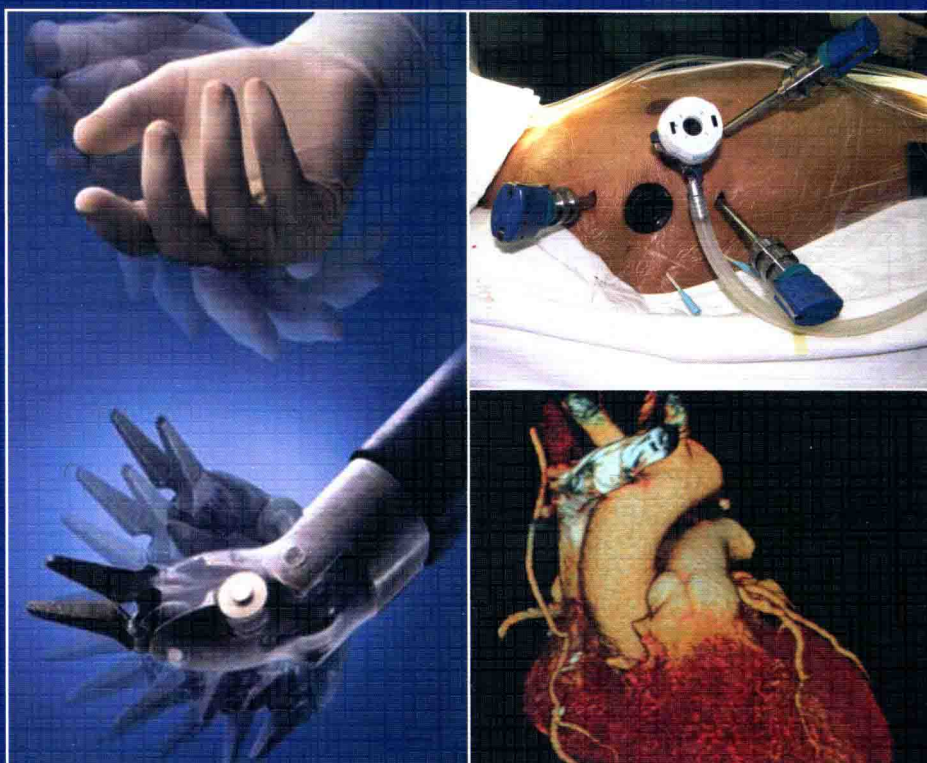


机器人心脏外科学

Robotic Cardiac Surgery

■ 原 著 [中国] Changqing Gao

■ 主 译 高长青 杨 明



机器人心脏外科学

Robotic Cardiac Surgery

原 著 [中国] Changqing Gao

主 译 高长青 杨 明

译 者 (按姓氏笔画排序)

王 刚 王 嵘 王 瑶 冯泽坤 成 楠
任崇雷 杨 明 肖苍松 张永会 张华军
尚 亮 姚民辉 高长青



世界图书出版公司

西安 北京 广州 上海

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人心脏外科学 / 高长青主编; 高长青, 杨明主译. —西安: 世界图书出版西安有限公司, 2018.7

书名原文: Robotic Cardiac Surgery

ISBN 978-7-5192-4698-3

I. ①机… II. ①高… ②杨… III. ①机器人技术—应用—心脏外科学 IV. ①R654-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 136328 号

Translation from the English language edition:

Robotic Cardiac Surgery

edited by Changqing Gao

Copyright © Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

This work is published by Springer Nature

The registered company is Springer Science+Business Media B.V.

All Rights Reserved

-
- | | |
|------|---|
| 书 名 | 机器人心脏外科学 |
| | Jiqiren Xinzang Waikexue |
| 原 著 | [中国] Changqing Gao |
| 主 译 | 高长青 杨 明 |
| 责任编辑 | 马可为 |
| 装帧设计 | 新纪元文化传播 |
| 出版发行 | 世界图书出版西安有限公司 |
| 地 址 | 西安市北大街 85 号 |
| 邮 编 | 710003 |
| 电 话 | 029-87214941 (市场营销部)
029-87234767 (总编室) |
| 网 址 | http://www.wpcxa.com |
| 邮 箱 | xast@wpcxa.com |
| 经 销 | 新华书店 |
| 印 刷 | 西安市建明工贸有限责任公司 |
| 开 本 | 889mm × 1194mm 1/16 |
| 印 张 | 9 |
| 字 数 | 160 千字 |
| 版 次 | 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷 |
| 版权登记 | 25-2017-0088 |
| 国际书号 | ISBN 978-7-5192-4698-3 |
| 定 价 | 110.00 元 |
-

