

· 国外医学动态 ·

美军机器人手术的研究现状及发展趋势

刘 术 蒋铭敏

(军事医学科学院一所,北京 100850)

中图分类号 R61 TP24

文献标识 A

文章编号 1009-6604(2007)06-0567-03

远程医学是通信技术、计算机技术和医学信息相结合而产生的医学科学的一个新的分支,野战远程医疗系统将远程医学应用到战场上,具有重要的军事意义,美军已把它作为当前卫生部队建设的重点之一。机器人手术系统是远程医疗系统的重要组成部分,由于对硬件要求水平很高,目前只有美国掌握该技术,欧洲和日本也在加紧这方面的研究。本文就美军机器人手术系统的研究现状及发展趋势作一综述,相信对我国从事微创外科医师有一定帮助。

1 商业机器人手术系统

商业化的手术机器人最早出现在 1994 年,由美国 Computer Motion 公司研制,实质上是一种声控腹腔镜自动“扶镜手”,命名为 AESOP(Automated Endoscope System for Optimal Positioning)^[1]。1998 年,两种更加完善的机器人手术系统获得美国食品和药品管理局(Food and Drug Administration, FDA)的批准用于临床,即 Computer Motion 公司研制的 Zeus 系统和 Intuitive Surgical 公司研制的 da Vinci 系统。此后,又有 endoVia 公司研制的 Laprotek 机器人手术系统获得了成功。

虽然这三种系统各不相同,但均由三大部分组成:医生操纵台、机械手和内镜装置。从结构设计上看, Zeus 系统和 Laprotek 系统均采用小型化、模块化设计。如 Zeus 系统直接采用 AESOP 装置作为内镜控制模块,另外还设有 2~3 个独立的机械手,这些机械手固定在手术台两侧,可进行 5 个自由度的手术操作。整个系统占用面积小,质量约 17 kg,便于携行。Zeus 系统采用纯信号方式实现医生操纵台对机器臂的控制,在传输距离上不受视频延迟的影响,可实现远距离控制,理论上可实现真正意义上的“远程手术”。但该系统也存在不足之处,即其机械臂各自独立工作,无法进行三维图像的系统整合^[2,3]。Laprotek 系统与 Zeus 系统比较类似,但其价格仅为其 1/4 左右。与上述两种系统不同, da Vinci 系统采用非模块化设计,内镜和机械手均通过一个底座固定在地面上,占用面积大,质量达 540 kg

万方数据

左右,系统的展开与调试也比较复杂。da Vinci 系统有 3~4 个机械臂,由一台电脑统一控制,可进行 6 个自由度的手术操作,构成一套高度整合的系统,每个机械臂均可以实时了解自身在三维空间中所处的位置,这是该系统最大的优势所在。该系统的不足之处在于采用主从结构实现医生操纵台对机器臂的控制,使控制距离受到了限制^[2,4]。

2 美军机器人手术系统的研究现状

美国国防部下属的国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)和美国国家航空和航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)长期资助机器人手术和远程外科计划^[5]。从军事医学的角度来看,机器人手术技术最大的应用前景是为处在不利环境中的军事人员提供医疗援救服务,如战场、核/化/生危险环境、外太空等。在和平时期,作为一项军事医学技术,机器人手术系统可用于加强医生培训、提高手术的安全性、实现远程会诊和医疗等。

2.1 早期国防部资助的手术机器人研究项目^[6,7]

2.1.1 格林远程外科系统(Green Telepresence Surgery System) 由 DARPA 研制开发,于 1994 年制成原型机,用于远程外科战伤救治的概念验证。为适应军事部署的需要,美军将其机械臂部分安装在一部“布拉德利”装甲车上,改装后的装甲车称为“前线医疗手术队”(Medical Forward Area Surgical Team, MedFAST),而医生控制台部分则安装在一所移动外科医院(Mobile Advanced Surgical Hospital, MASH)中,术者可以在 10~35 km 距离之间控制位于前线的手术机器人。

