

Současné možnosti robotické kardiochirurgie

M. Šetina¹, J. Veselka², A. Mokráček³, I. Vaněk¹

¹ Kardiiovaskulární centrum pro dospělé, Kardiochirurgické oddělení FN Motol, Praha, přednosta prof. MUDr. Ivan Vaněk, DrSc.

² Kardiiovaskulární centrum pro dospělé, Kardiologické oddělení FN Motol, Praha, prim. doc. MUDr. Josef Veselka, CSc.

³ Kardiocentrum, Kardiochirurgické oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s., prim. MUDr. Aleš Mokráček, CSc.

Souhrn: *Cíl:* Cílem článku bylo popsat historii, vývoj a současný stav robotické kardiochirurgie. *Úvod:* Robotická chirurgie je zcela nová technologie, která v posledních letech zažívá nebývalý rozmach. Je to proto, že všechny chirurgické obory hledají způsoby, jak rozvíjet minimálně invazivní přístupy a snižovat operační zátěž. *Metodika:* Literární přehled z článků, které se zabývají historií a vývojem robotické chirurgie, s hlavním zaměřením na kardiochirurgii. *Výsledky:* Počet center, která používají robot v klinické praxi, rychle narůstá. Kardiochirurgie po pomalém začátku nyní patří k nejrychleji rostoucímu odvětví robotické technologie. A je již prokázáno, že téměř všechny kardiochirurgické operace lze provést pomocí robota. Většina chirurgických oborů už robota používá. V žádném z oborů ale robotická operativa ještě není schopna pokrýt celé spektrum. V současné době je proto účelné budovat multioborové operační sály, na kterých by robota mohlo využívat více oborů. *Závěr:* I když je robotická chirurgie teprve v počátcích, už teď je zřejmý její veliký potenciál. Teprve další léta ukáží efektivitu, bezpečnost, ekonomickou návratnost a míru přínosu robotické technologie oproti konvenčním metodám.

Klíčová slova: robotická kardiochirurgie – minimálně invazivní chirurgie

Current applications of robotic heart surgery

Summary: *Objective:* The objective of the article is to describe the history, development and current state of robotic heart surgery. *Introduction:* Robotic heart surgery is a new technology which has recorded dramatic growth in recent years. This is because of the effort to develop, in all fields of surgery, new and minimally invasive methods and to reduce surgical stress. *Method:* Overview of the relevant literature dealing with the history and development of robotic surgery, with a focus on heart surgery. *Results:* The number of centres using a robot in clinical practice is growing fast. After a slow start, heart surgery is now the fastest growing field of robotic technology. It has been proven already that almost all heart surgeries can be performed with the use of a robot. Most of surgery fields have already introduced robots in current use. None of them, however, has yet advanced to a 100 % robotic coverage of the whole range of interventions. Therefore it is a good strategy today to build multi-specialised operating theatres with robots that could be used for different fields of surgery. *Conclusion:* Even though robotic surgery is in its beginnings today, its great potential is quite apparent. Only the years to come will show the efficiency, safety, and the cost benefit of robotic technology as compared with traditional methods.

Key words: robotic heart surgery – minimally invasive surgery

Robotická chirurgie zažívá v posledních letech nebývalý rozmach. Je to logické vyústění snahy všech chirurgických oborů o minimalizaci operační zátěže, snížení bolesti, pooperačního diskomfortu a urychlení rekonvalescence. Nezanedbatelnou roli hraje i kosmetický efekt a dřívější návrat do plnohodnotného života.

Za počátek minimálně invazivní chirurgie lze pokládat první laparoskopickou cholecystektomii provedenou v roce 1987. Od té doby si videoasistované výkony našly své pevné místo

v mnoha chirurgických oborech. S rozvojem technologie, chirurgických zkušeností a dovedností počet výkonů stále narůstá [9].

Historie robotické chirurgie začíná v roce 1985, kdy dr. Kwoh provedl neurochirurgickou biopsii pomocí robota zvaného Puma 560 [12]. O 3 roky později byl následován dr. Davisem, který stejným robotem poprvé provedl transuretrální resekci prostaty [5].