医学投稿 xastyx@163.com || 029-87279745 87284035

☆如有印装错误, 请寄回本公司更换☆

致 谢

作者团队衷心感谢下列个人和机构对本书出版给予的大力支持：

北京解放军总医院 / 解放军医学院

Karen Zhao, MA

Junlan Yan, RN

Jiali Wang, BS

Jiachun Li, BS

Guopeng Liu, MS

Yue Zhao, RN

Lixia Li, RN

Bojun Li, MD

Shengli Jiang, MD

Yang Wu, MD

■ 主编简介



高长青，心血管外科学专家，中国工程院院士，英国爱丁堡皇家外科学院院士，法国国家医学科学院院士，法国国家外科学院院士。1999—2014 年任解放军总医院心血管外科主任，2011—2015 年任解放军总医院医务部主任、副院长。目前为主任医师、一级教授、博士生导师，少将军衔，全军心脏外科研究所所长，心血管疾病微创技术研究北京市重点实验室主任。

中国医师协会心血管外科医师分会会长，中华胸心血管外科分会副主任委员，北京心脏外科分会主任委员，中国生物医学工程学会常委；国际微创胸心外科学会常委，美国机器人外科学会常委，美国胸外科学会、

欧洲心胸外科学会、英国胸心外科学会会员；*Journal of Robotic Surgery*, *Heart Surgery Forum*（美国），*Journal Cardiac Thoracic Surgery*（英国）等数十家杂志主编、共同主编或编委等。

长期从事心血管外科临床和基础研究工作，在老年冠心病、瓣膜病、大血管疾病的外科诊治及临床研究方面具有深厚的造诣，主刀完成各类心脏大手术 4000 余例。开创了我国机器人微创外科，是亚洲机器人微创心脏外科的开拓者之一，引领并推动了世界机器人微创外科的发展；完成了系列微创冠状动脉旁路移植术临床和基础研究，在国际上率先提出冠状动脉旁路移植术后抗凝治疗新方案；创新性阐述了心脏心肌带的解剖学概念，促进了我国冠心病室壁瘤外科的发展。

承担国家“863”等课题 20 余项。获国家科学技术进步奖一等奖 1 项，省部级一等奖多项。出版专著 10 余部，发表论文 400 余篇。先后获“何梁何利科学与技术奖”“求是奖”“军队杰出专业技术人才奖”和“全军干部保健工作特殊贡献奖”。入选军队科技领军人才，荣立二等功多次。享受政府特殊津贴。

原著作者

Changqing Gao, MD Department of Cardiovascular Surgery, PLA General Hospital, Beijing, People's Republic of China

Chonglei Ren Department of Cardiovascular Surgery, PLA General Hospital, Beijing, People's Republic of China

Mukta C. Srivastava, MD Division of Cardiology, University of Maryland Medical Center, Baltimore, MD, USA

Bradley Taylor, MD Division of Cardiology, University of Maryland Medical Center, Baltimore, MD, USA

Mark R. Vesely, MD Division of Cardiology, University of Maryland Medical Center, Baltimore, MD, USA

Gang Wang, MD Department of Cardiovascular Surgery, PLA General Hospital, Beijing, People's Republic of China

Yao Wang, MD Department of Cardiovascular Surgery, PLA General Hospital, Beijing, People's Republic of China

Cangsong Xiao, MD Department of Cardiovascular Surgery, PLA General Hospital, Beijing, People's Republic of China

Ming Yang, MD Department of Cardiovascular Surgery, PLA General Hospital, Beijing, People's Republic of China

David Zimrin, MD Department of Medicine, University of Maryland School of Medicine, Baltimore, MD, USA

郑重声明

由于医学是不断更新拓展的领域，因此相关实践操作、治疗方法及药物都有可能改变，希望读者可审查书中提及的器械制造商所提供的信息资料及相关手术的适应证和禁忌证。作者、编辑、出版者或经销商不对书中的错误或疏漏以及应用其中信息产生的任何后果负责，关于出版物的内容不作任何明确或暗示的保证。作者、编辑、出版者和经销商不就由本出版物所造成的人身或财产损害承担任何责任。

