机器人技术在外科手术中应用研究

上海交通大学　曹其新教授

目录

1. 研究背景
2. 外科手术发展趋势
3. 智能机器人技术在外科辅助手术的应用特点
4. 骨科类手术辅助
5. 介入式手术辅助
6. 微创腔镜手术辅助
7. 小结与展望

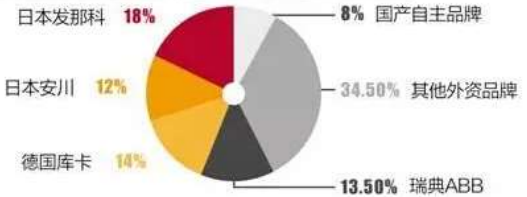
1. 研究背景 Background

中国机器人连续四年世界年销售量第一，各级政府和有关各部门把发展机器人产业放置首位

机器人产业分布图

图形 宛秦

2015年中国工业机器人企业市场份额状况

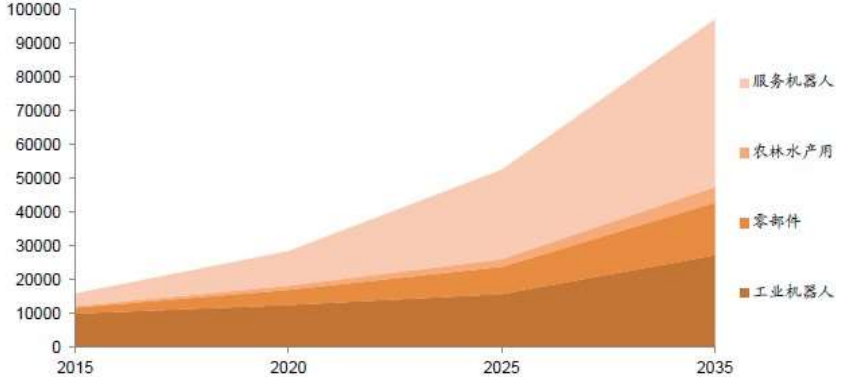


数据来源：中国机器人产业联盟、中国市场调查网

三大零部件进口情况

	占整机成本比例	进口比例
减速器	35%	75%
伺服电机	25%	80%
控制器	15%	80%

数据来源：赛迪《中国机器人产业发展白皮书（2016版）》



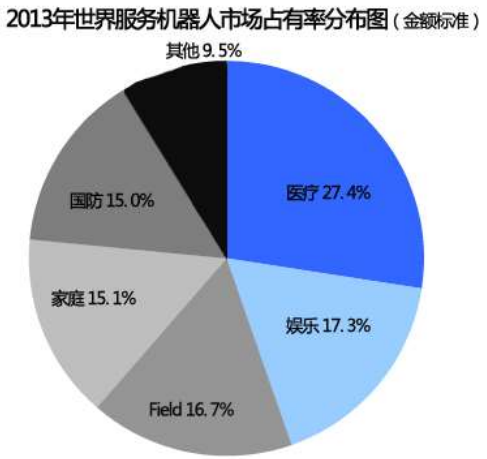
地方政府发展机器人产业现状

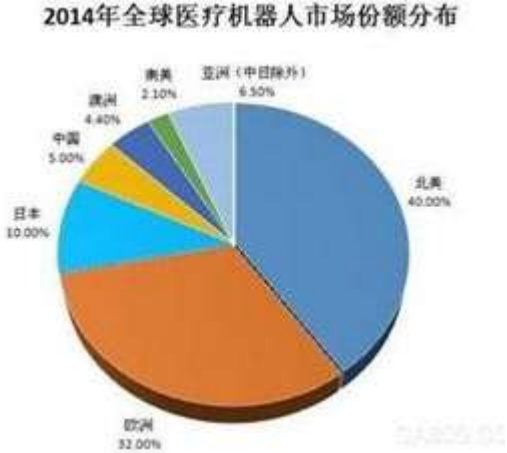
2014-2015年扶持政策	77项	机器人产业园区	40个
重点机器人产业的省（市）	28个	机器人企业	800家
重点机器人产业的城市	36个		

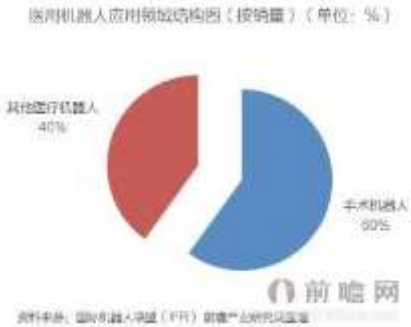
数据来源：中国机器人产业联盟、工信部密数据

专家言能源商网

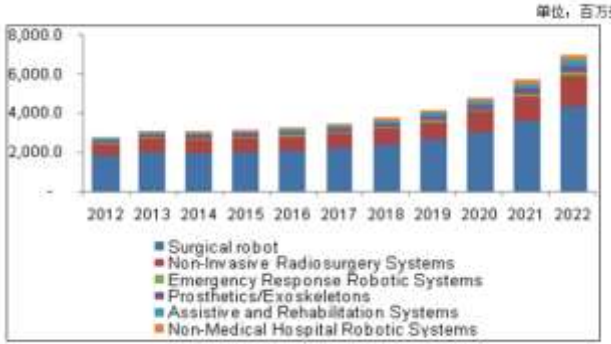
1. 研究背景 Background



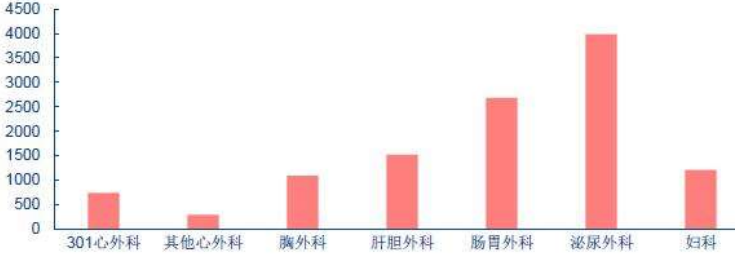




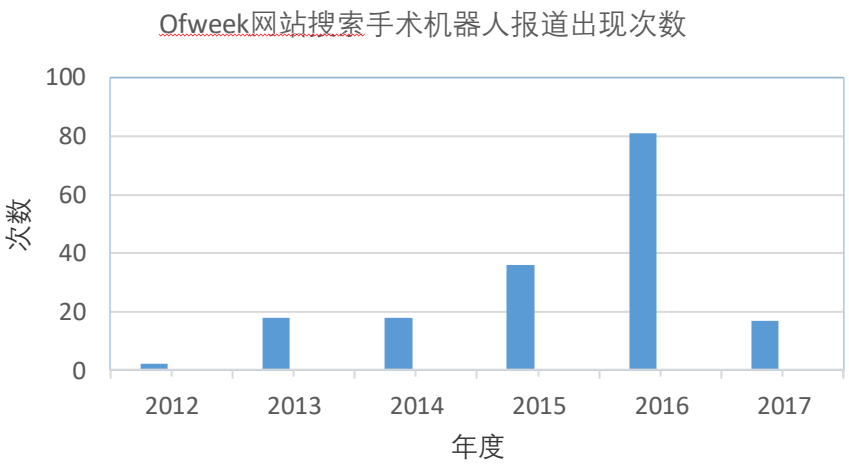
图表 2012-2022年医疗机器人各类产品细分增速情况

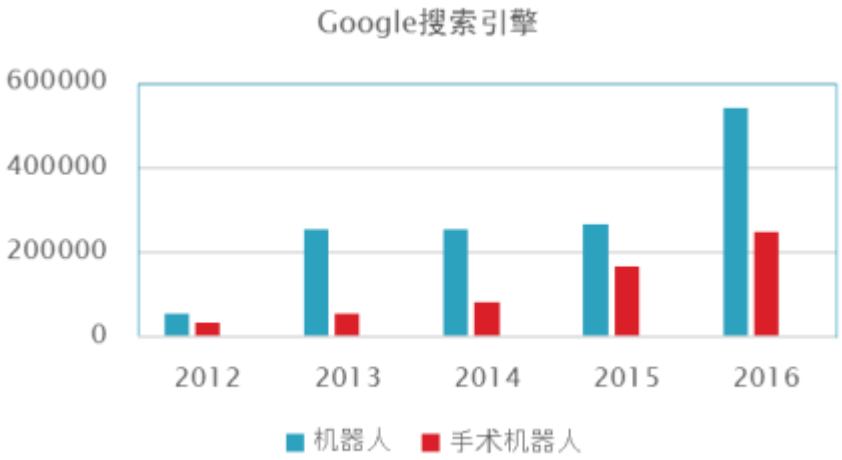


数据来源：中国商业产业研究中心



1. 研究背景 Background





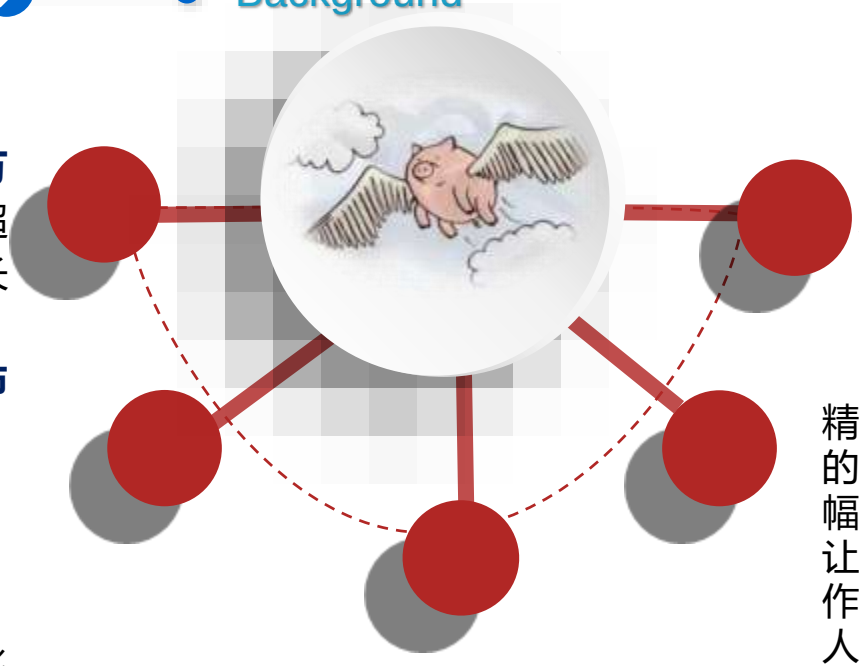
随着对微创诊断和治疗程序的需求增加、老年人口基数的增长、地球环境的恶化、不健康的饮食习惯和对高脂肪食品、酒精的消费，以及都市人口平日缺乏体育锻炼等不健康的生活方式，种种因素都极大促进了手术的发生率，手术机器人将是机器人细分中出工业机器人之外有一块大蛋糕。

