

- risk of death from intensive care unit-acquired nosocomial bloodstream infections: a reappraisal. *Clin. Infect. Dis.*, 2006, 42, p. 1118–1126.
11. **Alexander, B. D., Pfaller, M. A.** Contemporary tools for the diagnosis and management of invasive mycoses. *Clin. Infect. Dis.*, 2006, 43, p. S15–S27.
 12. **Ostrosky-Zeichner, L., Pappas, P. G.** Invasive candidiasis in the intensive care unit. *Crit. Care Med.*, 2006, 34, p. 857–863.
 13. **Charles, P. E.** Multifocal *Candida* species colonization as a trigger for early antifungal therapy in critically ill patients: what about other risk factors for fungal infection? *Crit. Care Med.*, 2006, 34, p. 913–914.
 14. **Ostrosky-Zeichner, L.** Prophylaxis and treatment of invasive candidiasis in the intensive care setting. *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis.*, 2004, 23, p. 739–744.
 15. **Sobel, J. D., Rex, J. H.** Invasive candidiasis: turning risk into a practical prevention policy. *Clin. Infect. Dis.*, 2001, 33, p. 187–190.
 16. **Haber, J., Ráčil, Z., Mayer, J. et al.** Léčba invazivní kandidózy – doporučení odborných společností. *Anest. intenziv. Med.*, 2009, 20, č. 1, s. 37–47.
 17. **Pappas, P. G. et al.** Dostupné na: www.idsociety.org/WorkArea/downloadasset.aspx?id=7818
 18. **Puzniak, L., Teutsch S., Powderly W., Polish, L.** Has the epidemiology of nosocomial candidemia changed? *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, 2004, 25, p. 628–633.

Prof. MUDr. Pavel Ševčík, CSc.,

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny
LF Masarykovy univerzity Brno
a Fakultní nemocnice Brno

Robotická medicína, anesteziolog a automatizace anestezie

V posledním desetiletí jsme svědky zásadních změn operačních postupů – rozšiřuje se spektrum endoskopických, méně invazivních operací ve všech tělních dutinách, rozvíjí se robotická asistence u vybraných operací prakticky ve všech oborech a využívá se při operace navigace pomocí nejmodernějších zobrazovacích technologií, včetně NMR [1]. Operační robot byl poprvé použit k neurochirurgické CT navigaci mozkové biopsie (PUMA 560) [2], k asistenci při transuretrální resekci prostaty (PROBOT) [3] a k asistenci při náhradě kyčelního kloubu (ROBODOC) [4]. Rozhodujícím impulsem praktické realizace robotické medicíny byl zájem NASA a Ministerstva obrany USA o rozvoj robotických teleprezenčních technologií, umožňujících chirurgům provádět operace „na dálku“ a řídit ji mimo bitevní pole. Současné integrované robotické systémy – z nejrozšířenějších Zeus [5] a da Vinci [6] – se dnes selektivně uplatňují již ve všech operačních oborech (tab. 1). Roboticky asistované operační systémy zatím neobsahují přímé prvky umělé inteligence, představují ale velmi šikovný a sofistikovaný manipulátor [7], jenž umožňuje ve vybraných oblastech posunout hranici bezpečnosti technické stránky operace a snížit invazivitu výkonů. Eliminuje problém s tremorem rukou, dvojrozměrným plošným zobrazením při endoskopii a ergonomické obtíže při klasické endoskopii – 8 až 12 % operátorů udává bolestivost a zhoršenou hybnost v kloubech rukou, paží a ramen, které ztěžují jejich manévrovací prostor s endoskopickými instrumenty. Podle posledních údajů, prezentovaných 3. 4. 2008 na 1. pražských dnech robotické chirurgie v Praze v Nemocnici Na Homolce [8], operuje po celém světě zhruba 390 robotů, přes 200 z nich vlastní Spojené státy americké. Evropa disponuje více než 100 robotických systémů, přičemž prvenství drží Itálie s 23 roboty, s velkým odstupem ještě Německo (9 robotů) a Francie (7 robotů).