序

《机器人心脏外科学》既是一本全面讲解机器人心脏手术的综合性学术专著，同时也是一本学习手册，详尽阐释了各类机器人心脏手术的方式方法。主编高长青教授是一位经验丰富的外科医生，发表了大量同行评议文章，并数次举办大型学术会议和学习班，向全世界的机器人心脏外科医生讲授如何安全有效开展机器人心脏外科手术。

本书阐述的重要原则之一，即只有能够以精湛娴熟的手术技巧完成各类传统心脏疾病手术的外科医生，才能获得理想的机器人心脏手术效果。经验丰富的外科医生更容易成为机器人心脏外科手术的佼佼者。高长青教授和他的团队经验丰富，他们的手术技巧和手术效果堪称世界一流，本书中将为大家一一呈现。

在瓣膜病方面，本书主要对机器人二尖瓣、三尖瓣修复术和置换术进行了探讨；在先天性心脏病部分，主要讨论了房间隔缺损和其他先天性缺损的机器人手术治疗结果。本书详尽阐述了机器人胸廓内动脉游离、机器人辅助下冠状动脉旁路移植术或全机器人下的冠状动脉旁路移植术，以及机器人冠状动脉旁路移植术联合支架植入的分站式杂交手术等。杂交手术早期来源于微创瓣膜手术，患者如果合并单支冠状动脉病变，倾向于行支架植入而非同期冠状动脉旁路移植术。最后一部分是机器人左心室外膜起搏导线植入，该技术对心传导阻滞或需要同步化治疗的患者大有帮助。

在中国，机器人外科手术技术已取得骄人成果，而本书正是由中国资深的专家医生、麻醉师和心血管内科医生共同倾力完成的。为增强读者对机器人手术的理解，书中所有章节都有精美手术配图。《机器人心脏外科学》是一个里程碑，展现了机器人技术在心血管外科应用的良好临床效果。

Lawrence H. Cohn, MD
哈佛医学院

前言

自1998年心脏外科领域引入机器人技术以来,心脏外科医生不开胸心脏手术的梦想终于成为现实。北京解放军总医院于2006年率先引进中国首台达·芬奇S手术机器人系统,开启了中国微创机器人手术前沿技术的领跑之路。

我们的团队虚心求学,潜心钻研,攻坚克难,最终熟悉和掌握了达·芬奇手术机器人的操作规程。经过数年的不断实践,已可以完成达·芬奇S机器人手术系统所适用的所有不开胸心脏手术,并开拓创新出新的手术技巧和标准,完成了全球绝大多数种类的机器人心脏手术。截至目前,800余例机器人心脏手术全部成功。

我们愿与全球外科手术团队分享我们的经验,并在北京成立了国家及国际机器人心脏外科培训中心。该中心已为来自日本、新加坡、巴西、韩国、墨西哥等国家,以及中国香港、中国台湾等地区的心脏外科团队进行了专业培训。中国机器人心脏手术的发展已对亚洲乃至全球外科领域产生了深远影响。

中国有巨大的患者基数,同时也拥有大量外科医生,而他们正是手术经验极其丰富的创新型人才。毫无疑问,达·芬奇手术机器人的潜力将会通过中国外科医生和全球同行间的不断交流得到充分发挥。

《机器人心脏外科学》是一个里程碑。谨以此书纪念我们的机器人心脏外科之旅,分享经验,并向曾给予我们关心和帮助的诸位导师及来自全球的同行朋友们致以深深的谢意。

高长青
中国·北京

目 录

第 1 章	机器人心脏手术概述	1
第 2 章	机器人心脏手术的麻醉	15
第 3 章	术中经食管超声心动图在机器人心脏手术中的应用	33
第 4 章	机器人心脏手术的体外循环建立	39
第 5 章	机器人先天性心脏病手术矫治	51
第 6 章	全机器人心房黏液瘤切除术	71
第 7 章	机器人二尖瓣手术	81
第 8 章	心脏不停搏下机器人冠状动脉旁路移植术	97
第 9 章	杂交冠状动脉血运重建	120
第 10 章	机器人左心室心外膜起搏电极植入术	127

