

达芬奇机器人在肺癌根治术中的应用现状及展望

王述民
(沈阳军区总医院, 辽宁 沈阳 110016)



王述民, 沈阳军区总医院胸外科暨沈阳军区胸腔镜微创外科中心 主任, 医学博士, 硕士研究生导师。擅长应用电视胸腔镜(VATS)实施微创手术治疗多种胸部疾病, 尤其是完全电视胸腔镜下肺癌肺叶切除、淋巴结清除术等电视胸腔镜技术。2011年3月始, 应用达芬奇机器人外科手术系统实施普胸外科疾病手术, 目前已完成包括肺癌根治、肺部良性病变切除、纵隔肿瘤或囊肿切除等多种胸外科手术 300 余例。2013 年度完成机器人胸外科手术 136 台次, 被美国 Intuitive surgical 公司评为年度“亚洲胸外科机器人第一人”。

目前担任中国医师协会胸外科医师分会常委、中华医学会达芬奇机器人手术组委员、中国人民解放军胸心血管外科学会胸外科分会常委、辽宁省医学会胸外科分会第六届委员会副主任委员、辽宁省抗癌协会肺癌专业委员会副主任委员、辽宁省抗癌协会食管癌专业委员会副主任委员、沈阳市医师协会胸外科分会副主任委员等。发表国家级核心期刊文章 30 余篇, 获得军队医疗成果二等奖 1 项。

摘要:作为 20 世纪最伟大的发明之一的机器人技术, 在医学领域的代表为达芬奇机器人手术系统, 该系统代表了精确微创外科技术的实现及发展方向。全文从达芬奇机器人手术系统的组成、国内外拥有情况及外科手术应用情况、该系统在普胸外科的应用情况加以阐述, 并详细系统地介绍了达芬奇机器人与电视胸腔镜技术、3-D 电视胸腔镜技术相比较的优劣势, 并对沈阳军区总医院应用达芬奇机器人手术系统在肺癌根治术中的应用现状进行了详细描述, 对达芬奇机器人手术系统的未来发展方向等方面进行了较详细、系统地综述及展望。

关键词:肺癌; 达芬奇, 机器人; 微创; 外科手术

中图分类号: R734.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-0242(2014)09-0736-07

doi: 10.11735/j.issn.1004-0242.2014.09.A007

The Present Status and Future of Da Vinci Surgical System for Radical Surgery in Pulmonary Carcinoma

WANG Shu-min

(General Hospital of Shenyang Military Region, Shenyang 110016, China)

Abstract: Robot technology is one of the greatest inventions of the 20th century, and the representative in the field of medical is Da Vinci surgery robot system, which represents the realization and the development direction of the precise minimally invasive surgical techniques. This article expatiates the composition of Da Vinci surgical robot system, the conditions of encompass at home and abroad and surgical applications, the application in general thoracic surgery. The advantages and disadvantages of Da Vinci robot compared with video-assisted thoracoscope and 3-D video-assisted thoracoscopy. It has carried on the detailed description of the present state of the radical surgery for the pulmonary carcinoma by Da Vinci Surgical System at General Hospital of Shenyang Military Region. The future development of Da Vinci surgical system is reviewed this paper.

Key words: pulmonary carcinoma; Da Vinci, robotics; minimally invasive; surgery

收稿日期: 2014-04-25

通讯作者: 王述民, E-mail: sureman2003congo@163.com

作为 20 世纪人类最伟大发明之一的机器人技术,自 60 年代初问世以来已取得长足进步,利用机器人进行宇宙探测、海洋开发、机械加工制造等已不在话下。随着科学技术的不断进步,利用机器人实施外科手术的设想因 2000 年达芬奇机器人手术系统的出现而变为现实,使其成为精确微创技术的代表。

达芬奇机器人手术系统主要由医生操作系统、达芬奇 SHD 床旁机械臂系统和成像系统三部分组成。

医生操作系统 达芬奇 SHD 床旁机械臂系统 成像系统



1 从外科手术的发展历程看达芬奇机器人手术系统的优势

1.1 外科手术的发展历程

18 世纪 80 年代,医学先驱 Billroth 打开了患者的腹腔,完成了人类历史上首例外科手术,从而挽救了无数患者的生命,解除了数以亿计患者的病痛,这种创伤大的传统外科手术称之为第一代外科手术^[1]。