1. 研究背景 Background

2020健康医疗市场过10万亿，每年医疗机械增长超20%，手术机器人增长30%

医疗产业进入15年牛市

- 医院民营化
- 医生独立化
- 人口老龄化
- 诊断与治疗分级化
- 远程诊断普及化
- 病人病历通用与独立化
- 医疗设备智能与网络化
- 医疗设备国产化



中　　国：医械：医药=1:3
发达国家：医械：医药=1:1

精度更高、有效避免人工手颤抖的缺陷、出血量更小、安全性大幅提高。有效扫除手术盲点既可让手术成功率提高，减少医生工作量，保护从事高危项目的医护人员的人身安全。

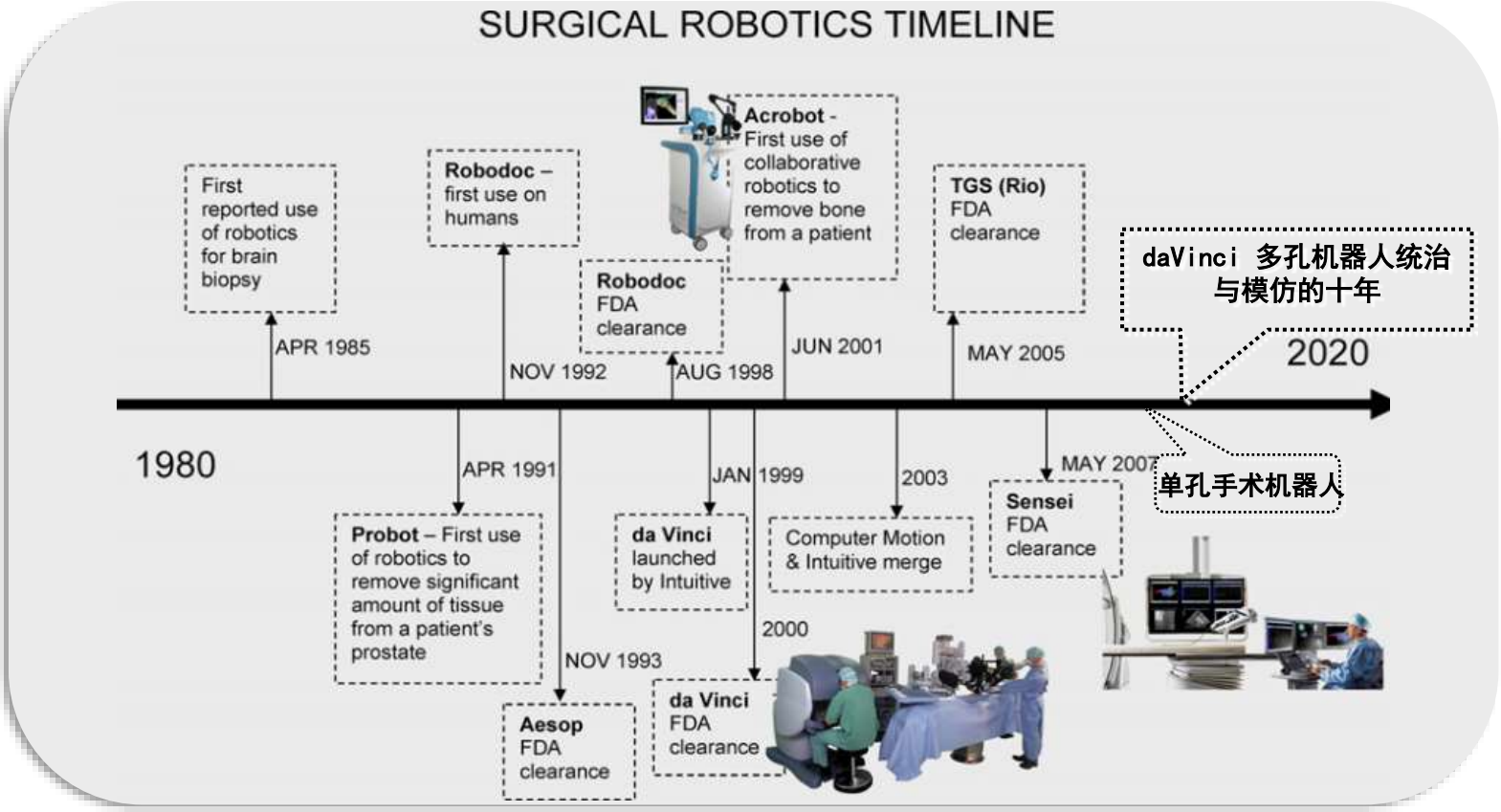
脑科手术导航系统：美国4000套，中国150套
高端手术机器人：美国3000台，中国60台

中投顾问在《2016-2020年中国医疗机器人产业深度调研及投资前景预测报告》中表示，截止2016年1月，全球医疗机器人行业每年营收达到74.7亿美元，预计未来5年年复合增长率能稳定在15.4%，至2020年，全球医疗机器人规模有望达到$114亿美金。其中，手术机器人占60%左右市场份额。医疗机器人的市场重心将由北美逐渐向亚洲转移，且我国产业发展百亿市场蓝海可期。

目录

1. 研究背景
2. 外科手术发展趋势
3. 智能机器人技术在外科辅助手术的应用特点
4. 骨科类手术辅助
5. 介入式手术辅助
6. 微创腔镜手术辅助
7. 小结与展望

2. 发展趋势 Developing tendency



Surgical robotics Timeline

2. 发展趋势 Developing tendency

2. 发展趋势 Developing tendency

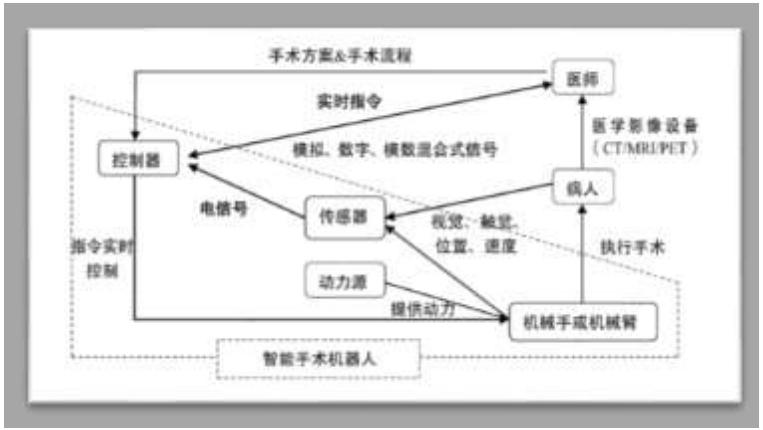
	传统开放手术	传统腹腔镜手术	机器人辅助手术
眼手协调	自然的眼手协调	眼手协调降低，视觉范围和操作器械的手不再同一个方向	图像和控制手柄在同一个方向，符合自然的眼手协调
手术控制	术者直接控制手术的视野，但不精细，有时受限制	术者须和持镜的助手配合，才能看到自己想看的视野	术者自行调整镜头，直接看到想看的视野
成像技术	直视三维立体图像，但细微结构难以看清	二维平面图像，分辨率不够高，图像易失真	直视三维立体高清图像，放大10~15倍，比人眼更清晰
灵活性和精准程度	用手指和手腕控制器械，直观、灵活，但有时达不到理想的精度	器械只有4个自由度，不如人手灵活、精确	仿真手腕器械有7个自由度，比人手更灵活、准确
器械控制	直观的同向控制	套管逆转器械的动作，医生需反向操作器械	器械完全模仿术者的动作，直观的同向控制
稳定性	人手存在自然的颤抖	套管通过器械放大了人手的震颤微创，术后恢复较快	控制器自动滤除震颤，比人手稳定
创伤性	创伤较大，术后恢复慢	微创，术后恢复较快	微创，术后恢复较快
安全性	常规的手术风险	常规的手术风险外，存在一些机械故障的可能	常规的手术风险外，死机等机械故障的概率大于腔镜手术系统
术者姿势	术者站立完成手术	术者站立完成手术	术者采取坐姿，利于完成长时间、复杂的手术

http://news.sznews.com/content/2016-05/27/content_13417094.htm

目录

1. 研究背景
2. 外科手术发展趋势
3. 智能机器人技术在外科辅助手术的应用特点
4. 骨科类手术辅助
5. 介入式手术辅助
6. 微创腔镜手术辅助
7. 小结与展望

3. 主要特点 Main characteristics



（AI+BigDATA）

智能控制系统

功能组件协作控制

伺服执行系统

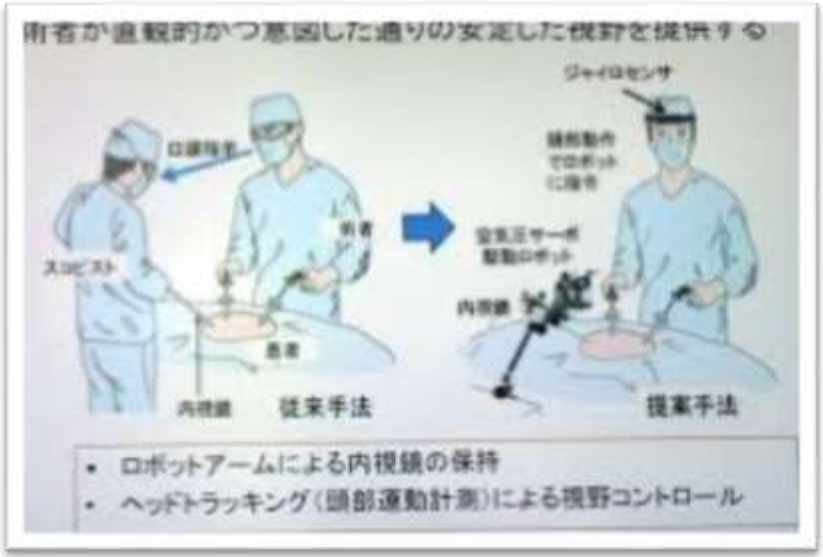
传感系统

+

感知

智能机器人技术

3. 主要特点 Main characteristics



- 微创外科是通过微小创口或自然通道将特殊器械、物理能量或化学试剂送入人体内部，完成对人体内病变、畸形、撞伤的灭活、切除、修复或重建的外科手术操作而达到治疗目的的的医学科学分支，其突出特点是对病人的创伤明显小于传统外科手术。
- 手术机器人是集医学、机器人学、机械学、生物力学、计算机技术等诸多科学为一体的交叉研究成果，其最终目的并不是代替手术医生，而是作为一种辅助工具来扩展医生的手术能力，提高手术的质量，减轻医生的工作强度。