注: 由于本书原著作者与中文版译者为同一团队成员, 为更好帮助中国读者学习, 经原出版方许可, 译者对中文版中少部分内容进行了更新。



机器人心脏手术概述

Overview of Robotic Cardiac Surgery

Changqing Gao

■ 摘 要

一直以来，在不开胸的情况下完成心脏手术操作并获得与开放式手术同样的效果是心脏外科医生的梦想。虽然心脏微创手术的出现部分满足了临床医生的愿望，但却难以达到与机器人手术同样的满意度。

过去 20 年，心脏微创手术越来越普及。微创内镜成为最常用的方法。微创技术可使患者的恢复较以往的普通手术更快。但内镜的二维图像会影响视野和术野的深度，使医生难以完成精准的操作。因此，机器人手术便根植于对内镜技术扬长避短的愿望而诞生、发展。1998 年机器人技术被用于心脏外科。1994 年和 2001 年，美国食品药品监督管理局（FDA）分别批准了 AESOP 和 ZEUS 手术机器人系统用于临床。1999 年 1 月，Intuitive 公司推出了达·芬奇机器人手术系统；2000 年，达·芬奇机器人成为美国 FDA 明确指出可用于普通腹腔镜手术的首个机器人手术系统。随后的几年，美国 FDA 确定达·芬奇机器人手术系统用于心脏外科。机器人手术现已成功用于心脏停搏或不停搏下的房间隔缺损修补、二尖瓣修补或置换、冠状动脉旁路移植、黏液瘤切除、房颤消融、左心室外膜电极植入和主动脉手术等。早期的结果令人鼓舞，与开胸手术相比，机器人手术使患者的输血需求量更少，住院时间更短，能更快地恢复至术前功能水平，生活质量得以改善。然而，仍需长期研究结果的支持方能使机器人手术成为心脏外科的新标准。

虽然传统的视频内镜技术是革命性的，但依然受到器械操作不够便利和二维视野的限制。这些缺陷使得传统内镜技术无法达到人类手腕般的动作和人眼的感知深度，急需设计新的方法来适

应微创技术。而机器人手术系统代表了微创技术应用于手术的又一次革命。凭借手腕式器械的灵活性和三维可视化的机器人技术，将人类手腕和眼睛的优势呈现在微创手术领域。

在微创手术史上，以往需经开放手术技术完成的的心脏手术首次可通过机器人得以完成。实际上，机器人心脏手术在 20 世纪 90 年代末就变得可行。在过去 10 年中，机器人手术越来越为全球的外科医生所认可。事实上，机器人手术系统为众多手术领域带来了真正的革命。

C. Gao, MD
Department of Cardiovascular Surgery, PLA General Hospital,
No.28 Fuxing Road, Beijing 100853, People's Republic of China
e-mail: gaochq301@yahoo.com

C. Gao (ed.), *Robotic Cardiac Surgery*,
DOI 10.1007/978-94-007-7660-9_1, © Springer Science+Business
Media Dordrecht 2014

在中国，达·芬奇手术备受外科医生青睐，机器人心脏手术的发展也非常迅速。2006年，达·芬奇系统首次由北京解放军总医院（301医院）引进，并进行了国内第一台机器人心脏手术。此后，解放军总医院心血管外科已完成了超过800例机器人心脏手术，如全机器人心脏不停搏冠状动脉旁路移植术、微创小切口心脏不停搏冠状动脉旁路移植术、冠状动脉杂交血运重建术、二尖瓣成形术、二尖瓣置换术、三尖瓣修复术、黏液瘤切除术、房间隔缺损修补术、室间隔缺损修补术、左心室心外膜电极植入等。

笔者所在单位的经验表明，受过良好训练的机器人手术团队，经过学习曲线后，可以取得良好的手术结果。需要强调的是，机器人手术系统只是一种工具，手术成功的基础为术者自身的手术经验，而非机器人系统。

中国拥有庞大的病患数量和大量具有丰富经验的外科医生。机器人微创手术的全部潜力可以通过中国外科医生与其他国家的同行进行更多的交流来充分发掘。

1.1 微创外科的历史

微创手术是避免使用开放性、侵入性操作，但同时具有相同目标，采用闭合性或局部化操作的手术方式，可以通过皮肤、体腔或其他解剖入口实现。这些方法通常涉及腹腔镜装置和远程控制系统的使用，通过内镜或类似的装置间接观察手术视野^[1]。

