchto výkonů, stejně jako snaha o vyšší účinnost při jejich provádění (to platí zejména pro katetrizační ablace a jejich aplikaci v léčbě nemocných s fibrilací síní). Skutečností je, že na sklonku roku 2007 a na začátku roku 2008 Česká republika

představuje vrchol při používání robotizačních postupů nejenom v obecné chirurgii, ale také v oblasti kardiovaskulární chirurgie. Katetrizační intervence v kardiologii, které jsou zastoupeny prováděním jak perkutánních angioplastik s implantací stentu do věnčitých tepen nebo bez implantace stentu do věnčitých tepen, tak i intervenčními výkony v rámci katetrizačních ablací srdečních arytmií, dosáhla výrazného stupně vývoje, takže v roce 2004 byl proveden pomocí elektromagnetické navigace první dálkově řízený výkon v intervenční kardiologii.

ZOBRAZOVACÍ A MAPOVACÍ TECHNIKY

Řadu let dominovala rentgenová skiaskopie a kontrastní angiografie věnčitých tepen jako zlatý standard při vyšetření věnčitých tepen. Stejně tak v intervenční elektrofyziologii jsme neměli řadu let jinou zobrazovací metodu kromě rentgenové skiaskopie a záznamového zařízení intrakardiálních signálů. V rámci provádění stále komplexnějších výkonů v srdeční elektrofyziologii, zvláště při provádění katetrizační ablace, jsme v posledním desetiletí svědky zavádění zobrazovacích a mapovacích systémů, které umožňují trojrozměrné (3D) zobrazení. Největšího rozšíření doznaly především dva systémy: CARTO® firmy Biosense-Webster (Diamond Bar, USA) a NavX® St. Jude Medical (St. Paul, USA). Dalším krokem k „virtuální realitě" bylo zavedení funkční integrace výše uvedených mapovacích systémů se zobrazením 3D a vyšetřením počítačovou tomografií (CT) či magnetickou rezonancí (MR) tak, že je možné zobrazit pohyb katetru v reálném čase v anatomických rozměrech předem připraveného CT či MR skanu (taktéž rekonstruovaného v obraze 3D). Tento trik byl okopírován od stereotaktických neurochirurgů, kteří již několik let před kardiology zaměřovali terapii podle předem zhotovených zobrazení MR. Významnou limitací integrace dvou obrazů při navigaci v intervenční kardiologii je však jak pohyb srdce, tak i pohyb bránice během dýchání. Dýchání totiž vychyluje polohu srdce nejenom ve směru kraniokaudálním, ale také ve směru anteroposteriorním. Samozřejmě, že ideální je pak situace, kdy bude dostupné zobrazení 3D v reálném čase. Tady se jeví jako nejschůdnější využití ultrazvukového intrakardiálního zobrazení nebo také okamžité zobrazení 3D pomocí MR, které by současně sloužilo místo rentgenové skiaskopie jako přímá navigace při provádění srdečních katetrizací. Zobrazení 3D v reálném čase lze vyžít nejenom pro vyšší přesnost v určení srdečních a cévních struktur. Umožní omezení nejčastějších život ohrožující komplikaci katetrizačních výkonů srdce, a to perforaci srdeční stěny při manipulaci s katetry a vodiči, stejně jako během aplikace ablační energie (samozřejmě, že se jedná i o tromboembolické komplikace), kdy nás kvalitní anatomické zobrazení informuje zároveň o poloze okolních struktur.