3. 主要特点 Main characteristics

手术器械

计算机外科

术前利用X射线、MRI、CT等各种三维医用图像测量技术以及断层成像法等获得器官的三维构造信息，并据此建立对象的立体形状模型。把功能信息和解剖学信息综合起来建模，再通过反复的外科手术仿真，建立手术综合规划。

手术导航技术

在计算机的显示器上显示出断层图像或三维CG，在手术操作过程中把手术部位的图像实时显示在CG上。一种更高级技术，把医师观察到的实际空间与虚拟空间信息正确地重叠在一起，以构建用于手术空间导航信息提示的增强现实感环境。

遥操作技术

手术规划信息辅助医生控制高精度的机械系统（手术器械）进行高精度手术，可以远程手术（手术医师与患者不在同一物理空间中）。所谓不在同一物理空间中并非指简单的距离分隔，还包括医师的手臂无法到达部位的作业。手术支援机器人就是这样一种高性能的手术器械，它相当于外科医师的一只“新手”。

3. 主要特点 Main characteristics

分类方式

1 应用形态

- **导航** 手术器械等的辅助定位
- **治疗** 主动手术钳
主从机械手

2 产生动作

- **被动型** 手术医师动作的约束
手术医师操作的修正
- **主动型** 产生自主力完成动作

3 控制方式

- **术前规划固定作业型** 由术前图像构成的三维位置数据确定病灶，导引手术器械，或者进行切除作业
- **手术中柔性作业型** 作为手术的辅助装置，使手术医师的作业更为多样化

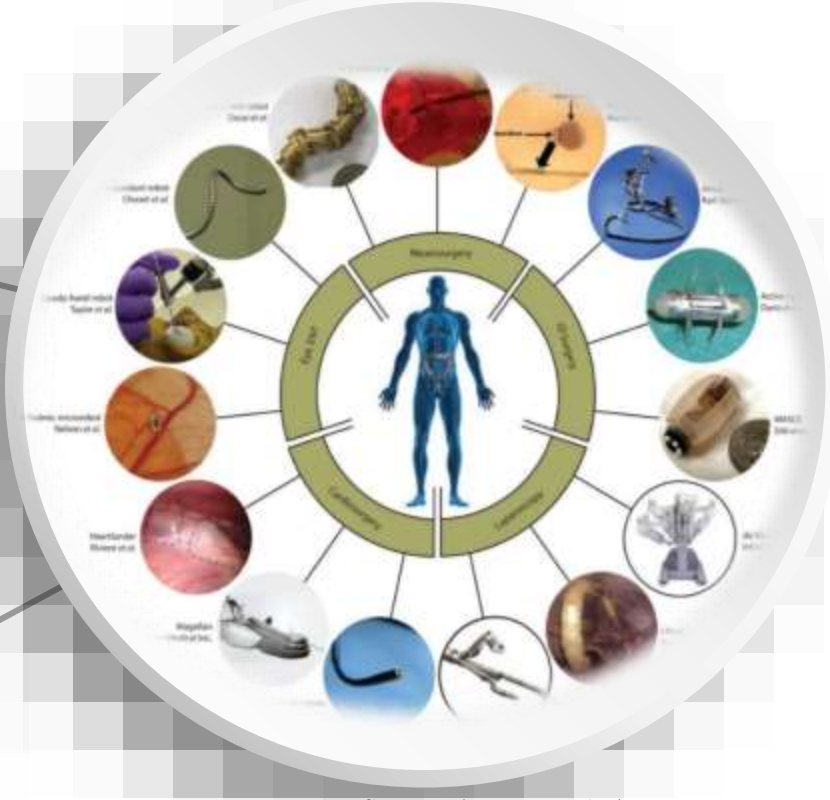
3. 主要特点 Main characteristics

技术优势

- 聚焦高清稳定三维视觉
- 高自由度灵巧前端器械
- 传递缩放过滤精确操作
- 微创精准少痛少血短卧
- 抗疲劳降风险释放医生
- 远程综合细微先沿诊断
- 实时精准智能预估感知

主要劣势

- 设备成本高昂
- 维护成本高昂
- 手术费用增加
- 手术时间增加
- 学习训练曲线
- 未知并发风险



机器人辅助微创手术系统

Bergeles C, Yang G Z. From passive tool holders to microsurgeons: safer, smaller, smarter surgical robots

目录

1. 研究背景
2. 外科手术发展趋势
3. 智能机器人技术在外科辅助手术的应用特点
4. 骨科类手术辅助
5. 介入式手术辅助
6. 微创腔镜手术辅助
7. 小结与展望

4. 骨科类手术辅助

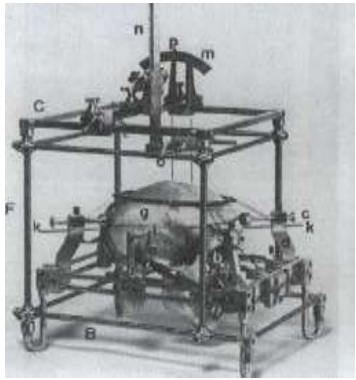
Orthopaedic surgery assistant

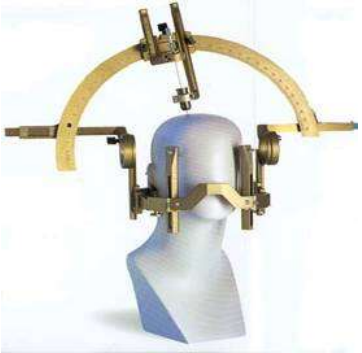
传统骨科手术

现代骨科手术

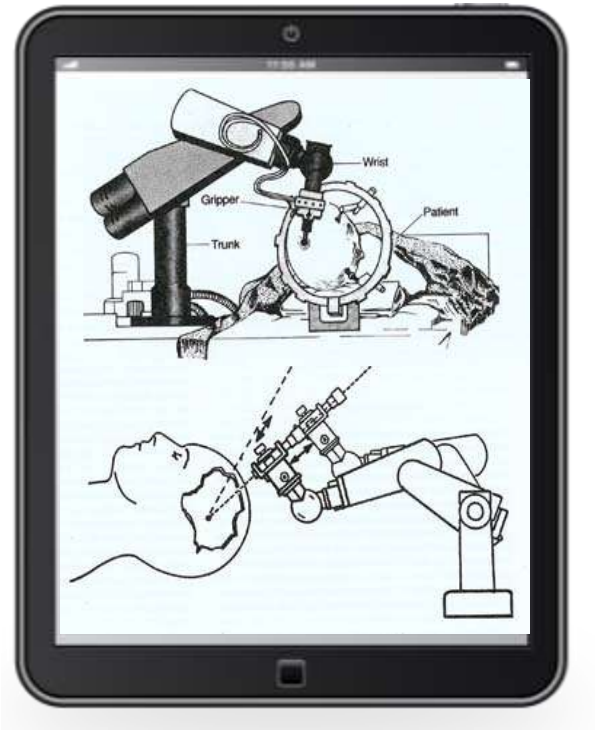
未来骨科手术

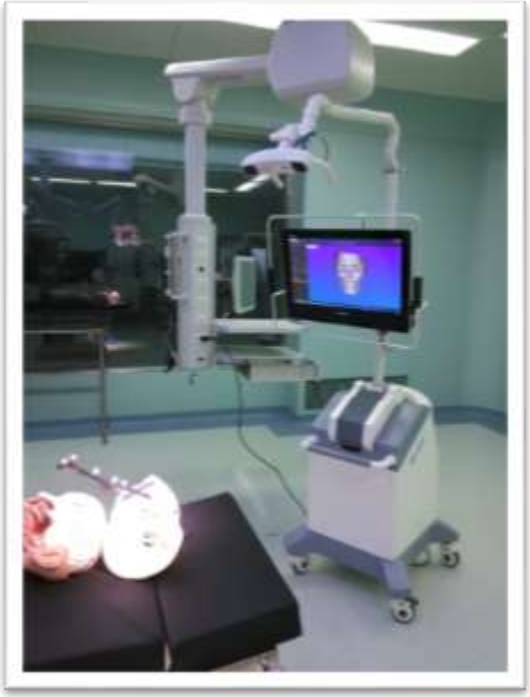
4. 骨科类手术辅助 Orthopaedic surgery assistant





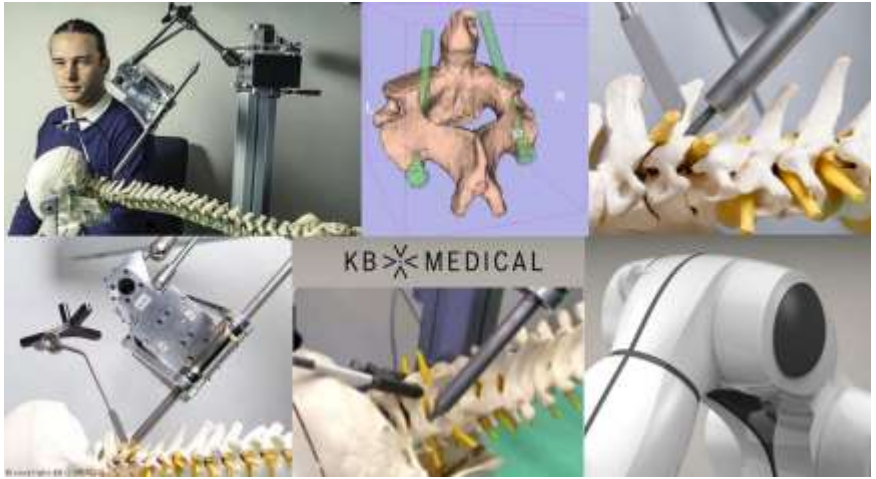
4. 骨科类手术辅助 Orthopaedic surgery assistant