2.1.2 远程外科系统(Telepresence Surgery System, TESS) 在格林远程外科系统的基础上,美国斯坦福研究院(Stanford Research Institute International, SRI)曾于 1997 年向美军医科大学(Uniformed Services University of Health Sciences, USUHS)提供一套 TESS 原型机,该系统的手术操作部分可完成 6

个自由度的操作,由外科医生在远程工作站进行控制,整合三维成像、触觉反馈和宽带远距离控制功能。

2.1.3 高灵敏度外科手(Enhanced-Dexterity Surgical Hand) 由 Daum 公司开发的三指抓持装置,称为“DaumHand”,由一种独特的数字传感手套(DaumGlove)操控,该装置仅用于概念验证,未进行动物或人体研究。

2.1.4 微型腹腔镜抓取器(Miniature Laparoscopic Gripper) 美国 Brock Rogers Surgical 公司研制的一种用于精细操作的微型机械手,作为 DaumHand 的补充,其精度更高,但力量较小,该装置通过微传感器实现触觉反馈功能。

2.2 近年来美军参与的手术机器人研究项目^[6]

2.2.1 Zeus 系统和 da Vinci 系统 这两套系统最初均源自 DARPA 的研究项目,除用于美军的研究项目以外,还成功实现了商业化转型用于临床。获得欧盟的 CE 认证和美国 FDA 批准以来,这两种机器人手术系统在心胸外科、泌尿外科和普通外科等领域进行了较多临床应用并得到进一步改进,其中 Zeus 系统于 2001 年 9 月首次成功实现了跨大西洋(美国纽约-法国斯特拉斯堡)的机器人腹腔镜胆囊切除术^[8]。在心胸外科,机器人手术系统能更好地克服传统的微创外科手术的术者手部抖动、硬质器械不便操作、胸腔内显露受限等限制,已成功应用于冠状动脉旁路移植、瓣膜置换、交感神经切断等手术^[9]。在泌尿外科,由于盆腔的解剖结构所限,只有少数有经验的医生能够完成内镜下前列腺根治切除手术,而在机器人辅助下,可开展常规腹腔镜前列腺癌根治术^[10]。在腹部外科,机器人手术系统已成功应用于几乎所有的腹腔脏器的手术治疗,尤其是那些显露要求高的手术或缝合量大的复杂重建手术^[11]。当然,普外科医生对机器人手术的态度并不像心胸外科和泌尿外科那样积极,这可能是因为腹腔镜技术在普外科的应用较成功的原因。

2.2.2 远程显微外科系统(Telepresence Microsurgery System) 由 SRI 和 USUHS 联合研制,用来加强 TESS 的功能。与 TESS 相比,该系统大大改善了显微外科精细操作能力,对精密马达进行了特殊优化,并能最大限度地减少术者手部的抖动和疲劳。术者可以使用常规尺寸的器械进行诸如小血管吻合、神经重建、显微切除、眼部损伤修复等显微手术。

2.2.3 自动化经皮穿刺系统(Automated System for Percutaneous Needle Insertion) 美国约翰霍普金斯大学开发了一种可以将穿刺针精确地放置于三维坐标系中任一点的机器人装置,并成功用于透视下经皮肾脏穿刺(Percutaneous Access of the Kidney, PAKY)。该系统已得到美国国防部进一步资助,将

可以用于透视、CT、MRI、超声波定位下的各种类型的经皮穿刺操作。

2.2.4 未来手术室项目(Operating Room of the Future Portfolio) 目前开展的有周视镜脊柱外科(Periscopic Spine Surgery)和“佩内洛普”机器人器械护士(“Penelope”Robotic Scrub Nurse)等项目。周视镜脊柱外科是一种完全依靠影像引导的微创脊柱外科手术,需要开发一系列与之相配套的软硬件设备。“佩内洛普”机器人器械护士项目是由 Computer Motion 参与的一项研究,其目的是制造一种机器人器械护士,能够完全替代手术室人工护士,目前该项目已进入商业化阶段。

2.2.5 微创手术机器人系统远程外科(Telesurgery Using a Minimally Invasive Surgical Robotics System)