V průběhu 80. a 90. let 20. století vývoj robotů podporuje NASA a armáda Spojených států. Experti NASA se spojili s vědci ze Stanford Research

Institute a společně dali základy telemanipulátoru. Cílem bylo dosáhnout možnosti operací „na dálku“ a případně využít robota na válečném poli. Chirurg ovládající řídicí konzoli a výkonná jednotka (ramena robota s chirurgickými nástroji) mohou být od sebe vzdáleni stovky či tisíce kilometrů. Tak by při vojenských operacích mohli být zranění vojáci operováni robotem, který by byl blízko bojů, případně i v pojezdovém operačním sále, snadno a rychle dosažitelný. Chirurg by mohl operovat v bezpečí ve velké vzdálenosti od konfliktu. Tento cíl se podařilo

naplnit v červnu roku 2001. Chirurg řídil robota v New Yorku a prováděl cholecystektomii u pacienta ve Štrasburku [15].

V současné době se komerčně používá několik různých systémů (ARTEMIS, ROBODOC, AESOP, Zeus, Da Vinci). Největší uplatnění v kardiochirurgii zatím nalézá systém Da Vinci (Intuitive Surgical Inc., Mountain View, CA).

První robotický systém použitý v kardiochirurgii byl AESOP, kterým v Lipsku v roce 1998 Falk a Mohr provedli první, roboticky asistovanou, minimálně invazivní rekonstrukci mitrální chlopně [6]. Da Vinci, počítačově řízený robot, byl v kardiochirurgii poprvé použit Carpentierem a krátce nato Mohrem v roce 1998 k plastice mitrální chlopně [3,18]. Ve Spojených státech se začaly provádět výkony na mitrální chlopni pod vedením dr. Chitwooda v roce 2000, poté co US Food and Drug Administration schválila výzkumný protokol [17].

Robotická kardiochirurgie v prvních letech jen zvolna nacházela své uplatnění a mnoho chirurgů nekládalo přílišné naděje do této metody. V posledních letech však zaznamenáváme opětovný zájem o využití robota v kardiochirurgii a v současné době lze s pomocí robota provádět téměř celé spektrum kardiochirurgických výkonů. Používá se v koronární chirurgii [1], k podvazu ductus arteriosus [13], uzávěru defektu septa síní [23], k epikardiální ablací při léčbě fibrilace síní [14], transmyokardiální laserové revaskularizaci [22] i k náhradě aortální chlopně [8]. Robota lze kromě primó-operace využít i k technicky mnohem náročnější reoperaci [16].

Postupy, při kterých se na intervenci věnčitých tepen u jednoho pacienta podílí jak kardiologové, tak chirurgové, mají kardiocentra v repertoáru již po mnoho let [21]. Zatím se taková strategie volila spíše výjimečně a většinou byla vynucená celkovým stavem pacienta či nálezem na věnčitých tepnách. Moderní technologie mohou přispět

k většímu rozšíření tohoto postupu. Robotem se provede minimálně invazivní revaskularizace myokardu (nejčastěji bypass pomocí prsní tepny na ramus interventricularis anterior). Ostatní tepny se intervenují kardiologickým postupem perkutánně – dilatace a stent [2,4,10]. Tento tzv. hybridní přístup si získává popularitu. I v tomto případě ještě zůstává mnoho nevyřešených otázek. Nejlepší technika a taktika se stále hledá a zejména se diskutuje o tom, kterou z intervencí provádět dříve. Jako pravděpodobně nejlepší postup se jeví operace v jednom sezení, při jedné anestezii – pak je ale nutný hybridní operační sál, který umožní jak chirurgický, tak intervenční přístup.