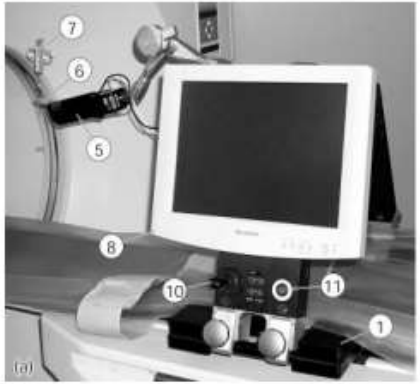


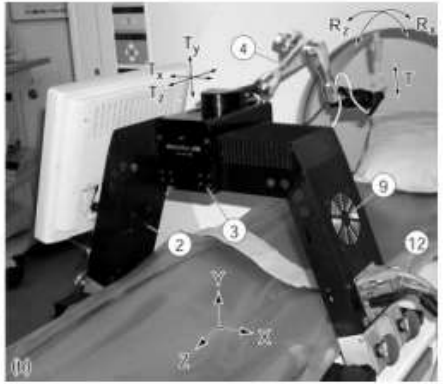
上海交通大学曹其新教授团队与上海市第九人民医院开发了手术导航系统与规划应用软件

4. 骨科类手术辅助 Orthopaedic surgery assistant



Mazor Robotics' Renaissance® system

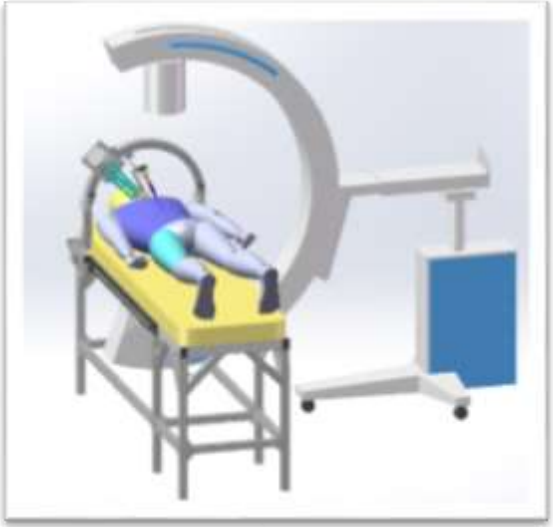




AcuBot

4. 骨科类手术辅助 Orthopaedic surgery assistant

SJTU Robolan V-I



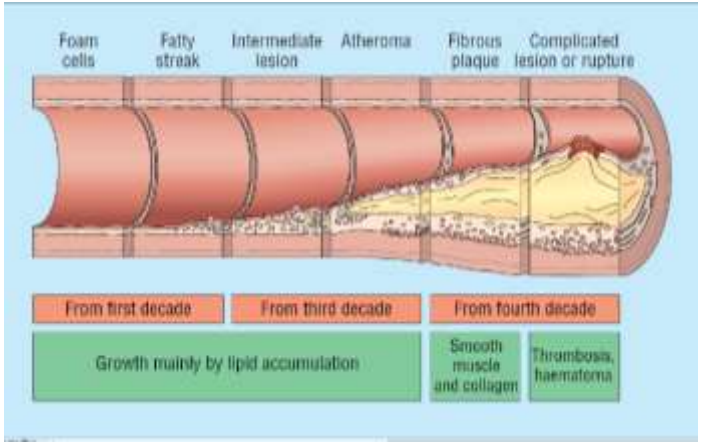
SJTU Robolan V-II

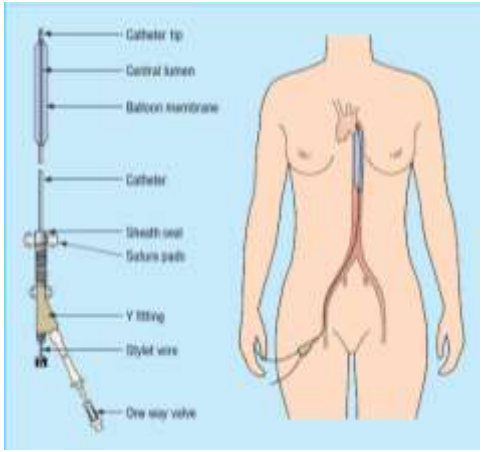
上海交通大学曹其新教授团队、复尔机器人有限公司和上海市第一人民医院联合研发了脊椎手术机器人原理样机

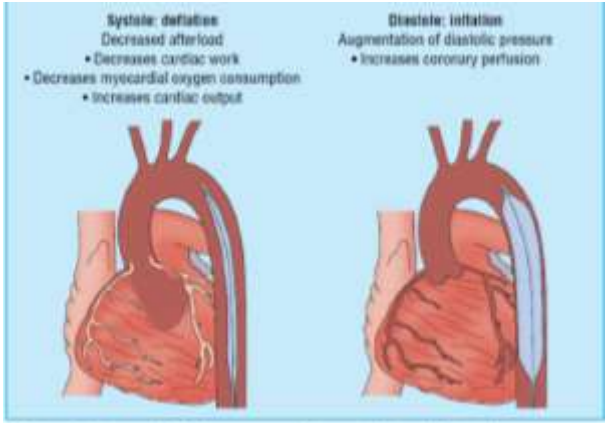
目录

1. 研究背景
2. 外科手术发展趋势
3. 智能机器人技术在外科辅助手术的应用特点
4. 骨科类手术辅助
5. 介入式手术辅助
6. 微创腔镜手术辅助
7. 小结与展望

5. 介入式手术辅助 Interventional surgery assistant





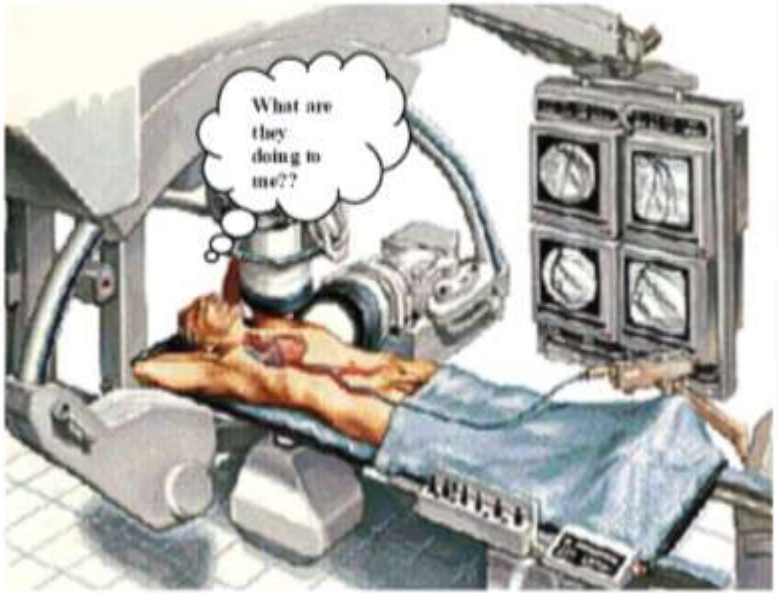


Effects of intra-aortic balloon pump during systole and diastole

血栓形成是指人体或动物在存活期间因某些诱因，血液有形成分在循环血中发生异常的血凝块，或者在心脏内壁或血管壁上发生血液沉积物。介入治疗是是利用现代高科技手段进行的一种微创性治疗--就是在医学影像设备的引导下，将特制的导管，导丝等精密器械，引入人体，对体内病态进行诊断和局部治疗。

5. 介入式手术辅助 Interventional surgery assistant

Robotic angiography system for 3D mapping of blood vessels during vascular surgery. (Courtesy of Siemens AG)

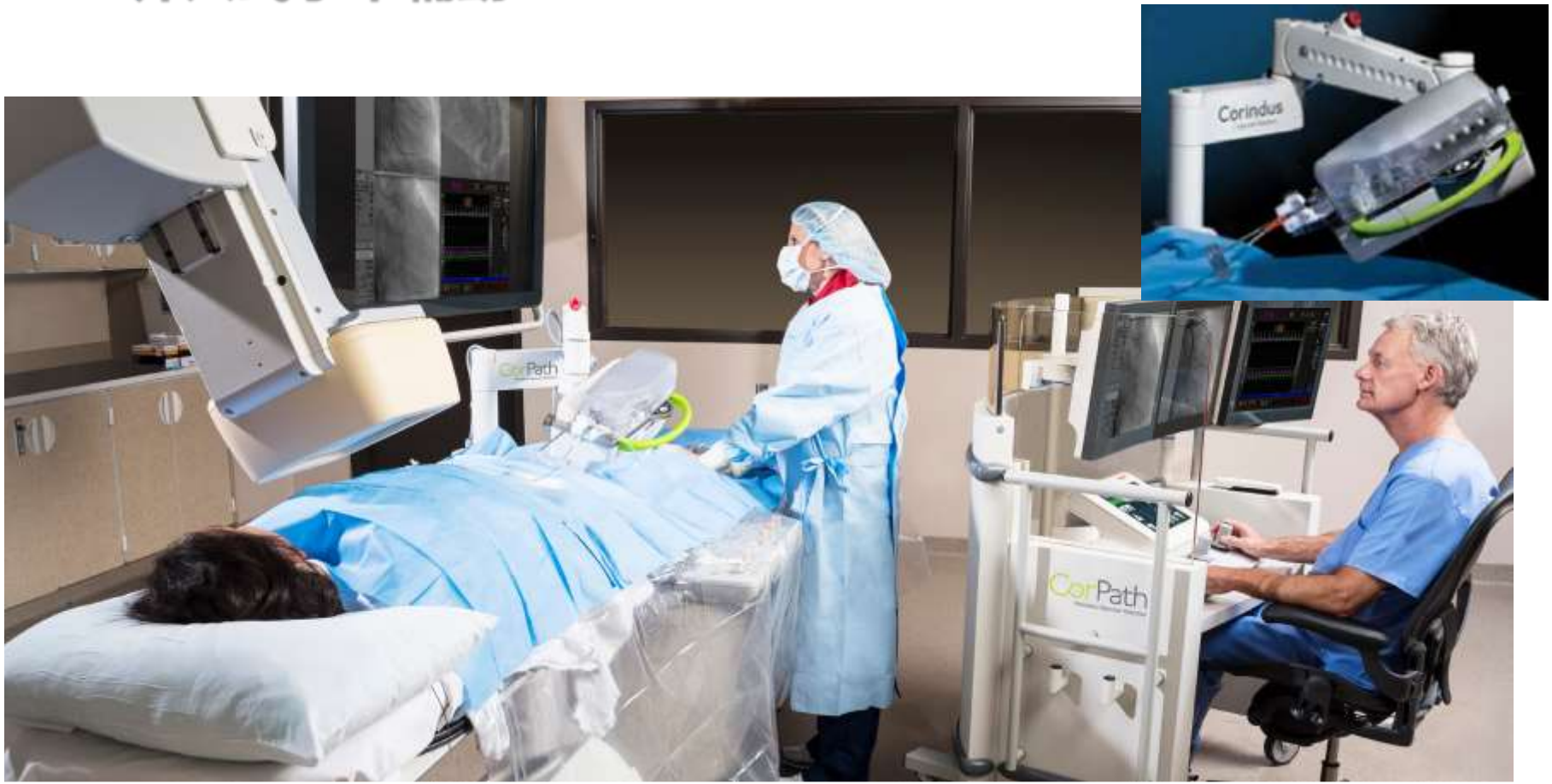


介入治疗全程在影像设备的引导和监视下进行，能够准确地直接到达病变局部，同时又没有大的创伤，因此具有准确、安全、高效、适应证广、并发症少等优点，现已成为一些疾病的首选治疗方法