20 世纪 80 年代,腹腔镜胆囊切除术的开展,代表着微创外科的时代正式开始,其不但可以达到传统手术的结果,而且还具备一些常规开腹及开胸外科手术所不能及的优点:伤口小且美观、术中出血较少、患者术后疼痛轻、恢复快、住院时间短等。微创手术被公认为第二代外科手术^[1-3],目前临床已被广泛应用。但在临床应用过程中,人们又发现了腔镜手术的一些局限性:其手术视野为二维平面像,没有深度感觉,从而降低了术者操作的手眼协调性及手术的安全性;由于 Troca 孔的杠杆作用,对抗直觉的反向器械操作,术者需较长时间的学习,方能熟练操作;手术器械尖端的触觉反馈减弱或消失;手术使用的器械无活动关节,术中使用受限,无法克服人手部的自然震颤,使得完成精细分离、缝合、吻合等操作难度增大等,这些因素均限制了腔镜技术向更复杂外科手术的拓展,也成为当前腔镜技术发展中的“瓶颈”^[1,4]。

21 世纪的外科必将是精确微创外科时代,其发展方向应是应用精确微创技术治疗的同时,尽量保留患者的生理结构和功能。为了克服腔镜技术的不足,人们在经历了简单的持镜机器人、早期的手术操作机器人后,充分结合了美国航天航空局和众多研

究机构开发了具有当今最具先进技术的达芬奇机器人手术系统,该手术系统于 2000 年被美国 FDA 批准应用于临床^[5],以其独特优势所完成的手术被称为第三代外科手术^[1,2],亦称为精确微创手术。

1.2 达芬奇机器人手术系统所具有的优势

达芬奇机器人手术系统具有四个机械手臂,其中两个是像手术中医生的手一样进行操作的“左臂”和“右臂”,第三个操纵臂相当于助手的操纵臂,起到牵引和稳定作用,第四个操纵臂是内窥镜臂,可以提供术中的手术视野,其具有电视胸腔镜所不具有的主要技术优势^[6-12]。

1.2.1 突破人眼局限的 3D 放大高清成像系统

达芬奇机器人镜头可以提供一个真实的 16:9 比例的全景三维、高分辨率、放大 10~15 倍的高清晰立体图像;无需助手扶持镜臂,而是根据术者意愿随意调节镜头的方向,保持提供清晰、稳定的三维立体图像,可以有效地克服胸腔镜手术中操作易疲劳、助手和术者协调不一致的弊端;使得术者犹如开放手术般的定位、操作感觉,便于外科医师清晰精确地进行组织定位和器械操作;手术时只有主刀一人自行控制手术系统,手术配合的要求低。

1.2.2 具有可突破人手局限的可转腕器械

人手活动范围只具有 5 个自由度,而机器人手术器械的关节活动具有 7 个自由度,可完全模仿人的手腕动作,且其活动范围甚至远大于人手,使其活动更加灵活;整套机器人手术系统由电脑控制,每秒同步 1300 次,同时设计了很多提示,使得手术更加安全、精细、可靠;由于手术器械比较精细,且具有把握、切割、缝合等各项操作功能,使得其在狭窄解剖区

域中的操作具有比人手更加灵活、方便、安全的优势。

1.2.3 具有可滤除人手自然颤动的功能

该功能可以有效地保证手术安全,尤其是在临近心脏、大血管及神经等重要结构操作时更加安全,同时也可以有效地延长外科医生的手术生涯。

1.2.4 恢复了术者合适的眼手协调性

此特征有效地提高了手术操作的精确性、稳定性和轻柔性,三维与二维的视觉差距主要在更精细操作的空间定位上,而视觉上的这一突破将会提高术者对手术操作的自信与掌控力。这对于高精度的手术,如心脏和脑部手术以及长时间的复杂手术尤其重要。

1.2.5 达芬奇机器人计算机系统的特殊缩比功能

该功能可成比例(5:1或3:1)的缩减主刀外科医生的动作幅度,提高了外科操作的精确性及手术的安全性。

1.2.6 达芬奇机器人手术系统与传统手术及内镜手术综合比较

进行达芬奇机器人手术时,术者无需洗手、上台,只需在医生操控系统处操作即可,而且操作时是坐在舒适的椅子上、采取坐姿进行手术操作,降低了术者的疲劳,减少了手术医生因疲劳而犯错误的概率,保证了手术的安全性,尤其是有利于进行长时间复杂的手术。达芬奇机器人手术系统与传统手术及内镜手术相比较见附录1。