作为微创手术最具代表性的手术——腹腔镜手术——是从胆囊切除术开始的，于30多年前在德国（1985年）和法国（1987年）最先报道^[2-5]。与开放手术相比，腹腔镜手术的优点包括出血少、切口小、疼痛轻、感染风险降低、住院时间缩短、日常生活恢复快。虽然这些优点貌似很有吸引力，但是目前腹腔镜设备的技术和机械特性决定了腹腔镜手术的固有局限，如支点效应、受限的自由

移动度（4个自由度）、触觉反馈（力度和触觉）的丧失、违背直觉的视觉反馈，以及灵巧性较低等。克服这些局限性的愿望促使工程师和研究人员开发外科手术机器人，同时也扩展了微创手术的益处。

机器人系统是一种机械或虚拟智能设备，可以自动或通过远程控制执行任务。人类制造机器人的尝试已有2000多年的历史。“机器人”一词是1920年由捷克作家卡雷尔·恰佩克（Karel Čapek）在他的剧作《罗素姆的万能机器人》（*Rossum's Universal Robots*）中最先创造并介绍给公众的，“机器人”一词来自斯拉夫语的“robota”，意思是“强迫劳动与做家务”^[6]。从那时起，机器人开始发展，并进入工业、军事、航空航天、航海等领域。1961年首台工业机器人在美国新泽西通用汽车厂开始启用，这一里程碑事件宣示了机器人开始进入主流人类生活。

1.2 机器人手术系统的历史

在计算机技术辅助下，目前已经开发出具有远程遥控及具有6个自由度的机械臂，并允许在有限空间中自由取向。1985年首次记录了机器人辅助外科手术的使用，Kwoh等使用PUMA 560在CT指导下进行了神经外科的活检^[7]。3年后，在经尿道前列腺切除术治疗良性前列腺增生时的软组织手术中使用了相同的系统^[8]。1988年，伦敦帝国理工学院开发的PROBOT系统被伦敦的盖伊和圣·托马斯医院的Senthil Nathan博士用来进行前列腺手术。同时，RoboDoc——第一个手术机器人系统由美国加利福尼亚州萨克拉门托的综合外科用品有限公司（Integrated Surgical Supplies Ltd.）开发，并在1992年被用于全髋关节置换术^[9]，该系统能够以96%的精度精确地定位股骨轴，而使用标准的手术器械仅有75%的精度^[10]。尽管没有获得FDA批准，但

RoboDoc 在欧洲和日本有着广泛的应用。

Computer Motion, Inc.[®] 是一家医疗机器人公司，成立于 1989 年，由毕业于美国加州大学圣芭芭拉分校电气工程专业的王玉伦博士创建，并获美国政府和私营企业资助。该公司推出了 AESOP[®]（内镜自动定位系统），它是一个机器人腔镜定位操纵系统。同时制造了另一个机器人系统——ZEUS[®] 机器人手术系统^[11-12]。这两种机器人系统（图 1-1、图 1-2）分别在 1994 年和 2001 年被 FDA 批准用于临床^[12]。

1.3 达·芬奇手术系统

Frederic H. Moll 博士是一位具有敏锐商业嗅觉的医生，他看到了新兴的机器人技术的商业价值，随后他获得了首创机器人手术系统的 NASA-SRI 团队的授权，于 1995 年创办了 Intuitive Surgical Inc.[®] 公司。1999 年 1 月，该公司推出了达·芬奇手术系统，2000 年，达·芬奇手术系统成为首款被 FDA 认可、并能用于一般腹腔镜手术的机器人手术系统。在接下来的几年中，

FDA 又认可了达·芬奇手术系统用于胸部手术、心脏手术、泌尿外科手术、妇科手术、儿科和耳鼻喉科手术。2003 年 6 月，Intuitive Surgical Inc.[®]