Aplikace robotických operačních technologií staví před anesteziology nové problémy týkající se obecně dlouhých operací, kapnoperitonea a extrémní Trendelenburgovy polohy – ty jsou dnes spojovány mj. s novými riziky, jako je pooperační ztráta zraku (POVL) v důsledku ischemické optické neuropatie (ION), které vyžadují modifikaci anesteziologických postupů k udržení peroperační homeostázy a k prevenci poškození [9,10]. Praktické zkušenosti s robotickou technikou systému da Vinci a vedením anestezie k urologickým roboticky asistovaným laparoskopickým výkonům ukazuje práce Jurenky [7] z pražské Ústřední vojenské nemocnice. Zkrácení operací po získání zkušeností s technikou může zkrátit dobu operace v extrémní Trendelenburgově poloze [11], a přispět tak eliminaci rizika ION.

Pokroky v automatizaci medicíny však nestaví anesteziologa do defenzivní pozice VIP diváka mediálně atraktivních show robotické chirurgie. S automatizací vedení anestezie, nezbytným historickým předstupněm robotizace, se jako anesteziologové budeme v běžné praxi setkávat stále častěji. Proces automatizace je totiž v anesteziologii snazší než v operačních oborech již proto, že anesteziologové při své činnosti nemění integritu lidského těla [12].

Viditelný pokrok je patrný především v monitorování a řízení aplikaci anesteziologik počítačovými systémy. Monitorování při anestezii se již netýká pouze přímo měřených a invazivně získaných ukazatelů tzv. vitálních funkcí (převážně hemodynamických parametrů), ale i ventilačních parametrů – vše získáno méně invazivně, zobrazováno numericky i graficky včetně trendů. Hodnot na monitoru dnes může být až 50 a je úkolem pro IT experty ve spolupráci s anesteziology učinit monitory v praxi přehlednějšími. Nověji se doplňuje třetí kategorie sledovaných údajů – zatím většinou na samostatných monitorech, ale i ty se časem

Tabulka 1. Přehled indikací roboticky asistovaných výkonů podle oborů [1]

Typy operačních oborů	Typy výkonů	Robotické systémy
Chirurgie GIT	pyloroplastika gastrojejunostomie ezofagektomie excise duodenálního polypu ambominoperineální resekce gastrická bandáž	
Neurochirurgie	stereotaktické výkony peroperační cílená radiace	PUMA 560 Minerva Neuromate CyberKnife
Ortopedie	frézování femorální komponenty	ROBODOC ACROBOT
Oftalmologie	mikrostehy	STEADY HAND
Maxilofaciální chirurgie	kraniofaciální osteostomie	RX90
Urologie	TURP PEN pyeloplastiky nefrektomie cystektomie transplantace ledvin	PROBOT Zeus Da Vinci
Kardiochirurgie	chlopenní výkony uzávěry defektů septa miniinvasivní koronární bypassy	Zeus, Da Vinci
Gynekologie	tubální sterilizace, ovariální resekce hysterektomie a myomektomie lymfadenektomie kolpopexie	PROBOT, ROBODOC AESOP, Da Vinci, Zeus
Otorinolaryngologie	onkologické operace hypofaryngu horní část jícnu (Zenkerův divertikl) blokové krční disekce operace štítné žlázy operace baze lební (laterální i přední baze) operace spánkové kosti (mastoidektomie, třmínková chirurgie) chirurgie nosu a vedlejších nosních dutin operace slinných žláz	

integrují do jedné obrazovky. Sledují se parametry charakterizující hloubku anestezie (BISTM), analgezie (ANALGOSCORETM) a svalové relaxace (TOF WATCHTM) [12]. Výzkum směřuje k vytvoření inteligentních alarmových systémů eliminujících mj. 30–76% četnost falešných alarmů a k přijetí celosvětových medicínských monitorovacích standardů. Intuitivní akustický alarm pulzních oximetrů je vzorem.