Našívání anastomóz v koronární chirurgii je jemné a delikátní a vyžaduje naprostou přesnost. To činí robotickou koronární chirurgii poměrně obtížnou. I když po určitém zácviu jsou chirurgové schopni anastomózy pomocí robota bezpečně provádět, přesto většinou používají mimotělní oběh a srdeční zástavu. Navíc se obvykle se nepouští do nepřístupných oblastí, ale revaskularizují pouze pření stěnu srdeční – nejčastěji ramus interventricularis anterior či ramus diagonalis. Tento přístup má dvě velké nevýhody. Jednak použití mimotělního oběhu zvyšuje invazivitu operace a jednak to, že je nedostupná boční a spodní stěna srdeční omezuje spektrum pacientů. Proto má zcela zásadní přínos dr. Srivastavy, který zavedl techniku, která umožňuje využití robota k revaskularizaci všech věnčitých tepen bez použití mimotělního oběhu [20]. Tak značně rozšiřuje možnosti robotické koronární chirurgie a významně snižuje invazivitu celého výkonu.

Další oblastí, ve které může robotická technologie významně ovlivnit algoritmus léčby u velkého počtu pacientů, je arytmologie, zejména léčba fibrilace/flutteru síní. V současné době, kromě nejrozšířenější léčby farmakologické, stojí vedle sebe katéetrová ablace a léčba chirurgická. Katéetrová

ablace v levé srdeční síni se stává respektovanou metodou s velmi dobrými výsledky [7]. Dokonce se mezi kardiology objevují názory, že katéetrová léčba se z metody „poslední volby“ posouvá v řadě případů do metody první volby [11]. Léčba chirurgická je pravděpodobně o něco efektivnější, ale bezesporu invazivnější. Mikrovlnná ablace prováděná pomocí robota se mírou invazivity již blíží spíše léčbě katetrizační než konvenční chirurgické. A výsledky jsou jak u intermitentní, tak u chronické fibrilace síní vynikající [14].

Jaké jsou výhody a nevýhody robotické chirurgie?

Výhody:

- zvýšená pohyblivost koncových nástrojů, které mají 7 stupňů volnosti, zatímco endoskopické nástroje mají pouze 4 stupně volnosti,
- možnost operovat i v oblastech, které jsou pro konvenční či videoasistovanou chirurgii technicky obtížně dosažitelné, či zcela nedosažitelné,
- ergonomická pozice chirurga, který sedí se zapřenými lokty a případný fyziologický třes rukou je filtrován pomocí účinného hardwaru i softwaru,
- perfektní 3rozměrné zobrazení s možností až 10násobného zvětšení, vysoké rozlišení a nastolení dokonalé koordinace oko – ruka,
- poměrně krátká výuková křivka. Ovládat robota je poměrně snadné a intuitivní. Pro chirurga je jednodušší naučit se pracovat s robotem, než zvládnout technicky náročnou videoasistovanou torakoskopickou kardiochirurgii,
- možnost operovat z minimálních řezů či pouze přes porty, a zcela tak naplnit pojem minimálně invazivní kardiochirurgie. Pro pacienta to znamená menší morbiditu, urychlené hojení, zkrácení rekonvalescence a rychlejší návrat do normálního života a do zaměstnání,
- nezanedbatelnou výhodou robotické chirurgie je ohromná stimulace nových technologií, které s vlastní robotickou chirurgií souvisejí přímo

i nepřímo. Zdokonalují se počítačové programy, nástroje, ale i nové způsoby provádění anastomóz, vyvíjejí se účinnější biologická lepidla, rozvíjí se techniky mimotělního oběhu a mnoho dalšího. I díky tomu rozvoj této nové technologie nabral v posledních letech tak vysoké obrátky,

- v neposlední řadě i možnost operovat „na dálku“.

Nevýhody:

- robotická kardiochirurgie je nová, dynamicky se rozvíjející technologie se všemi důsledky. Hledají se optimální postupy, které ještě nejsou standardizovány. Současné studie se zabývají hlavně technickými aspekty, jak nejlépe, s vysokým stupněm bezpečnosti a s vynikajícími krátkodobými výsledky, určitý výkon pomocí robota provést. Dlouhodobé výsledky nejsou z pochopitelných důvodů zatím známy,
- celkové operační časy, doba mimotělního oběhu i srdeční zástavy bývají obvykle delší než u konvenčních metod,
- velikost zařízení. Zatím je mnohdy obtížné do standardních sálů celý systém umístit,
- absence taktilních vjemů. Chirurg sice perfektně vidí, co dělá – lépe než při konvenční chirurgii, ale necítí tkáň, a nemá tak zpětnou dotykovou vazbu. Tuto nevýhodu lze tréninkem minimalizovat,
- velikou nevýhodou je cena celého zařízení i nákladů na operaci. I když studie amerických autorů, která analyzovala operační náklady konvenční a robotické kardiochirurgie, staví toto tvrzení do jiného světla [19]. Autoři zjistili, že pokud neberou v potaz počáteční investiční náklady na pořízení robota a amortizaci, tak se vlastní hospitalizační náklady na konvenční a robotickou kardiochirurgickou operaci zásadně neliší. Robotický výkon nese vyšší nároky na spotřební materiál, ale zase je urychlené hojení a kratší doba