图 1-1 AESOP 机器人手术系统

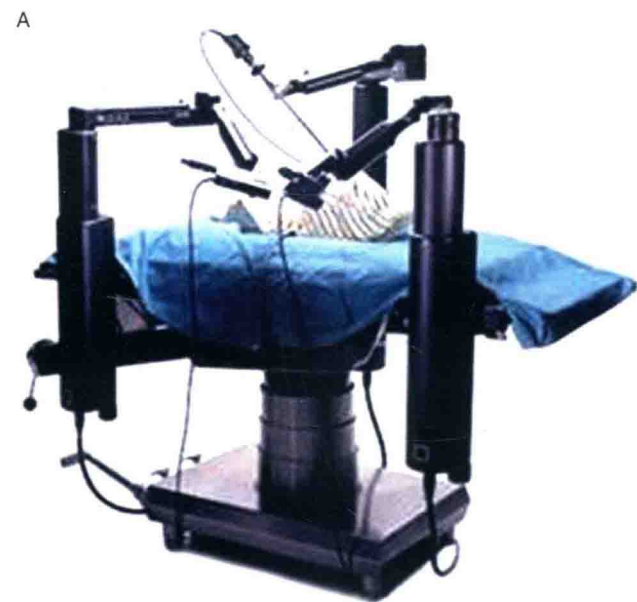


图 1-2 ZEUS 机器人手术系统

与 Computer Motion, Inc.® 公司合并^[13]。

达·芬奇手术系统包括 3 个部分：①手术控制台；②床旁机械臂系统；③成像系统（图 1-3 至图 1-5）。该系统具有以下优点：三维可视化，术者可以自主控制的机械臂及三维镜头。它使得外科医生能够进行直接、实时的内镜和器械移动，并允许外科医生在内镜手术中使用开放手术的技术。

达·芬奇机器人手术过程中，外科医生远离患者，使得外科医生可以舒适地坐着，降低了手术的劳动强度（图 1-6），手臂的放置也更加符合人体工程学。同时通过观测窗将自己沉浸在三维的高清晰度视频图像中。外科医生通过使用主控制器来控制微创器械。同时，心电图、氧饱和度和心脏超声等信号可以通过在手术野的立体观察器来监测（图 1-7）。此外，各种信息都可以用图标和文本的形式在立体观察器上进行显



图 1-3 达·芬奇机器人手术系统的双控制台



图 1-4 床旁机械臂车

示，这些使得外科医生能够专心监视微创器械的状态，而不需要将头部从控制台上移开。

术者利用控制手柄控制机械臂和镜头。脚踏开关由仪器离合器、照相机控制离合器、照相机聚焦和电灼控制器组成。左右扶手上的扶手开关用于控制机械臂的运动和缩放。在新一代的达·芬奇机器人手术系统中，上述功能被触摸屏面板所取代（图 1-8、图 1-9）。

手腕和手指的移动被记录在计算机存储器中，然后传送到床旁机械臂车，那里的同步终端执行器或微创器械可实现 7 个自由度的无颤动运动（图 1-10）。第一代达·芬奇机器人手术系统拥有 3 个床旁机械臂，而在最新型号（达·芬奇 S 和达·芬奇 Si®）中拥有 4 个机械臂（图 1-11），