Možnost distančního monitorování PDA systémy (např. SNAPTM index) [13], které dnes používá přes 40 % lékařů v USA, neznamená ovšem nepřítomnost anesteziologického personálu u anestezovaného pacienta, nicméně sílí ekonomický tlak a personální nedostatek anesteziologů zvláště v USA je motorem pro širší využití anesteziologa jako lékaře v celém perioperačním prostředí. Nese to sebou pochopitelně nové problémy, jako je riziko přetížení lékaře ze současného řešení většího počtu složitých situací při multitaskingu.

Nejsložitějším úkolem v automatizaci anestezie je vyvinutí systému, jenž by automaticky zpětnovazebně

reguloval současně 3 základní komponenty anestezie (vědomí, bolest a svalovou relaxaci). Dřívější ručně řízené dávkovače anestetik (MCI) nahrazují dnes inteligentní, počítačovým programem řízené dávkovače anestetik typu TIVA-TCI, v Evropě používané již přes 10 let a vhodné především k podávání propofolu a remifentanilu. Pracují zatím pouze s farmakokinetickými algoritmy, které nejsou přizpůsobené kombinovanému podání více komponentní anestezie, nepracují s farmakodynamikou a vedou často k příliš mělké nebo hluboké anestezii, a bývá proto nutné upravovat nastavenou cílovou koncentraci v krvi. V budoucnosti bude vhodné používat kombinovanou regulaci systému podle farmakokinetického algoritmu se zpětnovazebnou regulací podle objektivního parametru hloubky anestezie (BIS, SNAP, TOF). Součástí pokroku je automatizace vedení anesteziologického záznamu. Na vedení dokumentace anesteziologové potřebují dnes přes 20 % pracovní doby. Zavedení elektronického záznamu již není otázkou *ano/ne*, ale *kdy a co to bude stát*. Rozhodně umožní anesteziolo-

govi pracovat efektivněji, eliminuje administrativu, jeho práci zpřesní, usnadní fakturaci a doloží správnost jeho postupu nebo naopak jeho indolenci a nejednání.

Již dnes je nejviditelnějším praktickým prvkem postupu automatizace schopnost simulace v anestezii a její využití pro výuku rezidentů. Ve vyspělých zemích se s výukou na simulátorech (SimMan™, SimBaby™, Laerdal Medical) setká v průběhu rezidentury téměř 70–80 % anesteziologů.

A perspektiva robotizace anestezie?

V roce 2008 byl počátkem května v McGillově univerzitním zdravotnickém centru (MUHC) v Montreal General Hospital představen světu v reálném provozu anesteziologický robot McSleepy, pokračovatel série McDreamy (neurochirurg) a McSteamy (plastický chirurg) z americké televizní show Grey's anatomy [14]. McSleepy podal – v rámci nového Integrovaného Monitorování Anestezie (IMA™) s graficko-numerickou obrazovkou – 3,5 hodin trvající stabilní anestezii (v pořadí již sedmou) k parciální nefrektomii se zpětnovazebným zajištěním tří integrovaných monitorovaných funkcí: spánku pomocí EEG analýzy (BIS™), analgezie pomocí ANALGOSCORE™ (skóre -9 až +9 a s cílovou hodnotou -3 až +3) a relaxace fonomyografií™, jež vyvinula společnost Intelligent Technology in Anesthesia (ITAG) [15]. Automatizovaný systém zajišťuje anestezii řízenou aplikací hypnotika, opioidu nebo inhalačního anestetika a relaxancia běžnými injekčními dávkovači řízenými laptopem s nainstalovaným McSleepym. S McSleepym lze komunikovat i mimo operační sál prostřednictvím PDA, takže se anesteziolog může věnovat pacientovi např. na dšpávacím pokoji. Neznamená to ale pochopitelně možnost kontroly průběhu anestezie z místa dovolené na Havaji. Jeho stvořitel dr. Hemmerling předvídá dosažení „dospělosti“ za 5 let, po otestování na 1500–2000 pacientech během příštích 2 let. Zatím je jeho cílem, aby se mu McSleepy vyrovnal ve dnech, kdy sám podává nejlepší výkon.