本研究项目是采用 da Vinci 系统在美国华尔特里德陆军医学中心和约翰霍普金斯医院之间开展的远程手术研究,两地相距约 64 km。研究分 4 步进行:①在无生命模型上进行远程指导(telementoring)和远程操作(telemanipulation)的概念验证;②在猪模型上进行远程外科手术;③在病人身上进行远程指导(非远程操作);④在病人身上进行远程手术。研究首先需要在两地之间建立远程通信连接。所谓远程指导,就是指导医生在远距离实时观看手术过程,并对术者给予语言指导和手术画面提示,在此基础上,再进行手术操作的动物实验和临床测试。本研究的最终目标是验证 da Vinci 系统进行远程外科的有效性,该技术具有重要的军事意义。

3 美军机器人手术系统的发展趋势

机器人手术系统确切地说是机器人辅助手术,其设计理念在于:机器人可消除手部的抖动,减少术者的疲劳并增加精细操作的能力,使病人得到更加安全的医疗服务,减少外科手术所需的人力投入;可以开展全球范围的手术,不受地理位置和距离的限制;可以在全球范围内开展军事人员的外科救治,这种救治可在伤后的“黄金救治时间”(Golden Hour)内完成,减少外科手术的时间和成本。但是,经过十余年的发展,这些理想功能尚未能完全实现,即使在美国国内,对该研究持怀疑观点的人也不在少数,问题主要在于高成本、功能有限、需要额外人员参与、手术时间长、外形结构因素等等^[12]。目前,机器人手术技术正处在自身发展的瓶颈时期,一旦获得突破,其效用和功能将得到极大的提升。

美国陆军医学研究与物资部(U. S. Army Medical Research and Materiel Command, USAMRMC)所属的远程医学与高技术研究中心(Telemedicine & Advanced Technology Research Center, TATRC)于 2004 年 9 月组织了一次综合研究专家组会议,专门研究了手术机器人下一步的发

展规划与方向。会议从四个方面讨论了机器人手术系统今后的发展规划,即手术机器人的结构与功能、机器人技术与外科手术的整合、计算机技术与外科手术的整合、利用手术机器人进行模拟和仿真操作^[13]。从这次会议的报告内容上看,在结构与功能方面,未来的手术机器人系统应采用统一的结构框架,通过模块化设计实现各种外科手术功能,应可以耐受磁共振环境,并易于清洁和消毒,机械臂应易于拆卸,整个系统应小型化,易于携带,终端器械应多功能化,避免术中频繁更换,器械更换应全自动完成,终端器械应内置感觉功能,可感受不同的组织和器械的力度,还应具备诊断功能,如确定肿瘤边缘;控制端应进行人体工程优化,实现精确的触觉反馈、动作缩放、消除震颤;系统应整合术中影像功能,影像应立体化、无视差,使终端器械可在术野中准确定位、避免碰撞,并可自动完成一些重复性操作(如缝合)。在计算机技术与外科手术的整合方面,确定了三项重点,即手术信息管理、手术协助与自动进行、系统构架设计。手术信息管理的目标是让计算机完整记录所有与操作相关的信息,包括诊断、治疗方案、手术进程、术后情况等,而不是零散的电子记录,医务人员可以实时获取信息帮助决策。手术协助与自动进行的最终目标是将复杂的信息、超人的感觉运动能力和人的判断结合起来,使机器人系统可以为手术任务的每一步骤提供精确的协助。系统应能够交互式地调整治疗计划、模拟操作结果,并至少能进行半自动操作。系统构架设计要求将多种计算机系统无缝、便捷地与手术室整合,整合后应实现模块的即插即用、自动验证、备份、安全检查和与医疗子系统的协同工作。系统构架应以分布式计算机网络为基础,并能够与全球手术信息网络整合。