2 机器人手术系统在普胸外科及肺癌外科治疗中的应用现状

2.1 达芬奇机器人手术系统的全球拥有情况

截止至2013年9月30日,全球已售出达芬奇机器人手术系统2871台,其中美国2042台,欧洲455台,亚洲261台,其余地区113台。亚洲韩国39台,日本138台,印度23台,中国大陆17台,香港8台,台湾18台,新加坡8台,马来西亚3台,泰国6台,菲律宾1台,印度尼西亚1台。中国大陆自2006年中国人民解放军总医院首先引入达芬奇机器人手术系统,至2013年6月底共拥有17台,其中北京中国人民解放军总医院4台,北京地坛医院、北京中国人民解放军第二炮兵总医院、上海交通大学医学院附属瑞金医院、上海交通大学附属胸科医院、复旦大学附属华东医院、复旦大学附属中山医院、南京军区南京总医院、第三军医大学附属西南医院、沈阳军区总医院、上海长海医院、北京协和医院、济南军区总医院、第四军医大学附属西京医院各1台。沈阳军区总医院为东北地区目前唯一一家拥有达芬奇机器人手术系统的单位。

2012年全球共应用达芬奇机器人手术系统完成手术约45万台次,比2011年增长超过25%。国内自2006年至2013年12月共完成达芬奇机器人手术6535台次,其中2013年1月至12月完成手术

附录1 机器人手术系统与传统手术和内镜手术比较

比较项目	传统手术	内镜手术	机器人手术
手眼协调	自然的手眼协调	图像和操作器械不在同一方向	图像和操控器械在同一方向,符合自然的手眼协调
手术操作控制	术者直接控制手术视野,解剖结构和狭窄的空间内在直视下很难做到精细、全面观察	术者必须和控制胸腔镜的助手默契配合,方能完成手术操作	主刀医生一人即可完成调整镜头及所需视野而完成手术操作,操作灵活
成像情况	直视所见,为三维立体图像	术野结构可被放大3~5倍,为二维平面图像,无立体感,易失真	术野结构可被放大10~15倍,为直视下三维立体、高清晰图像
灵活度	具有人手的5个自由度,但有时手术器械达不到理想的精确度	腔镜专用器械无关节,仅具有4个自由度	ENDO WRIST 仿真手腕机器人专用器械具有比人手腕更灵活的7个自由度
操作精确程度	用人手和手腕控制手术器械比较直观,但精确度较差	用人手和手腕控制腔镜专用器械精确度一般	由机械臂控制手术器械,精确、直观、灵活
稳定性	人手存在自然颤抖情况,稳定性一般	人手存在自然颤抖情况,且颤抖会被放大,稳定性差	机器人可有效滤除人手自然颤抖,稳定性好
创伤度	伤口较大,术后疼痛重、恢复慢	微创、术后疼痛轻、恢复快	微创、术后疼痛轻、恢复快
术者手术姿势及舒适度	医生需站立完成手术,较辛苦	医生需站立完成操作,特辛苦	医生采取坐姿操控手术系统完成手术,舒适

2984 台次。由此可见,达芬奇机器人的发展及应用速度之快,让人刮目。

2.2 达芬奇机器人手术系统在普胸外科的开展情况

达芬奇机器人手术系统于 1999 年开始推出,2000 年 7 月 FDA 批准该系统可以在腹腔镜手术中使用,达芬奇机器人手术系统就成为了美国第一个允许在临床环境中合法使用的商品化的完整的机器人手术系统。其后,其应用范围逐渐扩展到妇产科、泌尿外科、普外科、心外科、胸外科等专科^[6-8,13]。而胸外科应用该系统手术于 2001 年 3 月 5 日方被美国 FDA 批准使用,开展时间相对较晚。目前在国际上,只有美国、意大利、日本等少数几个国家允许应用达芬奇机器人手术系统实施普胸外科手术。在国内,2006 年首先由北京中国人民解放军总医院引入该手术系统,并且主要由高长青教授将其应用于心外科手术,主要应用于心外科、泌尿外科、普外科、肝胆外科手术及胸外科。