Vedle automatizace farmakologické stránky anesteziologické činnosti je dosud hlavním nevyřešeným robotickým problémem invazivní zajištění cévních vstupů, zajištění dýchacích cest a nastavení ventilátoru. Nemluvě o regionální anestezii.

Stejně jako musí při robotem asistované operaci zatím chirurg manuálně porty zavést a nástroje ovládat, anesteziolog musí zavést (správně) žilní kanylu, tracheální rourku nebo laryngeální masku a zajistit supervizi, že nedojde k selhání techniky. Robot zatím v tomto směru anesteziologa nenahradí, ale již dnes ultrazvukové sondy účinně asistují při kanylaci centrálního žilního řečiště, anestezii nervových pletení a při tracheostomii. Možnost aktivního robotického zajištění instrumentační stránky anesteziologické činnosti je zatím z dnešního pohledu v nedohlednu. Spíše dříve než později však lze počítat s tlakem armády na vyřešení invazivních kanylací v bojových podmínkách.

High-technologie je úžasná, dokud neselže software – pak bývá zatím často nezbytné „tvrdé“ resetová-

ní programu nebo návrat k záložní starší technice. V prostředí operačního sálu a všudypřítomných mobilů nelze vyloučit ani problémy s interferencí, a proto je zatím nezbytná možnost manuálního přenastavení automatu. Supervize zkušeného anesteziologa, schopného aktuálně upravit průběh anestezie podle situace, zůstane ještě dlouho nenahraditelná.

Na internetovou sázku z roku 2002, publikovanou na webové stránce Arena for Long Accountable Predictions LONG BETS, že *v roce 2030 budou všechny anestezie k operačním výkonům podávány a monitorovány počítačem a že pouze chirurg bude zajišťovat na celém procesem operace včetně anestezie supervizi*, odpovědělo kladně 55 % ze 132 respondentů [15]. Anesteziologie je pro invazi robotiky do medicíny nejvhodnější ze všech oborů a vyžaduje nejméně složitý software. Její postavení a úkoly v budoucnosti na ni kladené budou asi poněkud jiné než dnes. Je zajímavé, že autor sázky Jason I. Altman nepřepokládá, že by robot v té době nahradil chirurga a ponechává mu supervizi nad robotickou anestezii. Již dnes však nemá chirurg o anesteziologické problematice ani tušení. Většina respondentů je ale v komentářích kritická a poukazuje na interindividuální variabilitu a řadu nepředvídatelných komplikací v průběhu operace. Pokud nedojde k zásadnímu farmakologickému objevu v oblasti látek ovlivňujících CNS, je podle názorů zúčastněných ve vyspělých zemích reálnějším horizontem robotické anestezie rok 2100, celosvětově spíše 2500. To již je ale skutečně futurologie. Snad nebude tak zle. Zjistí to však až potomci našich potomků. O tom, jak se postaví legislativci a plátcí péče k odpovědnosti za selhání softwaru, lze jen spekulovat.

Mezitím postupující automatizace anestezie zpřesní monitorování a kontrolu průběhu anestezie, včetně plné automatizace anesteziologického záznamu, a učiní anestezii bezpečnější. Úloha anesteziologa v procesu anestezie bude složitější než pouhá úprava dávky anestetik podle fyziologických parametrů a EEG záznamu. Ačkoliv se prvky autopilotáže ve veřejné dopravě používají již dnes, v běžném provozu většina řidičů parkuje svá auta bez autoasistence, piloti stále sedí v kabině a dohlíží na autopilota a japonští strojvůdci dozorují Shinkansen a mimo špičku jej i stále řídí (aby nevyšli ze cviku). Na závěr pro zajímavost: podle 4. sázky LONG BETS za \$ 2000 budou v roce 2030 komerční lety zajišťovat bezpilotní letadla.