5. 介入式手术辅助 Interventional surgery assistant

5. 介入式手术辅助

Interventional surgery assistant

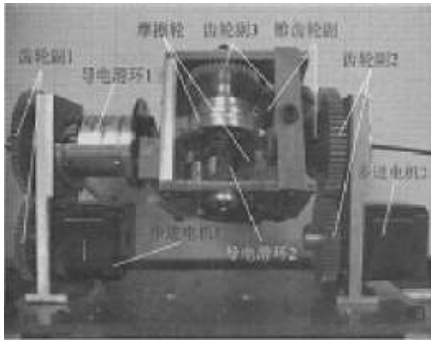


5. 介入式手术辅助 Interventional surgery assistant

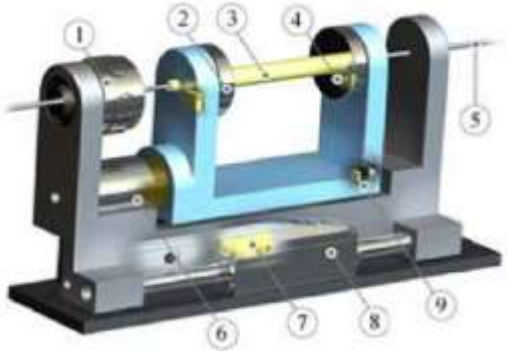
心血管微创介入手术机器人系统主要包括导管/导丝推进机构、推进机构的辅助定位装置以及推进机构的操作装置等。推进机构为介入式机器人的重要核心装置。

北京航空航天大学导管推进机构

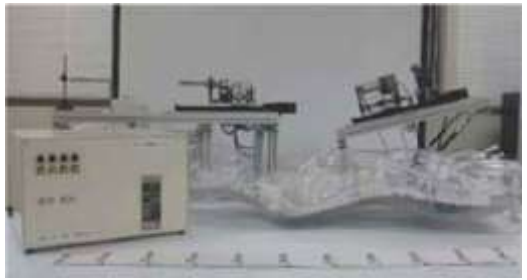
Amigo导管推进机构



哈尔滨工业大学导管推进机构

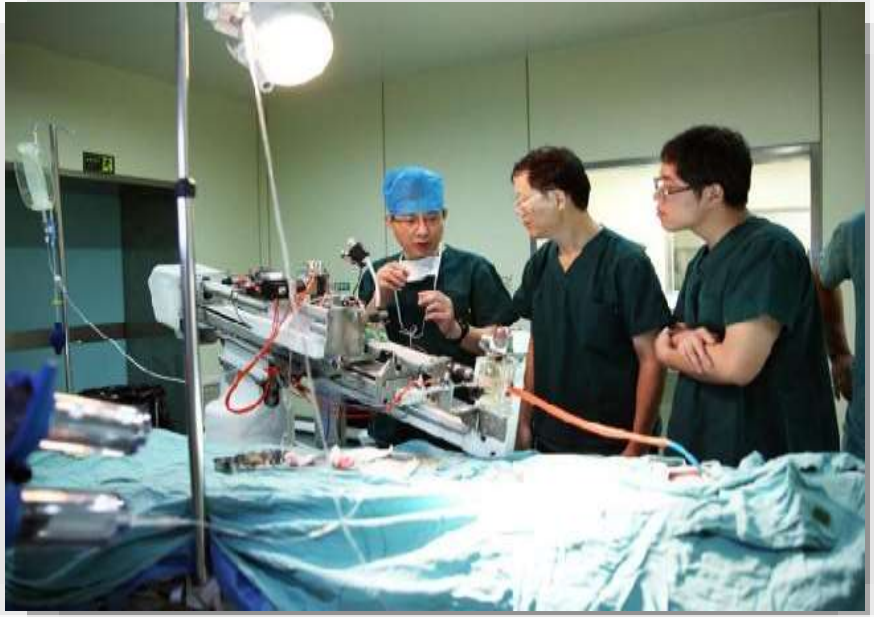


英国帝国理工学院导管推进机构



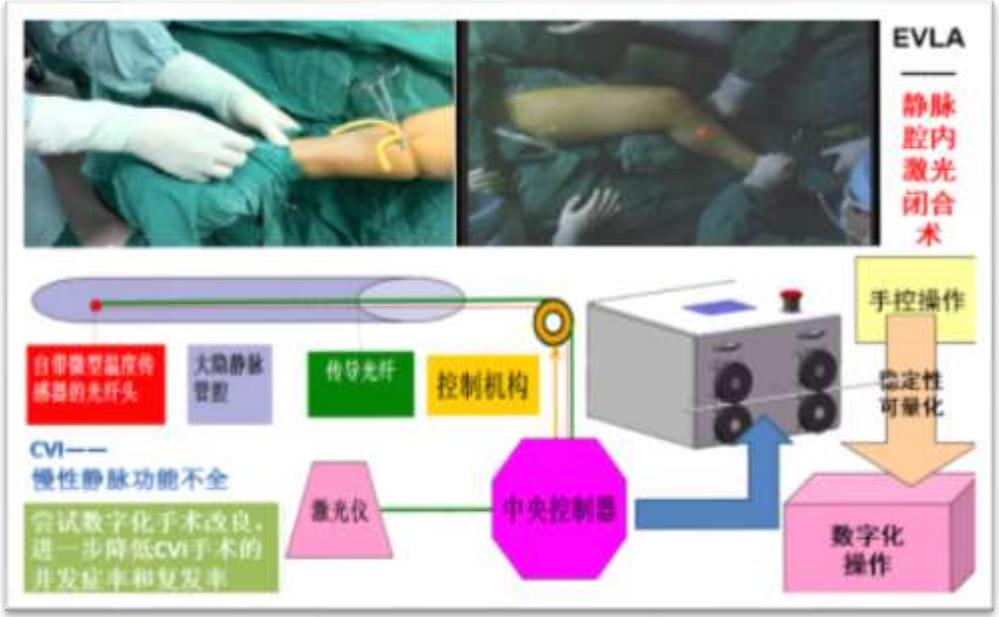
日本香川大学主从推进机构

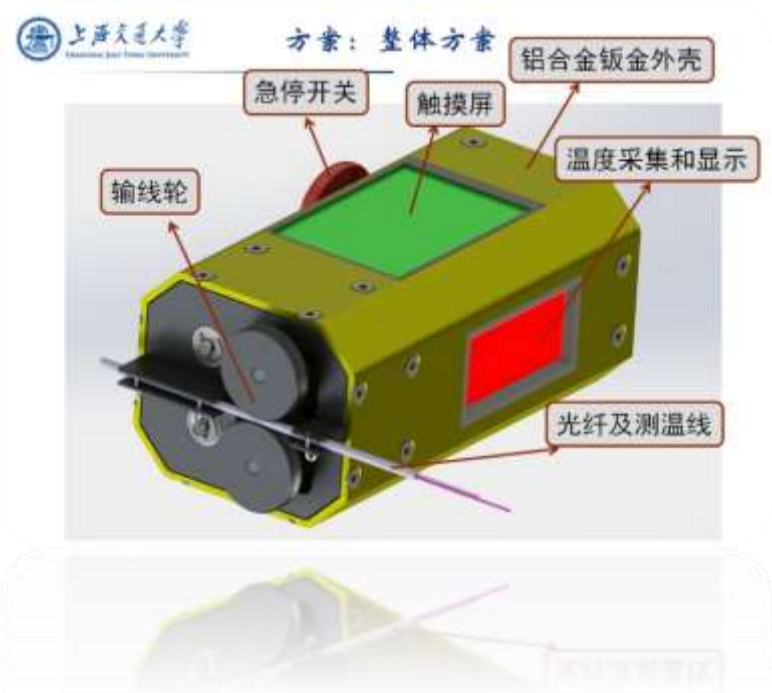
5. 介入式手术辅助 Interventional surgery assistant



复旦大学附属浦东医院余波教授领衔团队自主研发的国产远程数控血管介入机器人成功完成动物全脑血管造影手术

5. 介入式手术辅助 Interventional surgery assistant





上海交通大学曹其新教授团队与上海市第一人民医院联合开发了激光静脉闭合术CVI辅助器原理样机

目录

1. 研究背景
2. 外科手术发展趋势
3. 智能机器人技术在外科辅助手术的应用特点
4. 骨科类手术辅助
5. 介入式手术辅助
6. 微创腔镜手术辅助
7. 小结与展望

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

微创腔镜技术

01

腹腔镜手术

胆囊切除、阑尾切除、胃穿孔修补术、肝囊肿开窗术、脾脏切除、肝脓肿引流术、腹水探查、直肠癌根治术。

02

胸腔镜手术

诊断性手术包括：胸膜、肺部、纵隔、心包疾病以及胸外伤的诊断。

治疗性手术包括：胸膜疾病、肺部疾病、食道疾病、纵隔疾病。

03

妇科腔镜手术

宫腔镜、腹腔镜、阴道镜。宫腔镜技术包括宫腔镜检查和宫腔镜电切。

04

泌尿外科腔镜手术

膀胱电切镜、输尿管镜、经皮肾镜。

微创外科手术 - 关节镜

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

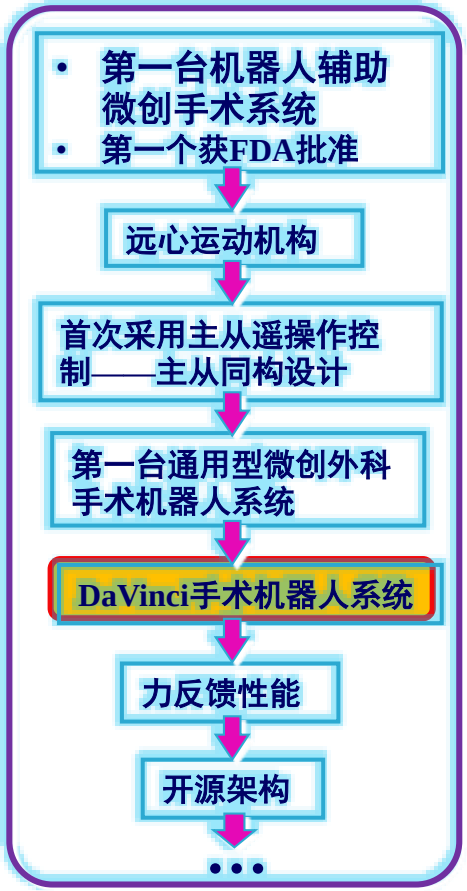
综合国内外腔镜微创手术机器人系统研发背景，重点关注以下关键技术环节

腔镜微创手术机器人系统从端机器人构型综合与人因工程设计集成	方便操作与解析的主操作设备与高度灵巧易更换的微型前端器械设计	遥操作子系统平台搭建与手眼协调主从异构控制策略和多臂柔性协同控制算法	手术机器人系统安全性可靠性设计与手术多重安全监控及应急机制	手术机器人虚拟仿真显示与训练系统及软硬件模块化设计	临床医学实验效果评估改进与医疗器械认证