ROBOTIZAČNÍ TECHNIKY

Výše zmíněná technika dálkově řízené katetrizace je již ve fázi klinických aplikací, popř. elektromagnetického systému Niobe *(obrázek 1)*; v červenci 2003 byla představena jeho první instalace v Evropě (Hamburk)

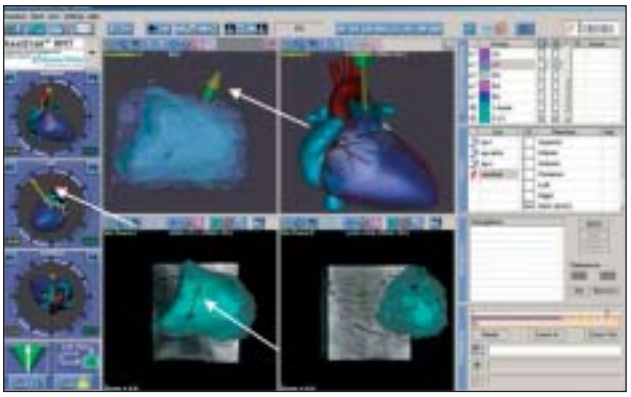
Obr. 1 Pohled na laboratoř vybavenou dvěma magnety pro elektromagnetickou navigaci Niobe integrovanou s ramenem C angiolinky

a v USA (St. Louis). Tento systém je v klinické aplikaci nejdále, další dva systémy reprezentují výlučně elektromechanický pohyb katetrů:

a) systém elektromechanické navigace Sensei-Hansen Medical Inc (Mountain View, USA), určený doposud výhradně k použití u katetrizačních ablací;
b) Remote Navigation System (RNS, NaviCath, Haifa, Israel), který je naproti tomu představitel vývoje v intervenční kardiologii.

Elektromagnetická navigace

Již koncem devadesátých let byl poprvé použit systém Telstar od stejné firmy, který používal k navigaci tří elektromagnetů chlazených tekutým heliem spolu s biplanárním angiografickým přístrojem. Zařízení však již pracovalo s vektorem magnetického pole, jenž určoval směr posunu katetrů a zobrazoval se na obrazovce angiografického systému. Posun katetrů v magnetickém poli je umožněn miniaturními magnety, které jsou umístěny na konci katetru. Katetr v magnetickém poli mění svou polohu a orientaci podle změny výsledného vektoru magnetického pole. Intenzita magnetického pole představovala u tohoto systému 0,15 Tesla. Pozdější verze magnetické navigace Niobe firmy Stereotaxis již využívá k navigaci aplikaci dvou permanentních magnetů, které jsou umístěny protilehle podél hrudníku vyšetřovaného; ty svou koordinovanou rotací umožňují změnu orientace vektoru magnetického pole. Výhodou systému Niobe je měkkost koncové části katetru, je tedy velmi atraumatický, riziko mechanické perforace srdeční stěny při manipulaci s katetrem je prakticky nulové. Zároveň díky magnetickému poli je zaručena vysoká stabilita katetru, a to i během arytmií s vysokou srdeční frekvencí. Systém Niobe využívá 3D elektroanatomické zobrazení CARTO®, včetně integrace obrazu CT/MR, lze využít zobrazovací jednotku NavX®. Operatér tak může pohyb katetru (udávanou směrem výchylky magnetu) ovládat z obrazovky systému Niobe (Navigant®), ale vektory se graficky znázorní i na obrazovce systému CARTO, takže se pro vyšetřujícího stává systém elektromagnetické navigace vysoce flexibilní a nabízí jistou míru „svobody" volby, jak bude jednotku ovládat *(obrázek 2)*. K navádění



Obr. 2 Detail obrazovky Navigantu; bílé šipky zvýrazňují zobrazené vektory na obrazovce Navigantu. Ty jsou posunovatelné počítačovou „myší“ a změna jejich výchylky tak určuje směr pohybu katetrů zavedených v srdečních oddílech vyšetřovaného pacienta