Literatura

1. Dharia, S., Falcone, R. Robotics in reproductive medicine. *Fertility and Sterility*, 2005, 84, p. 1–11.
2. Kwok, Y., Hou, J., Jonckheere, E., Hayati, S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1988, 35, p. 153–160.
3. Davies, B., Hibberd, R., Coptcoat, M., Wickham, J. A surgeon robot prostatectomy – a laboratory evaluation. *J. Med. Technol.*, 1989, 13, p. 273–277.
4. Bauer, A., Borner, M., Lahmer, A. *Clinical experience with*

- a medical robotic system for total hip replacement. In Nolte, L. P., Ganz, R. (eds.) *Computed assisted orthopedic surgery*. Bern: Hogrefe & Huber 1999, p. 128–133.
5. **Satava, R.** Robotic surgery: from past to future—a personal journey. *Surg. Clin. N. Am.*, 2003, 83, p. 1–6.
 6. **Nifong, L., Chu, V., Bailey, B., Maziarz, D., Sorrell, V., Holbert, D. et al.** Robotic mitral valve repair: experience with the da Vinci system. *Ann. Thorac. Surg.*, 2003, 75, p. 438–442.
 7. **Jurenka, B., Lásziková, E., Köhler, O., Langer, D., Balcárek, L., Henlín, T., Netuková, D., Ryska, M.** Robotem asistovaná laparoskopie z pohledu anesteziologa. *Anest. intenziv. Med.*, 2009, 20, č. 1, s. 0.
 8. Dostupné na: http://www.homolka.cz/cz/actions_detail.php?id=267.
 9. **Ozawa, A., Masuda, E., Okamoto, H., Hoka, S., Egawa, S.** Intraocular pressure changes during laparoscopic radical prostatectomy. *Anesthesiology*, 2004, 101, A1271.
 10. **Lee, L. et al.** The ASA postoperative visual loss registry. 2006, 105, p. 652–659.
 11. **Punj, J.** Anesthesia for robot assisted cystectomy: Our initial experience. *The Internet Journal of Anesthesiology*, 2008, 16, 1.
 12. **Hemmerlig, T.** Automated anesthesia. *Advances in anesthesia*, 2007, 25, p. 17–39.
 13. **Wong, C., Fragen, R., Fitzgerald, P., McCarthy, R.** The association between propofol-induced loss of consciousness and the SNAPTM index. *Anesth. Analg.*, 2005, 100, p. 141–148.
 14. **Ubelacker, S.** World First: Completely Automated Anesthesia System Developed. *The Canadian Press*: May 2, 2008.
 15. **Hemmerlin, T., Charabati, S., Dubois, B., Mathieu, P., Bracco, D.** The integrated monitor in anesthesia IMATM: A novel concept displaying the three components of anesthesia and evaluation of 4 different interfaces. *Canad. J. Anesth.*, 2008, 55, p. 478–483.
 16. Dostupné na: <http://www.longbets.org/43>, Arena for accountable predictions LONG BETS.

MUDr. Ivan Herold, CSc.
ARO Klauďánova nemocnice
Mladá Boleslav
e-mail: Ivan.herold@onmb.cz

Vážení lékaři,

pro pohodlnější práci s odbornými materiály je toto periodikum od 1. 11. 2008 zpřístupněno také v digitalizované podobě, a to na adrese www.prolekare.cz.

Ambicí webových stránek Prolekare.cz je rozšířit možnosti tištěného časopisu.

Kromě aktuálních vydání zde proto najdete i digitalizovaný archiv všech čísel časopisu až do roku 2005.

A nejen to. Každý registrovaný návštěvník bude mít k dispozici:

- fulltextové vyhledávání informací v časopise i napříč obory,
- aktivní odkazy na doporučenou literaturu,
- rozšířené informace k původním textům,
- čtenářské komentáře a hodnocení publikovaných textů,
- možnost sdílení vlastních kazuistik,
- velké množství medicínských videí,
- rozhovory s osobnostmi,
- pravidelný Zpravodaj o novinkách,
- návod, jak si zpřístupnit předplacený časopis pro fulltext,
- kromě svého oborového časopisu i další periodika vydávaná Českou lékařskou společností.

Věříme, že Vám digitalizace časopisu usnadní Vaši práci.

Redakce MeDitorial