6. 腔镜辅助微创手术机器人 Laparoscopic surgery robot

多孔腔镜手术机器人发展历程

- 1994年，美国Computer Motion公司研制成功AESOP-1000，随后发布了AESOP-2000和AESOP-3000改进版。
- 1995年，美国IBM 研发中心和John Hopkins大学合作研发了HISAR和LARS，LARS具有一个远心运动机构。
- 1995年美国NASA与MicroDexterity Inc.合作研制MicroDexterity。
- 1998年美国Computer Motion公司研制成功ZEUS。
- 2000年美国Intuitive Surgical公司开发da Vinci Surgical System，2001年通过美国FDA认证，2003年合并Computer Motion公司并吸收ZEUS系统技术逐步发展成目前Da Vinci系列。
- 2009年德国宇航中心（DLR）研发DLR MiroSurge，为了实现遥操作手术中力反馈性能，器械末端安装微型六维力传感器。
- 2012年美国七所大学联合研发的RavenII手术机器人系统，控制系统基于ROS开源架构，实现分布式研究与改进。



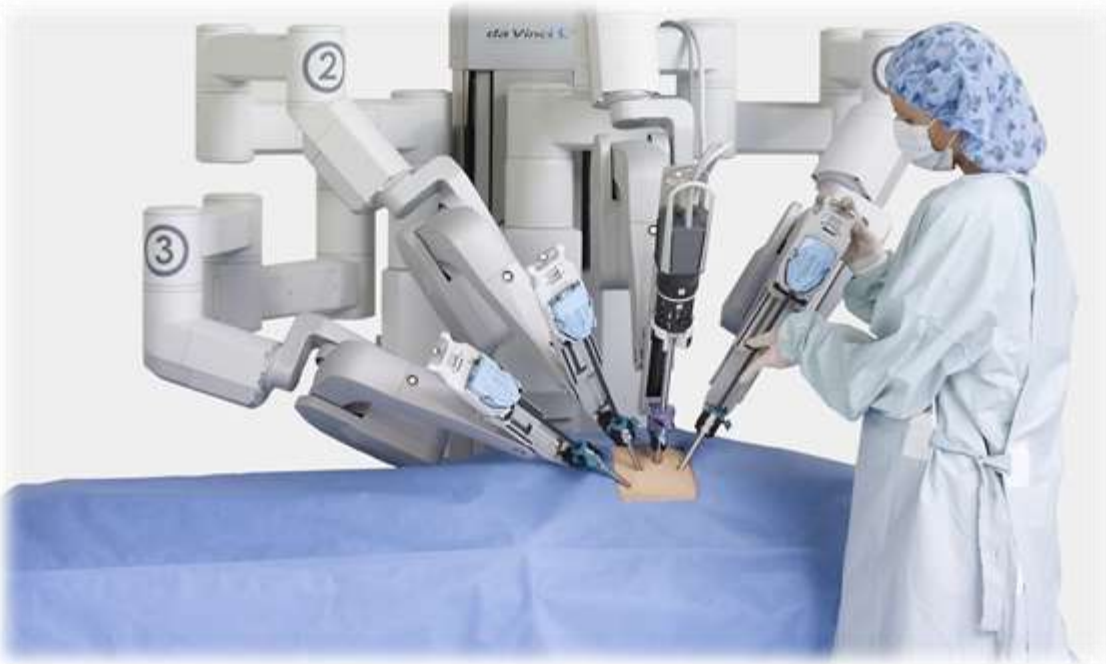
6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

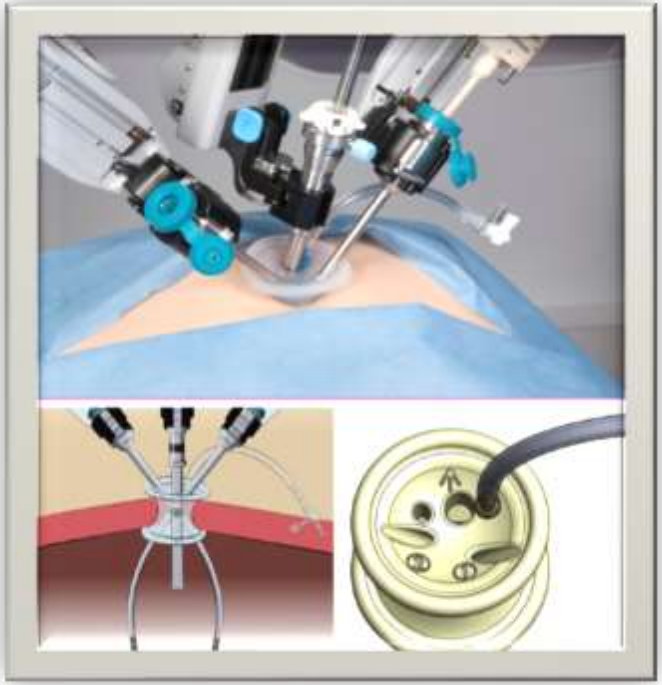
达芬奇系统多孔手术机器人最成功案例：技术研发、临床应用、市场推广

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant



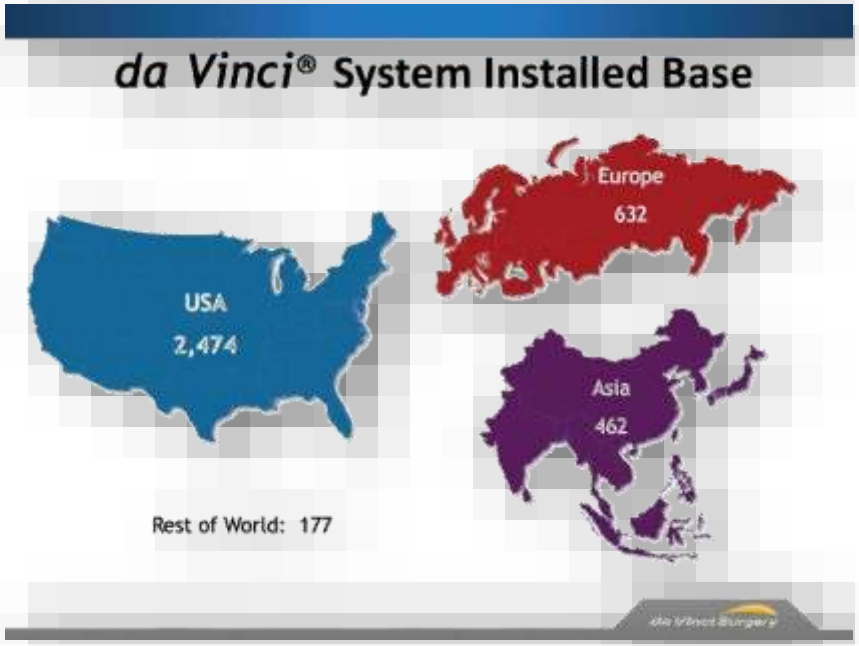
达芬奇机器人系统多孔辅助手术

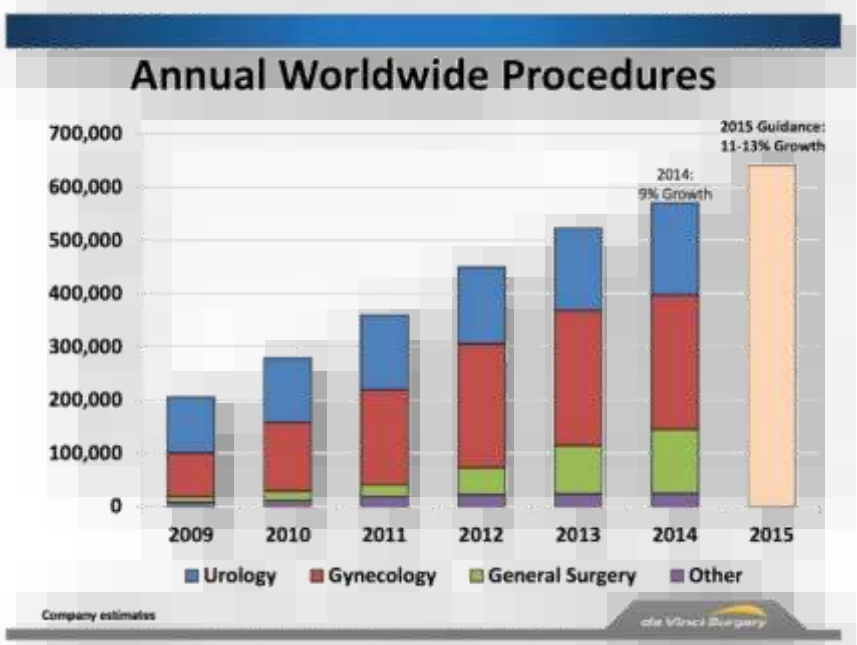


达芬奇机器人系统单孔辅助手术

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant





截止2016年2季度的达芬奇系统全球装机总量3745台，中国装机58台

2015年达芬奇手术全球手术量62万例，近五年机器人妇科手术量超过泌尿外科

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

Titan：Amadeus Robotic Surgical System

DLR：MiroSurge

TransEnterix：TELELAP ALF-X

Washington Uni：RAVEN

单臂多孔手术机器人特点

人因工程设计	开放式内窥镜	触觉力觉反馈	分布式布局
眼动跟随控制	器械重复性	开放式架构	整体经济性

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

Equipment	Costs	Company	Equipment Descriptions
da Vinci	$1 million	Intuitive Surgical	Robot-assistant, with arms to connect surgical instruments
Zeus	$975,000	Computer Motion*	Robot-assistant, with arms to connect surgical instruments
Aesop 3000	$80,000	Computer Motion*	Voice-controlled endoscope-positioning robot
Hermes Control Center	Request price quota	Computer Motion*	Centralized system used to network an intelligent OR
Socrates	Request price quota	Computer Motion*	Allows shared control of Aesop 3000 from different locations