katetrů a vodičů je možné využívat řady podpůrných systémů, které umožní např. použít jakýkoliv bod 3D rekonstrukce elektroanatomické mapy systému CARTO a každý bod pak použít k opětovnému navrácení katetru do požadované oblasti (systém totiž využívá v paměti uložených patřičných vektorů, odpovídajících směřování a poloze katetru v daném místě srdeční stěny). Jak jsme uvedli výše, katetr pro magnetickou navigaci je velmi flexibilní a má měkké zakončení (charakteru vařené špagety), takže jeho pohyb v srdečních dutinách není rizikový z hlediska možné perforace srdeční stěny. Doposud jsou k dispozici katetry se 4mm a 8mm zakončením (distální elektrodou); již koncem roku 2007 byl použit chlazený katetr (katetr proplachovaný fyziologickým roztokem), kterým lze dosáhnout transmurální léze.[1,2] Systém je dnes využíván ve 150 centrech po celém světě především pro potřeby srdeční elektrofyziologie. Systém je ale velmi univerzální, proto se ve zvýšené míře využívá v intervenční kardiologii, kde především sehrává velmi důležitou roli vývoj nových ultratenkých vodičů stejně jako možnost použití u kompletních okluzí. Tam by měl svou roli hrát drátěný vodič s možností aplikace RF energie, která by v součinnosti s možností zobrazení 3D na CT mohla vést k účinné a zvláště bezpečné rekanalizaci uzávěru. Další aplikací systému Niobe je použití při zavádění elektrod pro levokomorovou stimulaci věnčitými žilami. Systém využívá podobně jako při provádění koronárních katetrizačních intervencí možnosti vytváření tzv. „road map“ – tedy cestu složenou z jednotlivých úseků, kdy pro zaváděný vodič měníme úhel a orientaci požadovaného vektoru magnetického pole. Takový pohyb lze programovat automaticky nebo řídit manuálně.

V Nemocnici Na Homolce jsme od poloviny června do konce listopadu 2007 provedli celkem 86 výkonů s podporou systému Niobe (70 katetrizačních mapovacích a ablačních výkonů. U 16 nemocných jsme zaváděli s pomocí navigace elektrodu pro biventrikulární stimulaci).

Elektromechanická navigace

Druhým systémem, který je schválen pro klinické použití jak v Evropě tak v USA, je systém Sensei® firmy Hansen Medical Inc *(obrázek 3)*. V Evropě mu certifikát „CE“ umožňuje provádění katetrizační ablace, v USA ho lze využít pouze k mapování a nikoliv pro vlastní terapeutický výkon. Systém je odvozen od elektromechanického robotizačního systému „da Vinci®“, určeného pro chirurgické robotizační operační výkony. Systém Sensei® se skládá z řídicí konzoly, která ovládá mechanické rameno, ve kterém jsou mechanicky řiditelné dva převlečné zavaděče s nej-

Obr. 3 Pohled na řídicí pracoviště v místě ovládání s obrazovkou Navigantu a obrazovkou elektroanatomického systému CARTO (červená šipka); v detailu je zřejmé, že vektory systému Niobe se zobrazují koordinovaně i na obrazovce systému CARTO a lze určovat pohyb katetru i z jeho obrazovky (bílá šipka ukazuje na zobrazený vektor na obrazovce systému CARTO)

Obr. 4 Celkový pohled na laboratoř obsahující systém elektromechanické navigace Sensei, jež obsahuje řídicí konzoly s „joystickem“ a ovládací rameno systému

větším rozměrem 14 F *(obrázek 4)*. Je umožněn jak pohyb zavaděče vpřed a vzad; vnější zavaděč má možnost pouze anteriorní flexe. Vnitřní zavaděč je možné také nezávisle posunovat vpřed a vzad, navíc má možnost jak flexe tak i rotace ve všech stupních volnosti. Rotace vnitřního zavaděče je umožněna nezávislým tahem čtyř drátěných vodičů, které jsou navíjeny rotorem na cívkách a jsou umístěny v každém kvadrantu zavaděče. Tím je umožněna angulace