自 2006 年至 2013 年 12 月底,国内普胸外科应用达芬奇机器人手术系统可以完成的手术术式包括:前、后纵隔肿瘤切除术(囊性及实性肿瘤)、全胸腺切除及前纵隔脂肪清除术、膈肌裂孔修补术、贲门肌层切开术、食管壁内囊肿切除及食管黏膜缝合修补术、食管癌根治术、肺大泡切除术、肺段切除术、肺内病变行病灶楔形切除术或肺癌肺叶切除、淋巴结清除术等^[14-23]。共完成普胸外科疾病手术量为 607 例,占有各专业达芬奇手术量的 9%。各医院手术量:沈阳军区总医院 260 例、南京军区总医院 191 例、上海交通大学附属胸科医院 70 例、北京中国人民解放军第二炮兵总医院 49 例、北京中国人民解放军总医院 11 例、复旦大学附属中山医院和第三军医大学附属西南医院分别完成 9 例、济南军区总医院 6 例、复旦大学附属华东医院和上海长海医院各完成 1 例。

沈阳军区总医院于 2011 年 3 月购入达芬奇机器人手术系统并开始应用于临床手术中,截止至 2013 年 12 月底,胸外科已完成达芬奇机器人手术 260 例^[18-23],包括:肺癌肺叶切除、淋巴结清除术(含各肺叶切除术及右肺中叶联合下叶切除术 2 例、解剖式左肺上叶舌段切除术 1 例)90 例、肺良性病变切除术 36 例、前纵隔肿瘤、囊肿切除术(含全胸腺切除及前纵隔脂肪清除术 6 例)111 例、后纵隔肿瘤切

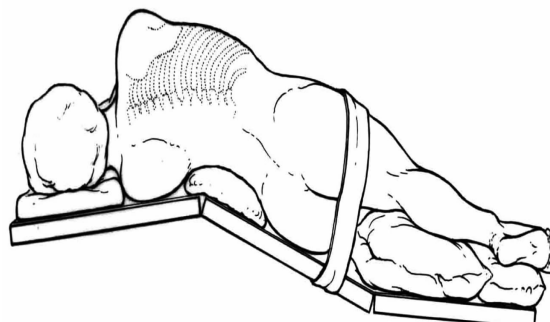
除术 20 例、食管壁内肿物切除 3 例。手术成功率达 100%。

由于开展达芬奇机器人肺癌肺叶切除、淋巴结清除术的手术难度大,需要有熟练的常规开胸行肺叶切除技术,以及熟练地应用电视胸腔镜下实施完全 VATS 下肺叶切除技术,所以欲开展此术式就显得更加困难。据不完全了解,目前国内能够应用达芬奇机器人手术系统开展肺癌肺叶切除、淋巴结清除术的医院仅有少数几家^[14]:沈阳军区总医院、上海交通大学附属胸科医院、南京军区总医院、第三军医大学附属西南医院。沈阳军区总医院胸外科使用达芬奇机器人完成了 2 例右肺中叶及下叶联合切除、淋巴结清除术,1 例解剖式左肺上叶舌段切除术。国际上,只有 Schmid 等^[24]于 2011 年报道了应用电视胸腔镜和机器人联合手术为 1 例右肺类癌患者完成了右肺上叶袖式切除、支气管成型术,手术顺利,术后患者恢复顺利出院。Hiroshige 等^[25]于 2013 年报道了应用达芬奇机器人手术系统为 1 例右肺鳞癌患者实施了右肺上叶切除及右主支气管扩大楔形切除成型术,手术顺利,术后患者恢复顺利出院。目前,国内外均未见完全应用该系统完成肺癌标准袖式肺叶切除、支气管成型、淋巴结清除术的报道。分析原因考虑为:①由于机器人手术系统机械臂庞大,使得手术切口位置选择受限制,无法按手术方便、安全的原则选取手术切口;②由于该机器人手术系统缺乏触觉反馈,虽然缝合非常方便、容易,但出现打结困难,易致缝线断裂或打结不紧、松散而漏气等现象^[26,27]。

2.3 应用达芬奇机器人手术系统实施肺癌肺叶切除、淋巴结清除术的要领^[18-23]