hospitalizace. Se zvyšujícími se počty výkonů i negativní význam počáteční investice klesá. Je nutné připomenout, že autoři hodnotili pouze hospitalizační náklady. Nehodnotili jiné potencionální výhody robotické chirurgie, jako jsou rychlejší rekonvalescence, menší náklady na pohospitalizační péči a dřívější návrat do práce. Možná, že taková analýza by ještě více opravňovala investici do této technologie.

Jak jsme se již zmínili výše, téměř všechny kardiochirurgické operace lze provést (a byly i v praxi provedeny) pomocí robota. Přesto ještě nenastal čas k rutinnímu operování pomocí robota, či dokonce k tomu, aby robotická kardiochirurgie zcela vytlačila konvenční techniku. Lze však očekávat, že v příštích letech dojde k nárůstu robotických kardiochirurgických výkonů a že robot bude ubírat stále více prostoru endoskopickým i konvenčním výkonům. Jak rychlý tento proces bude, lze dnes jen těžko odhadnout.

V současnosti je robot využitelný v různých chirurgických oborech, ale v žádném z oborů zatím nemá větší podíl. Proto se jeví výhodnější zřizovat **multioborová centra robotické chirurgie**, v nichž se v používání robota střídá více oborů, a tak se efektivněji využije drahá technologie. Zřízení robotického centra neklade zvláštní nároky na zvýšení počtu pracovníků, je ale nutné zajistit jejich odbornou kvalifikaci.

Lze používat běžný operační sál, důležité je, aby byl dostatečně prostorný a aby v sálovém traktu byly prostory pro „zaparkování“ robota.

Hlavní ekonomické náklady tvoří počáteční investice a cena spotřebního materiálu. Jinak se náklady na operaci zásadním způsobem nezvyšují. Oproti tomu stojí výhody pro pacienta a předpoklad rychlejšího a snadnějšího zvládnutí pooperačního průběhu se všemi důsledky (kratší doba pobytu na JIP, kratší doba hospitalizace, menší

náklady na léčbu, menší morbidita i mortalita).

Závěr

Ve srovnání s klasickou chirurgií je robotická chirurgie zatím jen čerstvě narozené, talentované dítě. Již nyní prokazuje svoji životaschopnost v oblastech, které nejsou ani konvenčními, ani endoskopickými technikami dosažitelné. Potenciál robotické chirurgie je ohromný a rozšiřuje možnosti chirurgických postupů za hranice současných lidských možností. V jaké míře a kdy nahradí či doplní klasické a endoskopické chirurgické postupy lze dnes jen obtížně odhadnout. Zatím je prokázáno, že pomocí robota lze většinu kardiochirurgických operací provést. Čeká nás však ještě hodně práce a mnoho randomizovaných studií, které zhodnotí efektivitu a bezpečnost celé metody. Teprve další výzkum odhalí jeho ekonomickou návratnost a míru přínosu oproti konvenčním metodám.