其中一只机械臂搭载双孔 5 mm 直径镜头照相机用于呈现三维图像，另外 2 个或 3 个机械臂用于搭载微创器械臂，旨在为外科医生提供自然灵活度和全方位运动。



图 1-5 视频系统

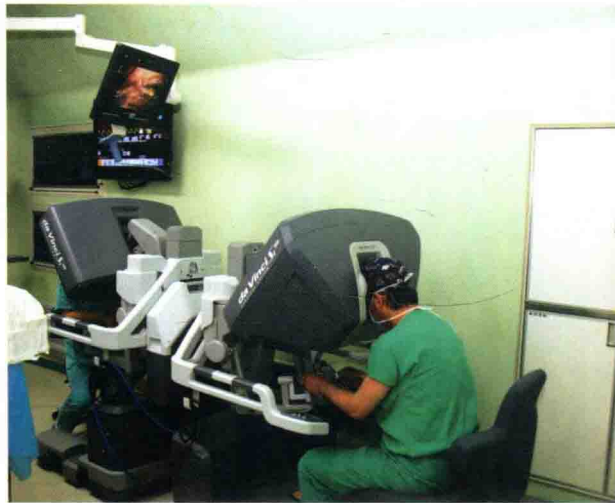


图 1-6 术者手术过程中坐在控制台前

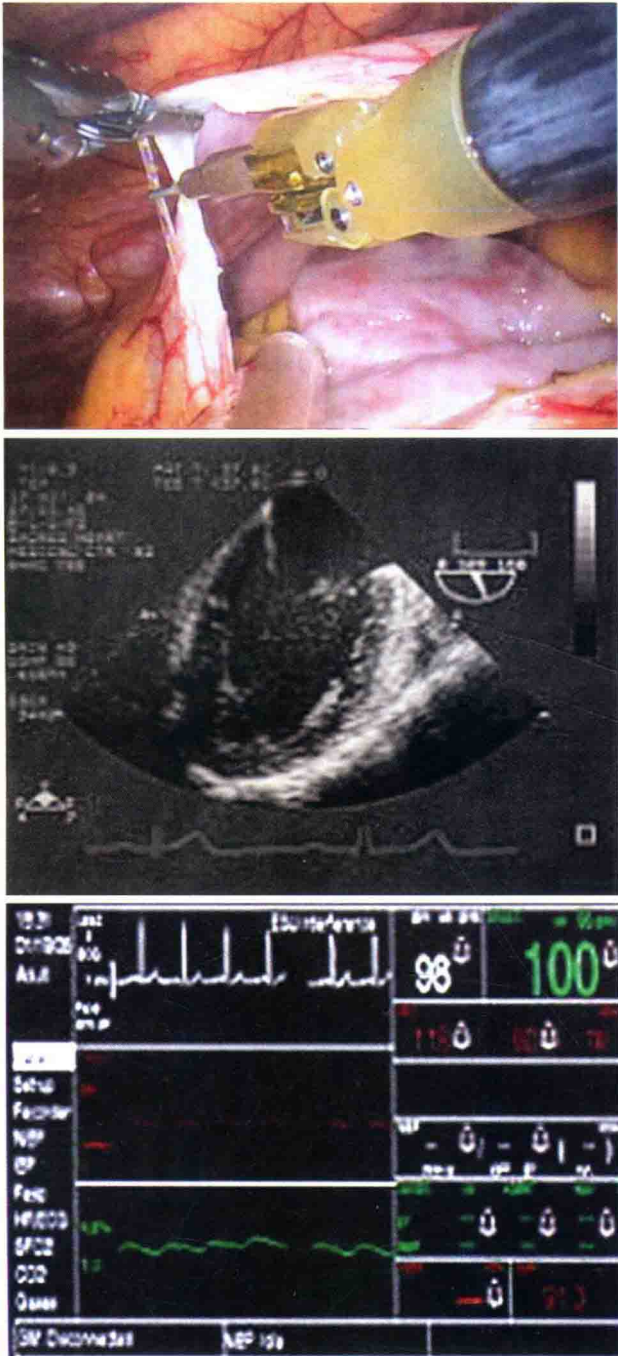


图 1-7 手术过程中，其他医学信息显示于立体观察器

手术过程中，床旁机械臂被移动到手术区，并被放置在患者身上。机械臂的设计就像人的手臂、肩膀、肘部和手腕。而手术微创器械被连接到机器人机械臂的支架上。支架使手术器械能够进出于机械臂尖端的套管。该套管作为进入患者体内的端口，可承载手术器械。床旁机械臂通过



图 1-8 达·芬奇机器人手术系统的控制台及组件

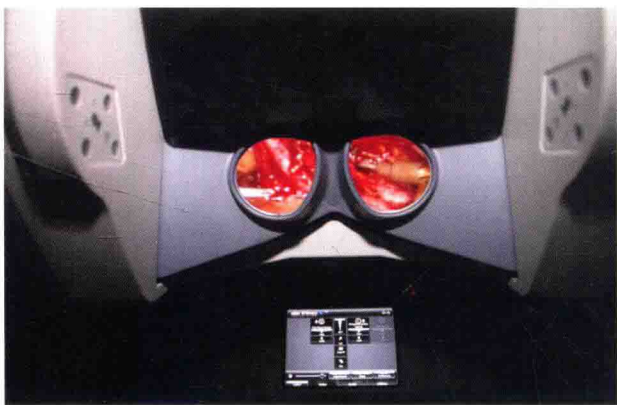


图 1-9 达·芬奇系统中的触摸屏

电缆连接到外科医生控制台。

成像系统由左眼摄像机控制单元、右眼摄像机控制单元、光源、视频同步器和对焦控制器、辅助监视器，以及用于外科手术的各种记录和注入设备组成。

达·芬奇手术系统使外科医生具有更好的视野、精度、灵巧性和控制能力。通过几个微小的切口就可进行精细和复杂的操作。



图 1-10 “手腕”设备可提供自然的灵活度和全方位的运动



图 1-11 具有 4 个臂的达·芬奇系统

1.4 手术室配置和系统设置

达·芬奇手术系统由 3 个主要组件组成：手术控制台、床旁机械臂和成像系统。各组件在手术室应合理布置，以获得最大的安全性和人体工程学效益（图 1-12）。

手术控制台位于无菌区域之外，面向手术控制台的术者可以看到手术区域影像（图 1-12）。在床旁机械臂移动到手术区域之前应先予以无菌机械臂套覆盖。覆盖后的机械臂应覆盖一层额外