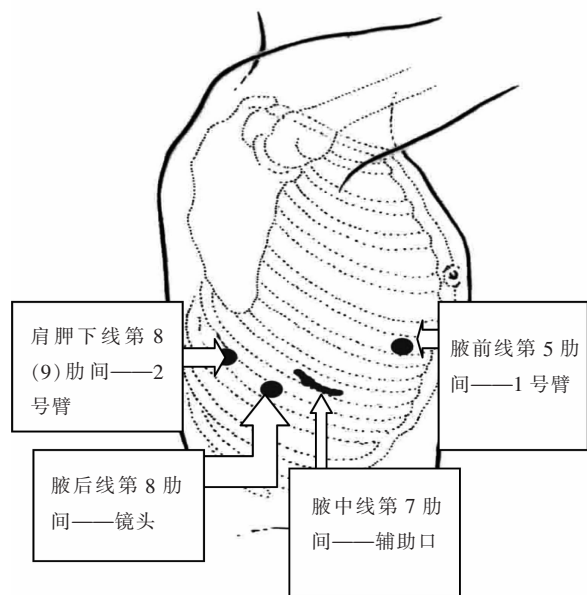
(1)麻醉:采用全麻、双腔管气管插管、健侧单肺通气。

(2)患者体位:取健侧卧位、双手屈曲抱枕于头前、折刀位。



(3)Trocars 位置和切口选择(以右侧肺叶切除术为例)

(4)切口位置的选择原则:①于下胸部打孔,保证镜头、器械的活动范围能够覆盖整个胸腔;②右肺上叶手术整个孔位应适当前移,便于前肺门的解剖;③前胸孔和进镜孔尽量远,给助手操作留出空间。



(右)肺切除“8-8(9)-5-7”孔位分布

(5)辅助操作口的选择原则:我们将辅助口选在进镜孔前一肋间约同一水平线上。①远离活动度较大的器械臂而靠近活动较少的镜头臂,避免碰撞;②送入的内镜切割缝合器在空间和角度上更方便操作;③前胸壁组织薄,肋间隙更宽,利于切开和标本取出;④低位的切口方便助手压下膈肌显露肋膈角;⑤切口长度 3~4cm 即可,足以同时送入 2 件器械和取出肺叶。

(6)辅助器械的选择原则:①对于腔镜下切割闭合器的要求:应选择具有弯曲、旋转功能的切割闭合器;可变换角度去适应不同位置的操作;操作面具有夹持力可保证确切切割而不滑脱;钉仓尖端具有保护段,保证切断的安全;②辅助操作口应用切口保护套:方便暴露,撑开肋间软组织;避免污染和反复进出器械对于切口周围组织造成的副损伤;同时可以起到压迫止血的作用;③牵拉游离后的血管时应用弹力线:可以通过一定程度的牵拉血管,方便显露血管后间隙,方便置入切割闭合器;同时,可以弥补达芬奇机器人的负反馈缺乏,不会切割血管造成出血。

3 机器人的未来及展望

目前的达芬奇机器人手术系统,固然有诸多包括电视胸腔镜系统均不具有的优势,成为了外科精确微创技术的代表,发展前景和应用前景均非常好,但仍然有一些不足和需要进一步改进的地方。

3.1 完善触觉反馈功能,进一步加强人机交互,提高手术安全性

目前临床上应用的达芬奇机器人手术系统最大的缺点是术者无法感受到压力、张力、热和振动等感觉,我们期望在未来的机器人手术系统中能够通过特定的软件和设备配合,使术者在操控台操作时能够具有综合的、实时的、持续的触觉反馈,从而使得达芬奇机器人手术操作变得更加简便、更加安全;而在未来的机器人手术系统中,期望能够具有更高的精确运动缩放功能,以便于进行更高精度的细微操作。同时,借助于更加真实的超清晰三维立体影像系统及人机交互平台,使得术野结构更加真实,手术更加安全。

3.2 达芬奇机器人手术系统进一步微型化,使得手术更加微创化

虽然目前的第二代达芬奇机器人手术系统已配置部分 5mm 操作器械以利于小儿外科手术,但大部分操作器械仍为 8mm,机器人镜头直径为 12mm,且床旁机械臂部分也非常庞大、笨重。我们期望未来的机器人手术系统能够实现床旁机械臂部分能够进一步缩小至微型化、机器人镜头及操作器械直径能够进一步缩小,从而进一步提高其灵活性和方便性,从而避免目前在手术台边安装机器人系统既费力又费时的过程^[28]。若能够在未来的机器人系统中,使得手术器械能够提供定向治疗功能,如激光、射频、冷冻、高能量汇聚的超声和热消融等先进功能,将会实现手术进一步微创化治疗。