会议认为,下一阶段机器人手术系统将从以下七个方面进一步得到完善^[13]:①增加“人造视野”(synthetic vision)系统,通过这一系统计算机可在手术过程中监视术野,辅助术者做出判断,增加手术的安全性;②增加软件用来处理触觉和视觉图像的整合、分割和合成,图像和设备的工作记录,传感器的输入/输出控制,以及手术的自动操作;③开发智能化的安全与决策系统,以保证病人的安全,其系统结构研究应针对控制界面协议的定义与论证;④手术系统应能够保证在网络时间延迟的情况下提供稳定的触觉控制,能够进行模拟与分割控制,能够很好地识别不同的人体组织,能够进行关键解剖结构的图像识别和图像分割;⑤进一步明确术者所需的信息,包括触觉反馈和位置觉;⑥实现数据库的共享,用于外科训练、人工触觉研发、以及自动完成某些重复性操作(如缝合)和某些需要精确入路的手术(如脑深部手术和心脏手术);⑦控制网络将扩展至机器人系统之间,机器人与手术室设备之间,以及各种临床万方数据

和影像信息系统之间,开发基于计算机的手术任务描述方法,利用人工智能进行一项手术任务的自动、顺序分割。

机器人辅助手术技术在野战外科领域有重要意义,美军将其视为为远距离军事人员提供高质量医疗服务的重要手段,这与美军一直以来强调全球化军事存在、追求将阵亡率降至最低的目标相一致^[14]。通过这项技术,诸如神经外科、骨科的专科医生可以在最短的时间里参与战伤外科救治,前线的军医也可以通过这项技术进行救治演练,专科医生无须部署到现场,即可以开展多地点、多病例的复杂手术,而传统上这种救治只有当伤员后撤至第三级医疗保障机构后才能完成。从长远发展角度来看,将产生集伤员营救和在后撤过程中进行医疗救治为一体的真正的医疗机器人系统,美军正在进行这方面的概念验证^[15]。

参考文献

- 1 Unger S, Unger H, Bass R. AESOP robotic arm. Surg Endosc, 1994, 8: 1131.
- 2 Marohn M, Hanly E. Twenty-first century surgery using twenty-first century technology: Surgical robotics. Curr Surg, 2004, 61: 466 - 473.
- 3 Marescaux J, Rubino F. The ZEUS robotic system: experimental and clinical applications. Surg Clin N Am, 2003, 83: 1305 - 1315.
- 4 Ballantyne G, Moll F. The daVinci telerobotic surgical system: the virtual operative field and telepresence surgery. Surg Clin N Am, 2003, 83: 1293 - 1304.
- 5 Elliott S. Surgical robotics. Military Med Technol, 2003, 7: 10 - 13.
- 6 Gilbert G, Turner T, Marchessault R. Army Medical Robotics Research. Telemedicine & Advanced Technology Research Center, 2004. <http://www.tatrc.org/>
- 7 Satava R. Robotic surgery: from past to future - a personal journey. Surg Clin N Am, 2003, 83: 1491 - 1500.
- 8 Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. Nature, 2001, 413: 379 - 380.
- 9 Ballantyne G. Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence, and telementoring. Surg Endosc, 2002, 16: 1389 - 1402.
- 10 Kim H, Schulam P. The PAKY, HERMES, AESOP, ZEUS, and daVinci robotic systems. Urol Clin N Am, 2004, 31: 659 - 669.
- 11 Hanly E, Talamini M. Robotic abdominal surgery. Am J Surg, 2004, 188: 19S - 26S.
- 12 Camarillo D, Krummel T, Salisbury J. Robotic technology in surgery: past, present and future. Am J Surg, 2004, 188: 2S - 15S.
- 13 Curley K, Broderick T, Marchessault R, et al. Integrated Research Team final report: surgical robotics - the next steps. Telemedicine & Advanced Technology Research Center, 2005. <http://www.tatrc.org/>
- 14 Curley K, Moses G. Innovation by committee? Reigniting surgical robotics research and development. Surgical Innovation, 2005, 12: 291 - 295.
- 15 Osborn J, Rocca M. Conceptual study of LSTAT integration to robotics and other advanced medical technologies. U. S. Army Medical Research and Materiel Command, 2004. <http://mrmc-www.army.mil/>

(收稿日期 2006 - 10 - 08)

(修回日期 2006 - 12 - 15)

(责任编辑 王惠群)