Literatura

1. Bonatti J, Schachner T, Bernecker O et al. Robotically totally endoscopic coronary bypass: program development and learning curve issues. *J Thorac Surg* 2004; 127: 504–510.
2. Bonatti J, Schachner T, Bonaros N et al. Treatment of double vessel coronary artery disease by totally endoscopic bypass surgery and drug-eluting stent placement in one simultaneous hybrid session. *Heart Surg Forum* 2005; 8: E284–E286.
3. Carpentier A, Loumet D, Aupecle B et al. Computer assisted open heart surgery. First case operated on with success. *C R Acad Sci III* 1998; 321: 437–442.
4. Davidavicius G, Van Praet F, Mansour S et al. Hybrid revascularization strategy. A pilot study on the association of robotically enhanced minimally invasive direct coronary artery bypass surgery and fractional flow reserve-guided percutaneous coronary intervention. *Circulation* 2005; 112(Suppl): I317–I322.
5. Davies B. A review of robotics surgery. *Proc Inst Mech Eng* 2000; 214: 129–140.
6. Falk V, Walther T, Autschbach R et al. Robot-assisted minimally invasive solo

mitral valve operation. J Thorac Cardiovasc Surg 1998; 115: 470–471.

7. Fiala M, Chovančík J, Heinc P et al. Léčba symptomatické intermitentní fibrilace síní katetrovou ablací v levé srdeční síni. Bezprostřední a dlouhodobé výsledky u 150 pacientů. Vnitř Lék 2005; 51: 971–983.

8. Folliguet TA, Vanhuyse F, Konstantinos Z et al. Early experience with robotic aortic valve replacement. Eur J Cardiothorac Surg 2005; 28: 172–173.

9. Jones SB, Jones DB. Surgical aspects and future developments in laparoscopy. Anesthesiol Clin North Am 2001; 19: 107–124.

10. Katz MR, Van Praet F, de Canniere D et al. Integrated coronary revascularization. Percutaneous coronary intervention plus robotic totally endoscopic coronary artery bypass. Circulation 2006; 114(Suppl): I473–I476.

11. Kozák M. Radiofrekvenční ablace v terapii arytmií – editorial. Vnitř Lék 2005; 51: 934–935.

12. Kwok YS, Hou J, Jonckheere EA et al. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. IEEE Trans Biomed Eng 1988; 35: 153–160.

13. Le Bret E, Papadatos S, Folliguet T et al. Interruption of patent ductus arteriosus in children: robotically assisted versus videothoracoscopic surgery. J Thorac Cardiovasc Surg 2002; 123: 973–976.

14. Loulmet DF, Patel NC, Patel NU et al. First robotic endoscopic epicardial isolation of the pulmonary veins with microwave energy in a patient in chronic atrial fibrillation. Ann Thorac Surg 2004; 78: e24–e25.

15. Marescaux J, Leroy J, Rubino F et al. Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. Ann Surg 2002; 235: 487–492.

16. Martens TP, Morgan JA, Hefti MM et al. Adhesiolysis is facilitated by robotic technology in reoperative cardiac surgery. Ann Thorac Surg 2005; 80: 1103–1105.

17. Mehmanesh H, Henze R, Lange R. Totally endoscopic mitral valve repair. J Thorac Cardiovasc Surg 2002; 123: 96–97.

18. Mohr FW, Falk V, Diegeler A et al. Computer-enhanced „robotic“ cardiac surgery: experience in 148 patients. J Thorac Cardiovasc Surg 2001; 121: 842–853.

19. Morgan JA, Thornton BA, Peacock JC et al. Does robotic technology make minimally invasive cardiac surgery too ex-

pensive? A hospital cost analysis of robotic and conventional techniques. J Card Surg 2005; 20: 246–251.

20. Srivastava S. Totally endoscopic CABG on the beating heart. Integrated coronary revascularization workshop, Innsbruck, Austria, 6–8 December 2006.

21. Veselka J, Honěk T, Tesař D et al. Integrovaná koronární revaskularizace. Cor Vasa 1998; 40: 365–367.

22. Wehberg KE, Todd JC, Julian JS et al. Robotic-assisted off-pump sole transmyocardial revascularization: case report. Heart Surg Forum 2004; 7: E130–E131.

23. Wimmer Greinecker G, Dogan S, Aybeck T et al. Totally endoscopic atrial septal defect repair in adults with computer-enhanced telemanipulation. J Thorac Cardiovasc Surg 2003; 126: 465–468.

doc. MUDr. Marek Šetina, CSc.

www.fnmotol.cz

e-mail:marek.setina@fnmotol.cz

Doručeno do redakce: 21. 2. 2007

Přijato po recenzi: 26. 3. 2007

www.currentjournals.cz