3.3 实现远程控制功能,完成远程手术操作

2001 年 9 月 7 日,由法国医生雅克成功实施了医生在美国纽约通过横跨于大西洋的高速光纤电缆远程遥控位于法国斯特拉斯堡医院手术室里的宙斯机器人成功地为一位 68 岁患者实施了胆囊切除手术^[29]。我们目前的达芬奇机器人手术系统所有操作数据均通过数据线直接传输到床旁机械臂,未能实现机器人手术系统的最大优势——远程遥控操作。

相信不久的将来,在未来的机器人手术系统中,借助于不断发展、进步的远程信息控制系统,真正能够实现机器人手术系统的远程遥控操作功能,使得上级医院的经验丰富的医生能够实现足不出户便可完成千里之外的手术操作,提供医疗资源利用率,也便于上级医师对不同地区下级医师的指导和教学、培训工作。同时,达芬奇机器人手术系统的远程功能,在军事上也具有非常重要的意义^[4],利用达芬奇机器人手术系统,后方的著名外科医生就可以通过操纵达芬奇机器人,通过互联网的传输,能够完成远方战场上对伤病员实施第一时间的高水平外科救治手术,抢救生命。

3.4 建立虚拟机器人手术系统,加强机器人手术医师的培训

借助计算机虚拟技术,建立一整套机器人手术系统模型,包括虚拟人体模型、仿真病变情况、虚拟手术台及虚拟外科手术器械,使得手术医师在术前通过此系统,在手术前进行模拟操作,以进一步提高手术的安全性,尤其对于一些复杂手术的术前规划、术中意外情况的处理、手术结果的预测均有着重要的意义。

3.5 实现机器人手术系统国产化,以降低手术成本及医疗费用

目前的达芬奇机器人手术系统为美国生产,机器及手术器械费用均很高,这一方面增加了患者的额外手术费用,同时也不利于机器人手术技术的开展及普及。我国在手术机器人的研制方面取得了一定的成果。2010年7月我国自主研发的世界首台脊柱微创手术机器人在第三军医大学重庆新桥医院诞生并投入临床试验^[26,30]。由天津大学、南开大学和天津医科大学总医院联合研制的“妙手A”(McroHand A)是国内首次研制成功的具有自主知识产权的微创外科手术机器人,并在机器人系统机械设计、主从控制、立体图像系统集成等关键技术上有了重要突破^[3,26,31]。由北京航天航空大学与海军总医院联合研发的手术机器人系统(CARS)已完成第五代的研制和临床应用,并通过互联网顺利实现了远程操作^[32]。我们期望在不远的将来,由我国自主研发的国产机器人手术系统广泛应用于临床,从而使得我国的广大患者能够人人接受、承受机器人手术,以实现良好的社会效益和经济效益。

微创是外科手术的发展趋势,达芬奇机器人手术系统作为微创技术的较高阶段——精确微创技术的代表,体现了对治疗疾病的精确微创化的不懈追求,相信在不远的将来,机器人手术系统手术技术一定会在中国大陆普及。

参考文献:

- [1] Ji W, Hu XY, Li JS. Progress and prospect of robotic surgery [J]. Journal of Medical Postgraduates, 2010, 23(9): 994-998. [嵇武, 胡新勇, 黎介寿. 手术机器人的应用进展与前景展望[J]. 医学研究生学报, 2010, 23(9): 994-998.]
- [2] Ji W, Li N, Li JS. Progress and prospect of Da Vinci surgery [J]. Journal of Southeast China National Defence Medical Science, 2010, 12(5): 427-430. [嵇武, 李宁, 黎介寿. 达芬奇手术机器人的应用进展 [J]. 东南国防医药, 2010, 12(5): 427-430.]
- [3] Ji W, Li N, Li JS. Progress and prospect of robotic surgery in our country [J]. Journal of Laparoscopic Surgery, 2011, 16 (2): 85-88. [嵇武, 李宁, 黎介寿. 我国机器人手术开展的现状与前景展望[J]. 腹腔镜外科杂志, 2011, 16 (2): 85-88.]
- [4] Yang X, Li ZX, Xu WG. Progress and future of robotic surgery [J]. Journal of North China Coal Medical College, 2012, 14(2): 176-177. [杨鑫, 李占贤, 徐卫国. 外科手术机器人的研究现状与进展[J]. 河北联合大学学报(医学版), 2012, 14(2): 176-177.]
- [5] Guo YH, Zhou HX. Progress and future of robotic surgery [J]. Chinese Journal of Surgery, 2005, 43(1): 64-66. [郭跃华, 周汉新. 手术机器人的发展与现状[J]. 中华外科杂志, 2005, 43(1): 64-66.]
- [6] Palep JH. Robotic assisted minimally invasive surgery [J]. Minim Access Surg, 2009, 5(1): 1-7.
- [7] Savitt MA, Gao G, Furnary AP, et al. Application of robotic-assisted techniques to the surgical evaluation and treatment of the anterior mediastinum [J]. Ann Thorac Surg, 2005, 79(2): 450-455.
- [8] Cakar F, Wemer P, Augustin F, et al. A comparison of outcomes after robotic open extended thymectomy for myasthenia gravis [J]. Euro J Cardiothorac Surg, 2007, 31(3): 501-505.
- [9] Byrn JC, Schluender S, Divino CM, et al. Three-dimensional imaging improves surgical performance for both novice and experienced operators using the da Vinci Robot System [J]. Am J Surg, 2007, 193(4): 519-522.
- [10] Jones A, Sethia K. Robotic surgery [J]. Ann R Coll Surg Engl, 2010, 92(1): 5-13.
- [11] Jung YW, Kim SW, Kim YT, et al. Recent advances of roboticsurgery and single port laparoscopy in gynecologic oncology [J]. Gynecol Oncol, 2009, 20(3): 137-144.
- [12] Xu ZH, Song CL, Yan SJ. Research on minimally invasive robotic surgery [J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue

- Engineering Research, 2011, 35(15): 6598-6600. [徐兆红, 宋成立, 闫士举. 机器人在微创外科中的应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 35(15): 6598-6600.]
- [13] Du XM, Zhang YS. Advances in application of Da Vinci Surgical System[J]. China Medical Equipment, 2011, 8(5): 60-63. [杜祥民, 张永寿. 达芬奇手术机器人系统介绍及应用进展[J]. 中国医学装备, 2011, 8(5): 60-63.]
- [14] Chen X, Han B, Guo W, et al. The experiences with the da Vinci S robot in thoracic surgery[J]. Journal of Clinical Surgery, 2011, 19(5): 331-333. [陈秀, 韩冰, 郭巍, 等. 胸外科应用达芬奇手术机器人的体会 [J]. 临床外科杂志, 2011, 19(5): 331-333.]
- [15] Chen X, Han B, Guo W, et al. Robotic thymectomy and thymoma resection surgery 19 cases with myasthenia gravis using the Da Vinci S system without sternotomy or thoracotomy [J]. Chinese Journal of Laparoscopic Surgery (Electronic Version), 2011, 4(4): 37-39. [陈秀, 韩冰, 郭巍, 等. 机器人胸腺和胸腺瘤切除术[J]. 中华腔镜外科杂志(电子版), 2011, 4(4): 37-39.]
- [16] Dong GH, Yi J, Jing H, et al. Robotic thymus resection with da Vinci Surgical System: a report of 31 cases[J]. Chinese Journal of Clinicians (Electronic Edition), 2012, 6(7): 31-34. [董国华, 易俊, 景华, 等. 达芬奇机器人胸腺切除术 31 例分析 [J]. 中华临床医师杂志 (电子版), 2012, 6(7): 31-34.]
- [17] Huang J, Luo QQ, Zhao XJ, et al. Application of Robotic assisted thoracoscopy in thymectomy [J]. Tumor, 2009, 29(8): 796-798. [黄佳, 罗清泉, 赵小菁, 等. 胸腺瘤切除术中机器人辅助胸腔镜技术的应用[J]. 肿瘤, 2009, 29(8): 796-798.]
- [18] Xu SG, Tong XD, Liu B, et al. Robot-assisted thoracoscopic lobectomy: report of 16 cases [J]. Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery, 2013, 13(9): 806-809. [许世广, 童向东, 刘博, 等. 机器人辅助胸腔镜下肺叶切除术 16 例报告[J]. 中国微创外科杂志, 2013, 13(9): 806-809.]
- [19] Wang SM, Xu SG, Tong XD, et al. Application of da Vinci Surgical to treatment of mediastinal tumor [J]. Clinical Journal of Medical Officer, 2013, 41(12): 1247-1249. [王述民, 许世广, 童向东, 等. 达芬奇机器人手术系统在胸外科纵隔肿瘤切除术中的应用体会 [J]. 临床军医杂志, 2013, 41(12): 1247-1249.]
- [20] Wang SM, Li B, Xu SG, et al. Robot-assisted extended thymectomy for type I myasthenia gravis using Da Vinci S System [J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2013, 20(6): 679-682. [王述民, 李博, 许世广, 等. 达芬奇机器人在胸腺扩大切除术治疗 I 型重症肌无力的应用[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2013, 20(6): 679-682.]
- [21] Wang T, Wang SM, Xu SG, et al. Affluence of the patient's postoperative functional recovery using da Vinci Surgical to treatment of mediastinal tumor [J]. China Practical Medicine, 2013, 8(6): 123-124. [王通, 王述民, 许世广, 等. 达芬奇机器人微创手术治疗纵隔肿瘤对患者术后功能恢复的影响[J]. 中国实用医药, 2013, 8(6): 123-124.]
- [22] Wang SM, Xu SG, Tong XD, et al. Robot-assisted lobectomy for non-small cell lung cancer [J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2013, 20(3): 308-311. [王述民, 许世广, 童向东, 等. 机器人肺叶切除术治疗非小细胞肺癌[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2013, 20(3): 308-311.]
- [23] Wang SM, Xu SG, Tong XD, et al. Treatment of pulmonary nodule with Da Vinci Surgical System [J]. Chinese Journal of Clinicians (Electronic Edition), 2013, 7(9): 3759-3763. [王述民, 许世广, 童向东, 等. 应用达芬奇机器人诊治肺周围小结节病变[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2013, 7(9): 3759-3763.]
- [24] Schmid T, Augustin F, Kainz G, et al. Hybrid video-assisted thoracic surgery-robotic minimally invasive right upper lobe sleeve lobectomy [J]. Ann Thorac Surg, 2011, 91(6): 1961-1965.
- [25] Nakamura H, Taniguchi Y, Miwa K, et al. A successful case of robotic bronchoplastic lobectomy for lung cancer[J]. Ann Thorac Cardiovasc Surg, 2013, 19(6): 478-480.
- [26] Xiao Z, Huang ZH. The research development and clinical using of the surgical robot [J]. Chinese Journal of Current Advances in General Surgery, 2011, 14(11): 880-884. [肖钟, 黄宗海. 外科手术机器人的研究进展及临床应用[J]. 中国现代普通外科进展, 2011, 14(11): 880-884.]
- [27] Rassweiler J, Binder J, Frede T. Robotic and telesurgery: will the change our future[J]. Curr Opin Urol, 2001, 11(3): 309-320.
- [28] Jin XB, Zhang D, Xia QH. Progress and future of robot-assisted technique [J]. Shandong Medical Journal, 2009, 49(39): 112. [金讯波, 张栋, 夏庆华. 机器人辅助技术的未来及展望[J]. 山东医药, 2009, 49(39): 112.]
- [29] Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery[J]. Nature, 2001, 413(6854): 379-380.
- [30] Feng J, Xiong XL, Zeng L. The first spinal minimal invasive surgical robot developed by ourselves[N]. Science and Technology Daily, 2010-07-13. [冯亮, 熊学莉, 曾理. 我自主研发出世界首台脊柱微创手术机器人 [N]. 科技日报, 2010-07-13.]
- [31] Feng GW, Song XF. The first minimal invasive surgical robot (MicroHand A) developed by ourselves [N]. Science and Technology Daily, 2010-07-04(1). [冯国梧, 宋雪峰. 我自主研发成功首台微创外科手术机器人“妙手 A”[N]. 科技日报, 2010-07-04(1).]
- [32] Yin F, Tian ZM, Wang TM, et al. Clinical application of the fifth robotic system in neurosurgery[J]. Chinese Journal of Minimally Invasive Neurosurgery, 2008, 13(8): 355-357. [尹丰, 田增民, 王田苗, 等. 第五代立体定向机器人系统的临床应用研究 [J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2008, 13(8): 355-357.]