ROBODOC

Orthopilot

Zeus Robotic Surgical System

Aesop

Hermes Control Center

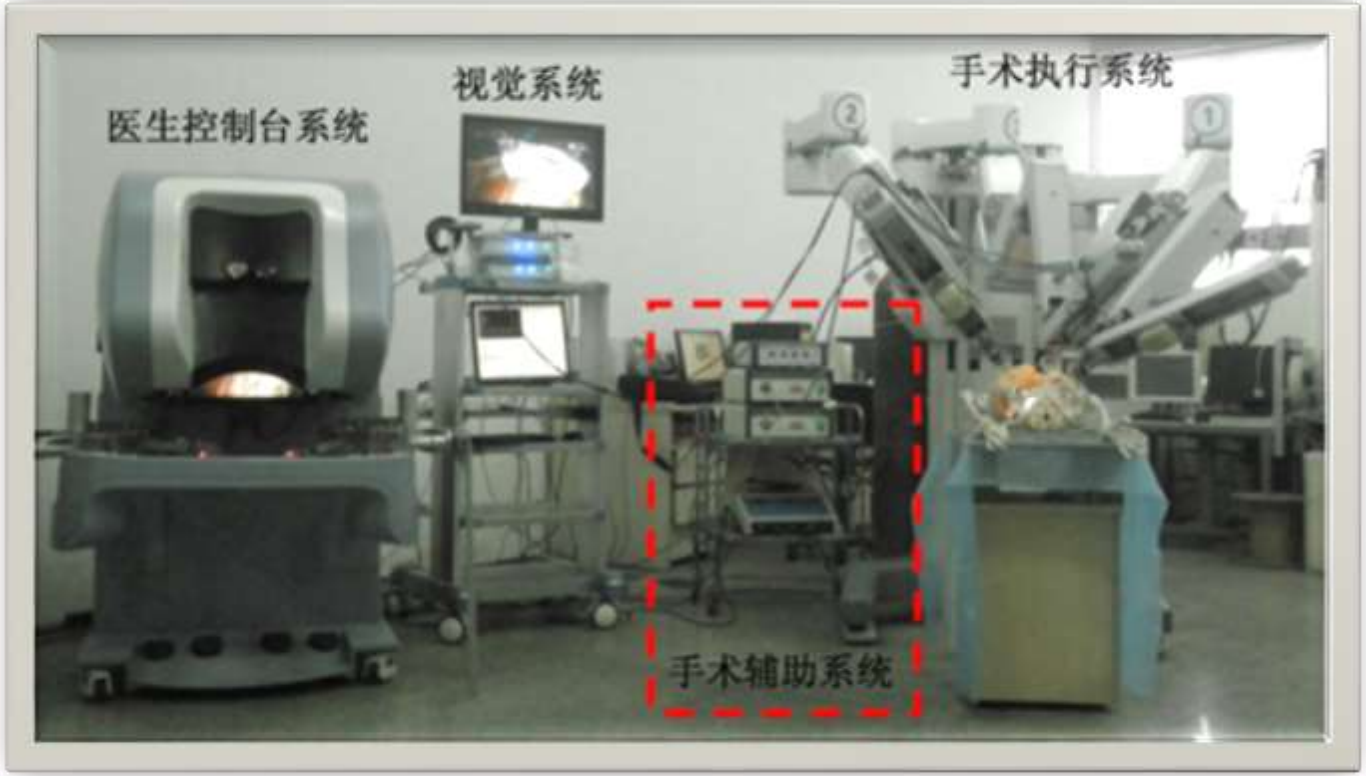
6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

天津大学与天津医科大学联合研制显微外科手术机器人“妙手”系统

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant



哈尔滨工业大学研制的微创腹腔手术机器人系统

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

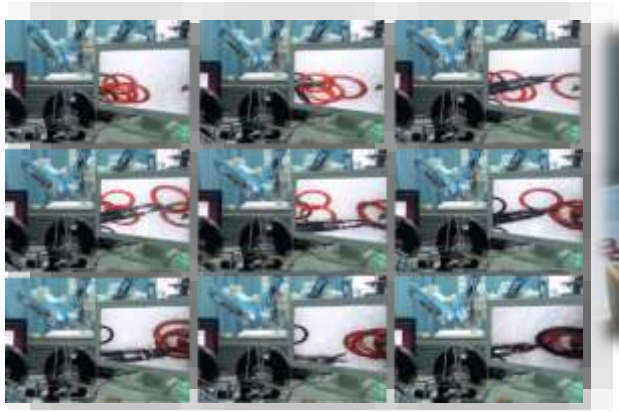
技术特点

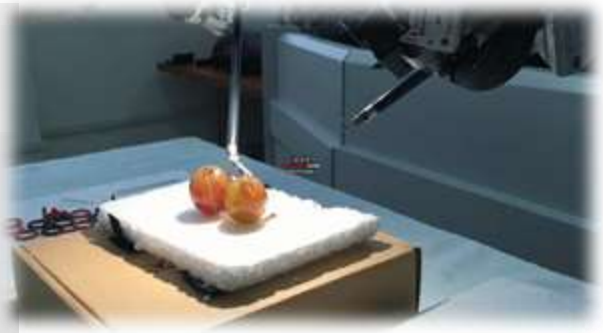
- 裸眼3D技术
- 眼动跟踪与控制技术
- 组件化协作控制技术
- 虚拟夹持技术
- 机械臂无钢丝驱动
- 基于ROS虚拟仿真技术
- 人因工程设计

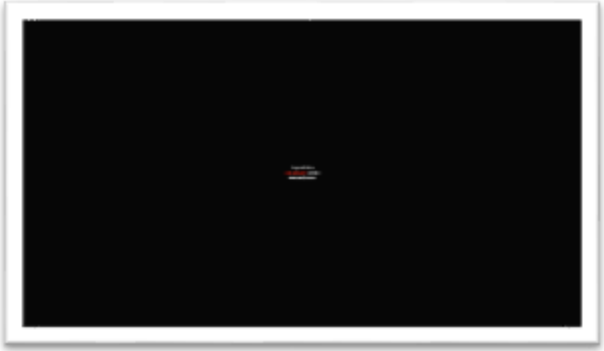
上海交通大学曹其新教授团队、金山科技集团和上海第二军医大学潘教授团队联合开发“蛟龙”多孔微创腔镜手术机器人

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant







“蛟龙”多孔微创腔镜手术机器人模拟手术功能与动物临床手术实验

6.微创腔镜手术辅助

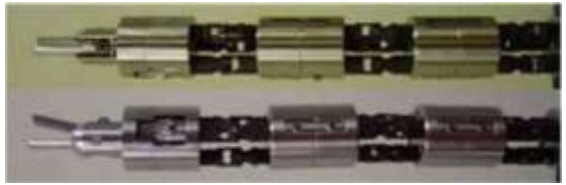
Laparoscopic surgery assistant

单孔腔镜手术机器人发展历程

- 2009 年美国贝斯登医疗中心J. R. Romanelli 和塔夫茨大学医学院D. B. Earle 研制出单孔三通道腹腔镜手术器械， 通过日益完善的腹腔镜观测能力弥补了单孔操作下三角测量技术的缺失，但是需要通过人手动操作。类似手持操作式器械出现许多，现都不再归类至单孔手术机器人范畴。

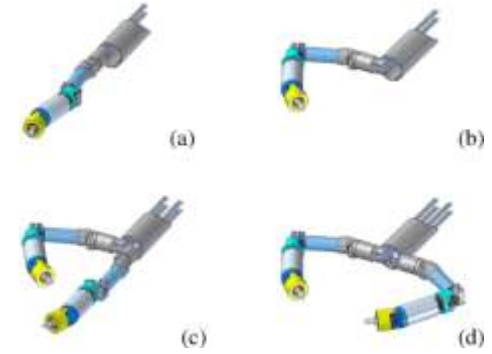
手动操控的单孔手术器械出现了很多种，但现在已经不再定义为单孔机器人。

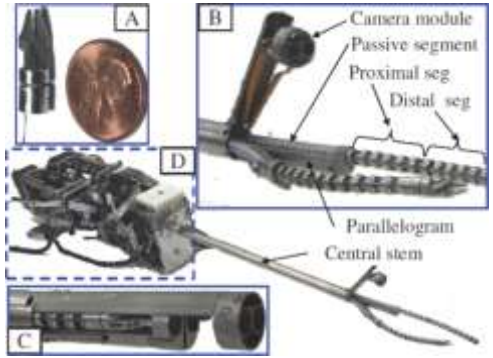
- 2009年芝浦工业大学工程学院 C. Ishii 和丰田汽车公司的 K. Kobayashi研发了一种基于螺旋传动技术来实现弯转的机械臂，采用DSD Mechanism。

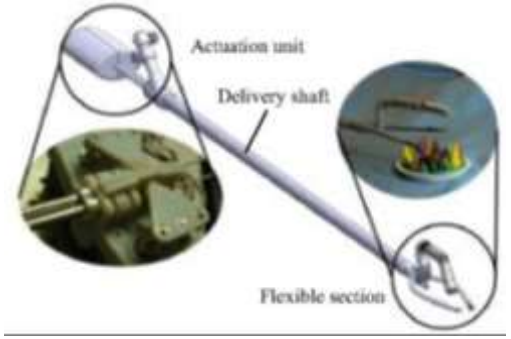


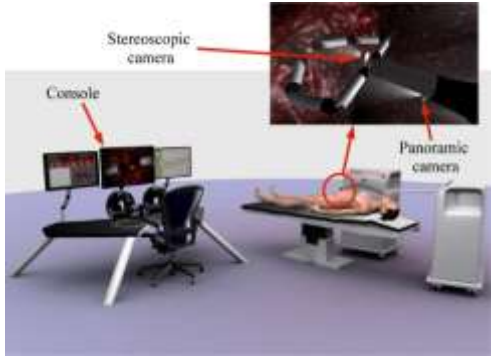
6.微创腔镜手术辅助 Laparoscopic surgery assistant