的无菌单（图 1-13），以防止与非无菌物体接触或妨碍手术人员的来往活动。一旦机械臂被妥善覆盖、患者摆好体位、铺单消毒完毕及各端口连接完毕后，即可使用机械臂的电机驱动器将机械臂移动到无菌区域。成像系统放置在床旁机械臂附近，位于无菌手术区域外，以便使床旁助手能够及时掌握相关信息（图 1-14）。

达·芬奇手术系统的组件通过 3 条主电缆连接，并可以通过直径和颜色将 3 根电缆区分开来。应将电缆布置在人员及设备的活动路径之外，以避免损坏电缆或因产生障碍物导致危险。通常情况下，一名洗手护士和一名巡回护士负责覆盖机械臂。机械臂应当系统地被覆盖，使机械臂有足够的活动度。通过使用离合器按钮，巡回护士应活动每个伸直的机械臂，为后续机械臂的活动准备出足够的空间。一旦机械臂被覆盖，洗手护士应将已覆盖的机械臂与其他还未进行铺单覆盖的机械臂分开，并准备覆盖下一个机械臂。

此外，术前管理对机器人心脏手术的成功也至关重要。患者应先于达·芬奇手术系统到位前摆放好位置。操作台也应当在床旁机械臂到位之前放置完毕。对于机器人辅助心脏手术，有两个

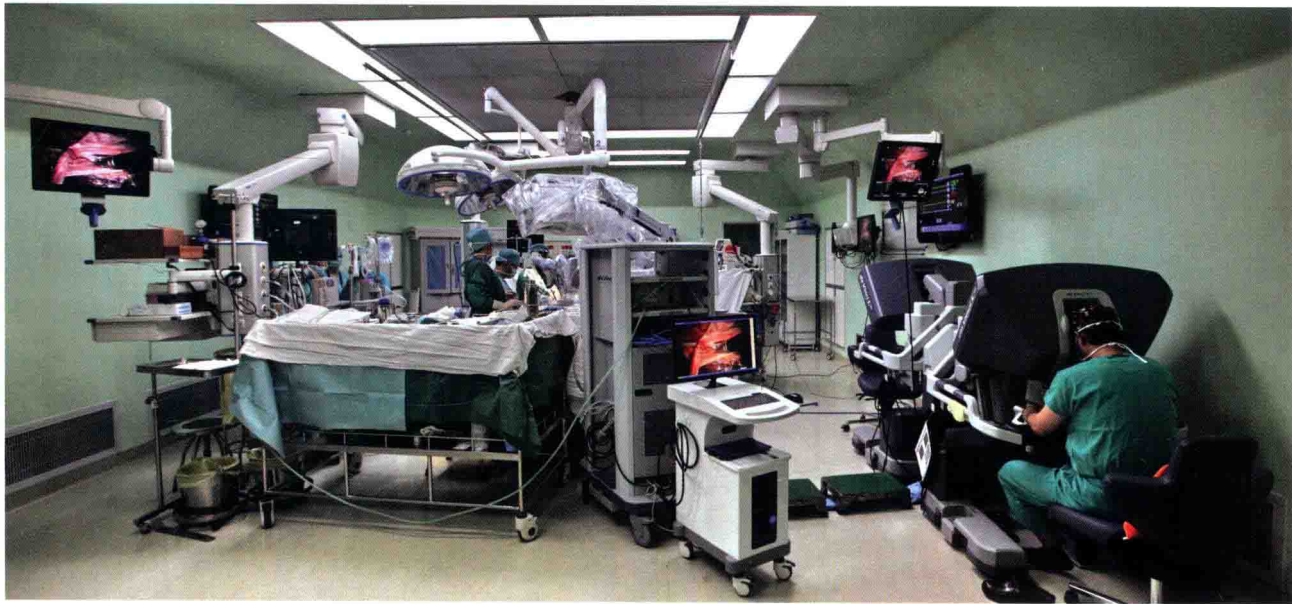


图 1-12 达·芬奇机器人手术系统在手术室中的配置