Obr. 5 Detailní pohled na ovládací rameno systému Sensei, na kterém je umístěn vlastní zavaděč pro řízení pohybu katetrů

zavadeče o 360°. Externí zavaděč je tažen dvěma drátěnými vodiči, takže umožňuje jednosměrnou flexi a pohyb vpřed a vzad. Veškeré rotační pohyby jsou umožněny „joystickem“, který ovládá pohyb zavaděčů v rozměru 3D. Ve spojení se systémem Sensei® je pro mapování a ablaci možné využívat různé katetry, které běžně používáme. Další výhodou systému je „systém náhrady“ taktilní informace (mechanický kontakt katetru – force control™), informující operátora o síle vyvíjené na srdeční stěnu. Délka zavaděče pro robotizační pohyb katetru doposud není dostačující, aby umožnila pohyb zavaděče v obou srdečních komorách. Samozřejmě, že další vývoj systému i nadále probíhá. Na našem pracovišti jsme provedli celkem 40 katetrizačních ablací, a to jak běžných ablací supraventrikulárních tachykardií, flutteru síní, ale i fibrilace síní. V roce 2007 byla také publikována první práce shrnující zkušenosti se systémem robotické navigace.[3]

Remote Navigation System (RNS, NaviCath, Haifa, Israel) – robotizační systém navigující pohyb katetrů jak dopředný tak i rotační pohyb – ovládá pohyb i ultratenkého vodiče zavádějícího angioplastický katetr „joystickem“ a po malých krocích také dotykovou obrazovkou. Poprvé byl systém RNS použit u 18 nemocných před dvěma lety.[4] U 17 nemocných se podařilo proniknout stenózou, technicky příznivého účinku (dilatace zúženého místa a implantace stentu) bylo dosaženo u 15 nemocných. Přitom u 10 nemocných byla provedena direktní implantace stentu. Čas zavedení stentu ani celkový čas rentgenové skiaskopie se nelišil statisticky významně proti kontrolní skupině (20 nemocných).

ZÁVĚR

Nové zobrazovací techniky, umožňující trojrozměrnou rekonstrukci srdečních oddílů a možnosti dálkově řízené katetrizace, reprezentují novou platformu směru vývoje invazivní kardiologie. Jsme svědky bouřlivého vývoje těchto technologií, které s využitím nových aplikací CT, MR nebo elektroanatomického mapování mohou zásadně ovlivňovat účinnost a zvláště pak bezpečnost prováděných katetrizačních výkonů. Z naší zkušeností lze již dnes vyvozovat, že použití elektromagnetické navigace je zatíženo extrémně krátkou výukovou křivkou, umožňuje operátorovi orientovat se v prakticky reálných rozměrech jednotlivých srdečních oddílů s dosažením lepšího kontaktu s tkání a přispívá k snazšímu ovládání katetrů nebo vodičů tak, že jsou dosažitelné i jinak velmi obtížně dostupné, anatomicky velmi komplexní struktury. Přestože budeme patrně svědky dalšího dramatického rozvoje katetrizačních a zobrazovacích technik, který je také diktován snahou o minimalizaci používání rentgenového záření, třeba i s možností provádění srdečních intervencí pod kontrolou magnetické rezonance, lze tyto systémy již dnes plně využít právě pro výše uvedené výhody – vyšší přesnost, vyšší účinnost a především bezpečnost pro nemocného.

LITERATURA

1. Faddis MN, Blume W, Finney J, et al. Novel, magnetically guided catheter for endocardial mapping and radiofrequency catheter ablation Circulation 2002; 106:2980–5.
2. Pappone C, Vicedomini G, Manguso F, et al. Robotic magnetic navigation for atrial fibrillation ablation. J Am Coll Cardiol 2006;47:1390–400.
3. Reddy VY, Neuzil P, Malchano ZJ, et al. View-Synchronized robotic image-guided therapy for atrial fibrillation ablation experimental validation and clinical feasibility. Circulation 2007;115:2705–14.
4. Beyar R, Gruberg L, Deleanu D, et al. Remote-Control percutaneous coronary interventions; concept, validation and first-in-humans pilot clinical trial. J Am Coll Cardiol 2006;47:296–300.

Došlo do redakce 19. 11. 2007
Přijato k otištění 28. 11. 2007