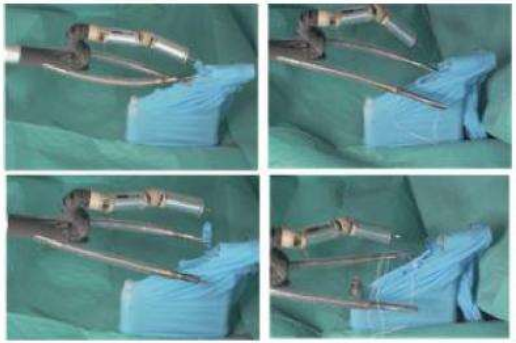
单孔腔镜手术机器人国外发展现状











SPRINT CRIM Lab, Scuola Superiore Sant'Anna, Italy 美国哥伦比亚大学机械工程学院N. Simaan和徐凯

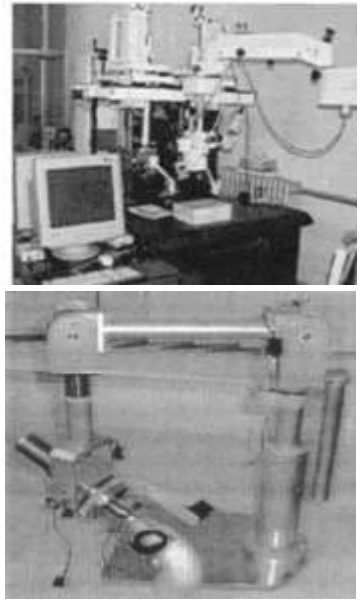
Imperial College London, UK

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

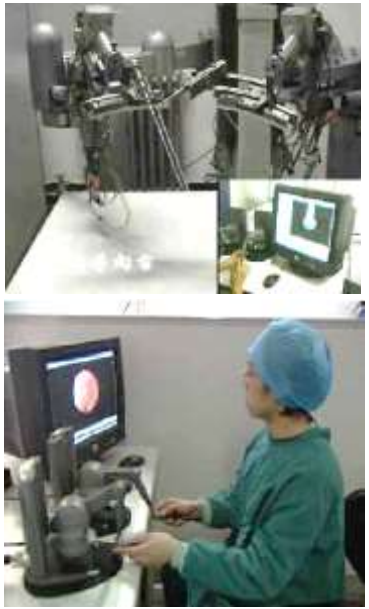
单孔腔镜手术机器人国内研究现状

哈尔滨工业大学超弹性 Nitinol
合金管制作的柔性关节



南开大学、天津大学与天津总
医院开发的血管显微外科手术
机器人（RAMS）

天津大学“妙手”
微创外科手术机器人系统



天津大学喉部
微创外科手术机器人

6. 腔镜辅助微创手术机器人 Laparoscopic surgery robot

单孔腔镜手术机器人国内发展现状

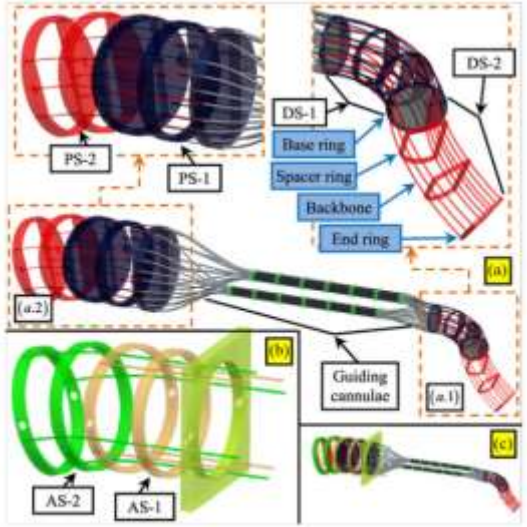


Fig. 3. (a) Dual continuum mechanism, (b) actuation structure, and (c) dual mechanism assembled into the actuation structure: DS, PS, and AS stand for the distal segment, the proximal segment and the actuation segment, respectively.

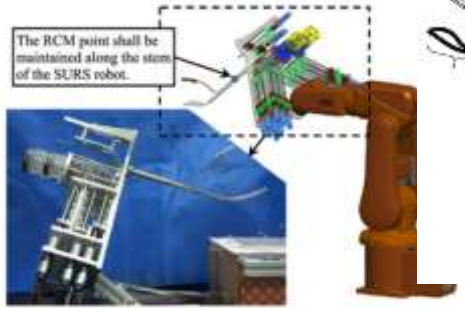


Fig. 2. Setup overview of the SURS attached to an industrial robot.

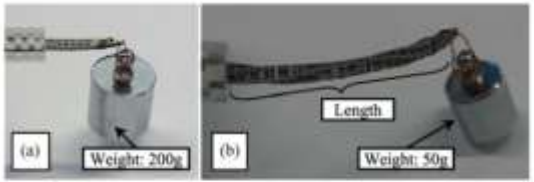
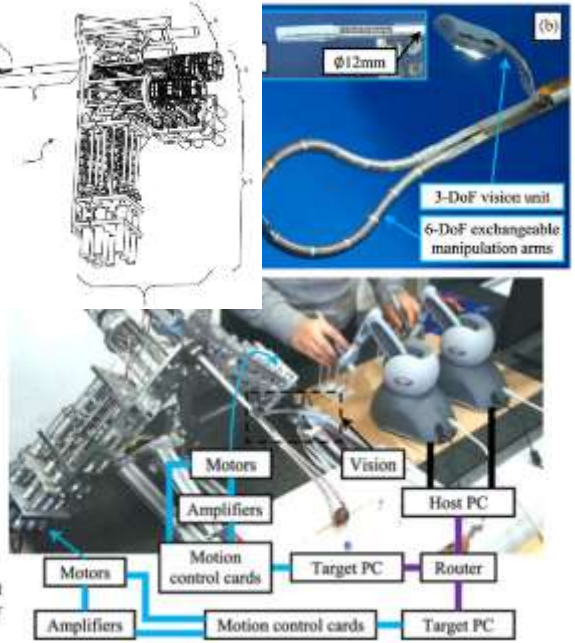


Fig. 4. Torsional stability of a continuum manipulator affects the payload capability: (a) shortened manipulator lifted 200 g, and (b) extended manipulator failed to lift 50 g.



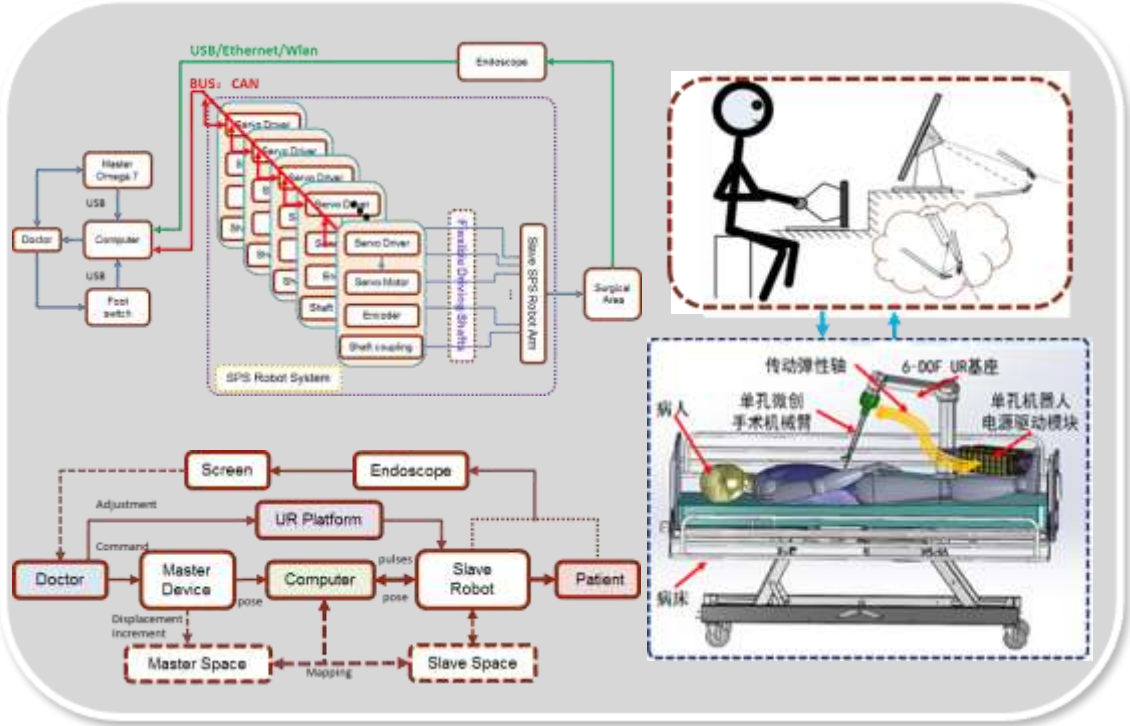
上海交通大学与美国哥伦比亚大学合作研发了SURS单孔手术机器人原理样机

6.微创腔镜手术辅助

Laparoscopic surgery assistant

上海交通大学曹其新教授团队、日本早稻田大学藤江教授团队和上海仁济医院薛教授团队联合开发了“蛟龙”单孔手术机器人系统

6.微创腔镜手术辅助 Laparoscopic surgery assistant



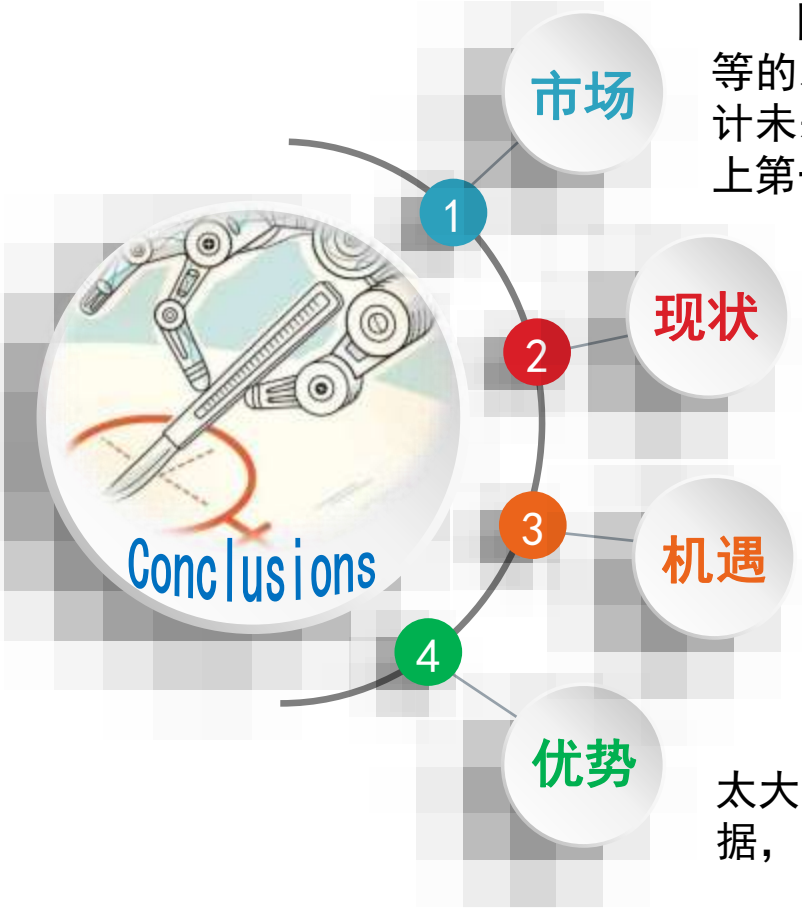
上海交通大学“蛟龙”单孔手术机器人系统研发与动物临床试验

目录

1. 研究背景
2. 外科手术发展趋势
3. 智能机器人技术在外科辅助手术的应用特点
4. 骨科类手术辅助
5. 介入式手术辅助
6. 微创腔镜手术辅助
7. 小结与展望

7. 小结与展望

Conclusion and Outlook



随着社会老龄化和环境恶化，各类慢性病、恶性肿瘤等的发病率也随之升高，医疗器械需求大幅上升。趋势预计未来15年是医疗手术机器人增长牛市，中国将成为国际上第一大市场。

技术被国外垄断，达芬奇手术机器人系统高端核心技术、健全专利保护措施、严密检验体系地位及市场无法撼动。起步较晚国内手术机器人核心技术落后，自主产权及硬件整个产业链不健全，暂缺竞争力。

医疗设备的智能化、网络化、大数据。手术空间要求低，创伤更小，术后恢复期更快单孔手术机器人被公认为是医疗机器人领域下一代手术机器人平台的发展方向。

相对其他领域中国和欧美发达国家的技术差距并没有太大，多数产品还在临床阶段，而中国的大量临床应用数据，产学研合作可以成为研发阶段的优势。

谢谢聆听！